

5.06(49.3)B1c,

FOR THE PEOPLE
FOR EDVCATION
FOR SCIENCE

LIBRARY
OF
THE AMERICAN MUSEUM
OF
NATURAL HISTORY





REVUE

DES

QUESTIONS SCIENTIFIQUES

REVUE

DES

QUESTIONS SCIENTIFIQUES

5.06(49.3) B1
c

PUBLIÉE

PAR LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES

Nulla unquam inter fidem et rationem
vera dissensio esse potest.
Const. de Fid. Cath., c. IV.

TROISIÈME SÉRIE

TOME XXVI — 20 JUILLET 1914

(TRENTE-HUITIÈME ANNÉE ; TOME LXXVI DE LA COLLECTION)

LOUVAIN

SECRÉTARIAT DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE

(M. J. Thirion)

11, RUE DES RÉCOLLETS, 11

—
1914

12-88517 June 27

Origine et Histoire d'une Chaîne de Montagnes

LES ALPES ⁽¹⁾

La chaîne des Alpes couvre sur la carte d'Europe une surface considérable, étendue d'Ouest en Est sur 1000 kilomètres de longueur, entre Gênes et Vienne, large en moyenne de 200 à 250 kilomètres; ses sommets les plus élevés atteignent une altitude supérieure à 4000 mètres, et les crêtes principales se maintiennent à peu près partout à plus de 3000 mètres. Cette chaîne forme comme un bourrelet gigantesque jeté à travers l'Europe centrale, et dont l'origine, le mode de formation ont été l'un des problèmes les plus discutés, — l'un des plus difficiles à résoudre aussi — dès l'époque, qui remonte à un siècle à peine, où l'on s'est essayé à l'étude géologique des régions de montagnes.

Avant de retracer l'histoire des Alpes dans le passé, il importe d'en fixer d'abord les traits actuels: non point que ceux-ci soient invariables, ils sont au contraire en voie de perpétuel remaniement sous l'action des agents atmosphériques, des glaciers, des rivières, mais ces modifications ne s'opèrent que lentement, et les lignes demeurent assez stables, même dans leurs détails, pour que l'on ait pu figurer sur les cartes géo-

(1) Conférence faite à l'assemblée générale de la Société scientifique, le 22 avril 1914.

graphiques leurs contours qui nous sont devenus familiers.

Dans les *Alpes occidentales*, entre la France et l'Italie, on peut distinguer quatre zones parallèles, allongées du Sud au Nord, mises en évidence sur les cartes géologiques par les couleurs variées qui indiquent les différents terrains :

1. La *zone subalpine* formée d'abord par des chaînes à peu près parallèles : le Vercors, la Grande Chartreuse, les Bauges ; puis, dans leur prolongement, au Nord de l'Arve, les Préalpes du Chablais, auxquelles font suite au delà du Rhône, les Préalpes romandes. Toutes ces montagnes sont constituées par des terrains tertiaires, crétacés et jurassiques.

2. La *zone des massifs cristallins* : le Mercantour, le Pelvoux, les Grandes Rousses, Belledonne, le Mont-Blanc, où les roches granitiques, les gneiss et les micaschistes, tiennent la plus grande place. Ces massifs s'alignent en série discontinue, laissant entre eux des espaces où l'on rencontre par lambeaux très réduits, ou par nappes assez largement étalées, des terrains de même âge que ceux de la première ou de la troisième zone.

3. La *zone du Briançonnais*, où l'on retrouve non seulement des terrains tertiaires et des terrains jurassiques, mais aussi du trias et des terrains paléozoïques, qui sont largement représentés. Cette zone, bien développée dans le Dauphiné et en Savoie (massif de la Vanoise), se resserre et se réduit à une bande étroite à l'Est du Mont-Blanc et dans les Alpes Maritimes.

4. La *zone du Piémont*, où prédominent de nouveau les roches cristallines, et où il existe en particulier une formation schisteuse enrichie d'éléments cristallins et désignée sous le nom de schistes lustrés. De cette dernière zone font partie les massifs du Mont-

Viso et du grand Paradis : en Suisse, celui du Mont-Rose se trouve dans son prolongement.

Cette structure si complexe des Alpes françaises, se retrouve dans la partie occidentale des Alpes suisses : mais à mesure qu'on s'avance vers l'Est, elle devient *en apparence* plus simple, et entre Innsbrück et Vienne, les Alpes autrichiennes paraissent comprendre, si l'on s'en tient aux grandes lignes d'une carte géologique, trois zones seulement : une partie axiale constituée par des roches cristallines et des terrains paléozoïques : puis, de chaque côté, au Nord et au Sud, des chaînes formées par des terrains secondaires et tertiaires : marnes, calcaires ou dolomies du trias et du jurassique, flysch et mollasse. L'architecture des Alpes orientales serait donc caractérisée, à la différence de celle des Alpes occidentales, par une espèce de symétrie, par une ordonnance régulière des terrains plus récents, qui viennent flanquer de chaque côté un axe formé par les roches les plus anciennes.

Ces différences de structure, à première vue si accentuées, et perçues dès l'origine, ont-elles influé sur les conceptions que se sont faites au sujet des Alpes les géologues des différents pays ? Toujours est-il que les savants allemands et autrichiens se sont généralement montrés plus disposés à présenter ou à accepter les solutions plus simplistes, ou à les garder plus longtemps, tandis que Français et Suisses ont montré plus souvent un sens mieux averti de la variété et de la complexité des phénomènes. Ces divergences, où l'on a vu parfois à tort une simple question d'école, se marquent en effet à travers tout le XIX^e siècle, dans les théories qui se sont succédé pour expliquer la formation des Alpes.

Dans une première partie, je rappellerai les principales hypothèses qui ont été proposées pour expliquer la

formation des Alpes. La deuxième partie, plus développée, sera consacrée à l'exposé des idées actuelles sur l'origine et l'histoire des chaînes alpines.

I

Léopold de Buch, en 1824, attribue la formation des chaînes de montagnes à une poussée s'exerçant verticalement de bas en haut, et soulevant l'écorce solide en un point du globe. Cette explication pouvait trouver un semblant de preuve dans la distribution régulière des terrains stratifiés de chaque côté des massifs cristallins, et comme appuyés sur eux, dans les Alpes orientales. Ce ne pouvait suffire à rendre compte de l'enchevêtrement des massifs cristallins et des bandes sédimentaires qui existe dans les Alpes occidentales.

La théorie proposée en 1829 par Élie de Beaumont est plus souple et déjà mieux adaptée aux faits. Une chaîne de montagnes serait, d'après Élie de Beaumont, une sorte de bourrelet qui se forme par suite de la contraction due au refroidissement du noyau du globe terrestre. De cette contraction résulte en effet une rupture d'équilibre, et l'écorce, devenue trop grande pour le noyau qu'elle habille, se plisse, les chaînes de montagnes ainsi produites dessinant comme des rides à sa surface. — Cette formule d'Élie de Beaumont renfermait en germe la notion du plissement par refoulement latéral qui fut après lui, et qui demeure encore aujourd'hui généralement acceptée pour expliquer la formation des montagnes, les idées plus récentes sur les charriages n'ayant fait que la compléter et la mettre au point, nous aurons l'occasion de le montrer dans la suite de cette conférence.

L'expérience suivante, facile à réaliser, peut donner une idée assez juste de l'hypothèse d'un plissement dû

à des pressions latérales exercées sur un compartiment de l'écorce terrestre. Empilez sur une table des feuilles de papier, et comprimez-les au moyen d'une planche sur laquelle vous mettrez des poids, puis serrez la pile ainsi maintenue entre les deux branches d'un étau. Les feuilles subissant déjà la pression verticale des poids, et soumises en même temps à une compression latérale énergique, se plissent en une infinité de plis différents les uns des autres, les uns droits et verticaux, d'autres penchés et irréguliers, d'autres couchés ; si l'on opérât avec des couches d'argile, on verrait par endroits des étirements, des brisures, se produire, et certains lambeaux chevaucher les uns au-dessus des autres. — C'est à des pressions du même genre que l'on attribue les plissements qui donnent naissance aux montagnes. La pression verticale qui pèse sur les terrains sédimentaires, comparés aux feuillets de papier, c'est la pesanteur qui tend à les attirer vers le centre de la terre. Or, supposez qu'un vide se produise sous eux, causé par le refroidissement et la contraction de couches plus profondes du globe, ces terrains sédimentaires s'affaissent sous l'action de la pesanteur. Mais, se rapprochant du centre de la sphère, ils devront occuper un arc de sphère plus étroit ; ils subissent de ce fait une pression latérale, exercée par les compartiments qui les encadrent, et qui les oblige à se plisser.

Dans cette théorie, le Jura représentait la montagne-type : les terrains autochtones, c'est-à-dire déposés dans des cuvettes marines qui se trouvaient sur l'emplacement actuel de ses chaînons, ont été comprimés latéralement par suite de l'affaissement des socles cristallins situés sous les plaines ou les bassins tertiaires environnants, sous la plaine de la Saône et sous le plateau suisse. La force tangentielle qui a créé les rides qui forment le rebord des plateaux jurassiques à

l'Ouest, provenait de la plaine de la Saône, tandis qu'à l'Est une poussée horizontale de même ordre, déterminée par le mouvement de descente du plateau suisse, créait les plis du faisceau helvétique. « Sans la plaine de la Saône, le Jura n'existerait pas du tout, il ne formerait qu'une région non plissée, sur le prolongement occidental de la Rauhe Alb et du Randen » (1). — Cette théorie s'appliquait d'ailleurs très bien aux chaînes des Alpes elles-mêmes : leur plissement proviendrait aussi de l'affaissement de leur masse entre deux bassins d'effondrement, la plaine du Pô et le plateau helvético-bavarois. Cette explication d'ailleurs rendait compte d'une manière suffisante non seulement de l'existence de séries d'anticlinaux et de synclinaux régulièrement dessinés, mais encore de la présence de plis déversés, de plis isoclinaux avec chevauchements, déterminant une structure imbriquée, que l'on observait fréquemment dans le Jura argovien ou dans le Jura méridional, et dans les montagnes de la Grande Chartreuse et du Vercors, de chaque côté de la cluse de Voreppe, et dont les exemples se multipliaient à mesure que l'on étudiait de plus près les chaînes subalpines, en particulier.

Toutefois, quand on remontait plus au Nord et à l'Est, dans les Préalpes, surtout quand on pénétrait plus avant dans la chaîne alpine, et à mesure qu'on apprenait à la mieux connaître dans son ensemble, les faits nouveaux devenaient plus nombreux, qui ne trouvaient point une explication suffisante, ou qu'il était impossible d'interpréter convenablement dans la théorie des refoulements tangentiels, telle qu'on la formulait vers la fin du XIX^e siècle.

Parmi ces faits, quelques-uns exerçaient depuis

(1) Rollier, Le plissement de la chaîne du Jura. ANN. DE GÉOGR. XII. pp. 403-410, 1903.

longtemps la sagacité des géologues. Ainsi, les *Mythen* de Schwyz, ces montagnes sans racines, lambeaux de calcaire mésozoïque dont on ne pouvait reconnaître les points d'attache dans le voisinage immédiat, et qui reposaient sur du flysch d'âge éocène, donc beaucoup plus récent. Ainsi encore la région du Chablais, où l'étude géologique révélait sur de grandes étendues des superpositions aussi anormales que celles des *Mythen*, des modes de structure tout à fait inattendus, des roches bréchoides enfin dont on ne retrouvait les types que beaucoup plus loin dans l'intérieur des Alpes. Dans les Alpes romandes, des sommets comme ceux des Diablerets, comme celui de la Dent de Morcles en particulier, sont constitués par des couches presque horizontales, presque toujours disposées en série renversée, et plus bas, sur la tranche des parois abruptes, des terrains relativement récents viennent se terminer en coins au milieu de couches plus anciennes. Plus à l'Est, dans les Alpes de Glaris, des séries appartenant au jurassique, au crétacé, voire à l'éocène, sont emboîtées au milieu de terrains paléozoïques et plongent en-dessous d'eux ; l'un des plus célèbres parmi les géologues suisses, M. A. Heim, ne croyait pouvoir expliquer le fait qu'en imaginant l'existence d'un double pli avec effondrement de la partie centrale. Disposition analogue à l'Est du Rhin, dans le Prättigau, où les calcaires jurassiques viennent surplomber et recouvrir le flysch d'âge moins ancien.

En s'enfonçant plus avant dans l'intérieur des Alpes, les mêmes superpositions anormales se révélaient. M. Baltzer découvrait des coins de calcaire jurassique et de grès tertiaire enfoncés dans les gneiss de la Jungfrau. En Savoie le mont Joly se montrait formé par des couches presque horizontales, où des séries de schistes et de calcaires noirs du trias et du lias se répètent plusieurs fois, en alternant les unes avec

les autres. et sans que l'on aperçoive sur les versants les charnières ni surtout les racines des plis couchés et plusieurs fois répétés qu'il fallait imaginer pour expliquer cette structure. — Dans la zone du Piémont, on découvrait au milieu des schistes lustrés une faune établissant définitivement l'âge mésozoïque de ces schistes, si longtemps considérés comme archéens, ou tout au moins paléozoïques. — Sur le versant méridional des Alpes orientales, Ed. Suess attirait l'attention sur la structure si singulière de ces chaînes qu'il désignait sous le nom de Dinarides, et dont il montrait qu'elles avaient tenu une place à part et joué un rôle important dans l'histoire des Alpes. — Ed. Suess signalait encore la prédominance générale, dans toutes les Alpes, de la poussée s'exerçant de l'intérieur vers l'extérieur de la chaîne, dans toutes les directions, vers le Nord, le Nord-Ouest et l'Ouest.

Les faits nouveaux s'accumulaient ainsi, à mesure que progressaient les méthodes paléontologiques, une connaissance plus approfondie des fossiles et de la répartition des espèces permettant de dater à coup sûr, non seulement les étages mais les zones étroitement limitées ; — à mesure aussi que s'étendait la science pétrographique, instrument indispensable pour débrouiller le complexe des terrains cristallins, qui apparaissait chaque jour plus varié, où l'analyse de détail révélait, au point de vue de la composition, des passages gradués aux roches sédimentaires, schistes, calcaires, grès, tandis que la stratigraphie montrait à l'évidence le passage latéral de ces terrains cristallins à des formations d'âge paléozoïque, mésozoïque, voire tertiaire. La géologie des Alpes s'enrichissait d'un capital de faits, chaque jour plus considérable, au récolement desquels concouraient les progrès mêmes de l'alpinisme, permettant à des savants courageux et exercés de pénétrer au cœur de la montagne et jus-

qu'aux aiguilles réputées les plus difficiles d'accès, pour en reconnaître et en noter la structure et l'âge géologique.

Il fallait dès lors une formule qui permît de relier entre eux tous ces faits accumulés par un travail d'analyse minutieuse. La notion du plissement par simple refoulement latéral de couches sur l'emplacement même où elles s'étaient déposées, n'était plus un cadre assez large pour y faire entrer toutes les acquisitions obtenues ; il fallait une théorie nouvelle.

Celle-ci fut présentée d'une manière en quelque sorte officielle à la IX^{me} Session du Congrès géologique international, tenue à Vienne en 1903, où la question de la tectonique des Alpes avait été mise à l'ordre du jour, et où la théorie nouvelle, l'hypothèse des *nappes de charriage*, greffée sur la théorie du plissement par refoulement latéral, apparut tout de suite comme un véritable corps de doctrine, résultat d'études longuement poursuivies et fortement étayées, grâce à l'effort commun des maîtres de la géologie alpine.

M. Lugeon, professeur à l'Université de Lausanne, exposait à Vienne (1) les résultats d'ensemble de ses beaux travaux sur les Alpes romandes ; il montrait dans ces chaînes aux formes tourmentées qui s'étendent entre l'Arve et la Reuss, entre la Reuss et le Rhin, la trace et les restes de gigantesques plissements venus du Sud, déversés vers le Nord, et qui cheminant dans le sens horizontal s'étaient empilés les uns au-dessus des autres, cachant le soubassement primitif et formant ainsi, à la lettre, comme autant de *nappes de recouvrement*. — M. Haug, professeur à la Sorbonne, présentait de son côté un mémoire sur les charriages de

(1) *Compte rendu de la IX^{me} Session du Congrès géol. Intern.*, Vienne, 1903, 1^{er} fasc., p. 477.

l'Embrunais et de l'Ubaye (1), et M. le professeur Kilian, de Grenoble, une étude sur les phénomènes de charriage dans les Alpes delphino-provençales, accompagnée d'une remarquable discussion et mise au point des théories nouvelles. — Enfin, M. Termier, professeur à l'École des Mines de Paris (2), dans une conférence très écoutée, traitait de l'origine métamorphique des terrains cristallins des Alpes occidentales (3) et spécialement des schistes lustrés, et il rattachait étroitement cette explication aux idées nouvelles que l'on se faisait de la tectonique alpine.

L'émotion fut vive au Congrès et la discussion très chaude, du côté surtout des savants allemands et autrichiens, car il avait paru à quelques-uns que la science allemande fût en question, et qu'il s'agissait là d'une question d'école. En fait, dans ce concours sur une même question, de savants de langue française, bientôt appuyés d'ailleurs par M. A. Heim de Zürich, et par Ed. Suess de Vienne — l'auteur si justement exalté de la plus vaste synthèse géologique qu'on ait tentée jusqu'ici (4) — il fallait voir une de ces rencontres qui ne sont point rares dans le domaine des sciences d'observation ou d'expérimentation, et qui se produisent chaque fois qu'un problème scientifique est à l'ordre du jour et qu'il sollicite plus particulièrement l'attention des chercheurs. A un moment donné, les efforts faits, les résultats partiels déjà obtenus, tout cela crée une sorte d'ambiance favorable. Il arrive alors presque toujours que plusieurs esprits distingués, venus de

(1) *Compte rendu de la IX^{me} Session du Congrès géol. Intern.*, Vienne, 1913, 1^{er} fasc., p. 493.

(2) M. P. Termier est aujourd'hui directeur du Service de la Carte géologique de France.

(3) *Ibid.*, 2^{me} fascicule, p. 571. — M. P. Termier a repris plus récemment cette question dans une étude intitulée : *Sur la genèse des terrains cristallophylliens* et publiée par la REVUE SCIENTIFIQUE, 11 mai 1912, pp. 577-581.

(4) *La Face de la Terre* (trad. E. de Margerie, Paris). — Ed. Suess avait proposé pour expliquer l'architecture des chaînes de montagnes et en particulier des Alpes, la théorie dite du *Horst*.

points différents, découvrent à peu près en même temps les solutions décisives. Il suffit qu'à un moment donné un trait de lumière jaillisse ; des choses qui n'avaient point apparu jusque là sont mises très rapidement en pleine clarté, et la science enregistre une acquisition nouvelle, non pas définitive sur tous les points, mais qui marque un progrès réel sur ce que l'on savait et admettait jusque là.

Dans l'espèce, dans ce problème de la tectonique des Alpes, le rayon de lumière, l'idée féconde avait été émise par Marcel Bertrand. Chose intéressante à signaler ici, c'est dans la géologie de la Belgique que Marcel Bertrand avait puisé le fait qui devait être, par l'interprétation qu'il en proposa, le point de départ des théories nouvelles introduites dans la tectonique alpine. Les géologues belges Cornet et Briart avaient fait connaître l'existence d'un lambeau de terrain carbonifère et dévonien qui dans le bassin de Mons, à Boussu, se trouve au-dessus des schistes houillers, sans attaches directes avec le bord du bassin. Marcel Bertrand proposa d'expliquer le fait par un pli couché dont la tête, au lieu d'être simplement déversée vers le Nord, aurait été charriée et poussée sur une longue distance par dessus le terrain houiller, jusqu'au centre du bassin de Namur. C'était l'idée-mère, la découverte du *lambeau de charriage*, de la *nappe de recouvrement*, formules heureuses qui ont fait fortune depuis, pour exprimer les conceptions nouvelles que l'on se fit un peu plus tard de la structure des chaînes alpines. Car cette explication, l'esprit généralisateur de Marcel Bertrand, si admirablement disposé aux conceptions de grande envergure, l'appliqua d'emblée aux plis déversés que les géologues suisses avaient décrits dans les Alpes de Glaris (1). Et c'était le résultat de près de vingt années

(1) M. Bertrand, *Rapports de structure des Alpes de Glaris et du Bassin houiller du Nord*. BULL. SOC. GÉOL. FR., 3^e série, XI, pp. 318-330, 1884.

de recherches, orientées sur cette voie nouvelle et couronnées par le succès, que ceux qui s'honoraient de le nommer comme leur Maître, venaient apporter en 1903 au Congrès de Vienne.

Depuis, la théorie des charriages, des nappes de recouvrement, n'a fait que se compléter, se préciser et s'affermir. Encore qu'il y subsiste bien des points obscurs et des questions dont il faut attendre la solution de l'avenir — s'il est possible de l'obtenir jamais — elle se formule aujourd'hui en une synthèse séduisante et magnifique de la formation des Alpes. — Après avoir retracé l'histoire des efforts qui ont préparé cette belle conquête de la géologie actuelle, je puis essayer maintenant d'esquisser à grands traits cette histoire même des Alpes, telle que les savants qui se sont appliqués à la géologie alpine ont su la reconstituer.

II

On peut distinguer dans l'histoire des Alpes, trois phases successives : une *période de préparation*, de beaucoup la plus longue, pendant laquelle se sont déposés et modifiés au fond des mers de l'époque secondaire, puis de l'époque tertiaire, les terrains qui forment les Alpes; — une *période de surrection*, qui fut plus brève, encore qu'elle ait duré pendant une grande partie des temps tertiaires, et au cours de laquelle se dessinèrent les plis et les accidents multiples, puis le relief, pendant laquelle en un mot la chaîne des Alpes fut créée, et prit forme de montagne; — une *période de destruction*, qui commença dès que les Alpes surgirent des eaux, puis s'accrut quand le relief fut totalement formé, et qui se continue encore aujourd'hui.

Si paradoxale que la chose puisse paraître, les régions où se dressent les Alpes ont commencé par être une mer profonde. Pendant la plus grande partie de l'ère secondaire ou mésozoïque, et au commencement de l'ère tertiaire, il existait une sorte de fosse étroite ou cuvette profonde qui couvrait non seulement la place occupée en Europe par les Alpes proprement dites, mais encore par les Karpathes et les Balkans, qui les prolongent à l'Est, et par les chaînes qui divergent à partir du golfe de Gènes : Apennins, Atlas, — et auxquelles on a donné par extension le nom de chaînes alpines. Cette sorte de Méditerranée agrandie s'étendait encore plus loin vers l'Est, sur tous les pays où se trouvent à notre époque les montagnes les plus élevées du globe : Caucase, Taurus, Himalaya, et toutes les chaînes qui se détachent du Pamir pour encadrer comme autant de guirlandes les hauts plateaux de l'Asie centrale, et s'épanouissent en cette trainée de presqu'îles et d'îles qui se succèdent depuis l'Indo-Chine et les détroits de la Sonde jusqu'aux Philippines et au Japon. Le phénomène n'était donc pas spécial à l'Europe, et si l'on réunit les deux continents d'Europe et d'Asie sous le nom d'Eurasie qu'emploient volontiers les géographes modernes, on peut dire qu'au début du tertiaire une mer couvrait toute la partie actuellement montagneuse de l'Eurasie. — C'est dans les profondeurs de cette *plus grande Méditerranée* que se sont lentement préparées et comme élaborées les chaînes de montagnes, en particulier la mieux connue de nous, cette chaîne des Alpes, dont les altitudes et la variété de terrains et de structure font aujourd'hui l'étonnement et l'admiration des touristes.

Les géologues qui ont étudié d'une manière détaillée la région des Alpes occidentales, estiment qu'il y existait deux cuvettes parallèles ou *géosynclinaux*, — terme technique employé pour désigner une cuvette

qui se forme par enfoncement graduel du fond, et où s'accumulent les sédiments. De ces deux géosynclinaux alpins, l'un était limité à l'Est par un territoire ancien, dont on connaît seulement quelques restes dans cette bordure méridionale des Alpes qu'on a appelée les Dinarides, et dont la plus grande partie est effondrée et cachée sous les alluvions récentes de la plaine du Pô. Ce premier géosynclinal occupait en largeur l'espace aujourd'hui couvert par la zone du Piémont et la zone du Briançonnais. Du côté de l'Ouest, il était limité par une chaîne d'ilots que constituaient les massifs cristallins (Mont-Blanc, Belledonne, Pelvoux) qui représentaient eux-mêmes les restes disloqués, et peut-être la partie axiale, d'une chaîne bien antérieure aux Alpes et de même âge que l'Ardenne belge et que l'Eifel allemand. Ces massifs ont formé, à certains moments de l'époque secondaire, une barrière discontinue, dont les ilots s'alignaient en chapelet, entre le premier géosynclinal et un second, situé plus à l'Ouest. Celui-ci était *périalpin*, car il comprenait tout le territoire qui correspond aujourd'hui à la périphérie des Alpes : l'emplacement des chaînes subalpines, du Chablais, des préalpes romandes, le Sentis, les Alpes glaronnaises, le Prättigau, la Bavière et la Haute-Autriche. En largeur, ce second géosynclinal variait quelque peu, et il a pu, en France, s'étendre parfois jusqu'au bord oriental du massif Central et jusqu'au Jura, occupant ainsi toute la vallée actuelle du Rhône.

Dans ces géosynclinaux, la sédimentation se poursuivait activement, comme dans toute cuvette marine où des cours d'eau importants viennent jeter les débris arrachés à une montagne voisine en voie de destruction. De ces terrains, les plus grossiers, conglomérats ou sables, s'accumulent au bord ; c'est également à proximité du rivage, ou du moins à des profondeurs peu considérables, que les organismes, algues à squelette

calcaire ou polypiers, trouvaient dans ces mers à température élevée les conditions favorables à leur épanouissement, et édifiaient leurs récifs; plus loin enfin, en avançant vers la partie centrale plus profonde, les eaux, qui tiennent en suspension les boues plus fines, se décantent pour ainsi dire, lentement mais d'une manière continue. Sur ces fonds s'accumulent ainsi des sédiments qui sont en général de nature calcaire ou marneuse, dans lesquels vivent des animaux qui s'accommodent ou qui ont besoin d'une grande profondeur d'eau.

Or, ces dépôts peuvent se superposer, dans le centre du géosynclinal, sur des épaisseurs qui vont à plusieurs milliers de mètres; on connaît dans des terrains anciens des séries de ces schistes à grain fin, qui représentent cependant des formations qui ont été soulevées et fortement comprimées, et qui atteignent 10 000 et jusqu'à 15 000 mètres d'épaisseur. — Comment de telles accumulations sont-elles possibles dans une même dépression? Car les fosses marines les plus profondes de nos Océans ne dépassent guère 8000 à 9000 mètres, et il s'agit là de couloirs ou même d'ombilics étroitement localisés. Enfin et surtout, à de telles profondeurs, l'étude des fonds marins a démontré que la sédimentation est presque nulle. Ces considérations, et celles que l'on peut tirer aussi des caractères de la faune retrouvée dans les dépôts calcaréo-vaseux des géosynclinaux, portent à croire que la profondeur moyenne de ceux-ci oscillait et se tenait probablement entre 1000 et 2500 à 3000 mètres. — Comment dès lors le géosynclinal n'a-t-il pas été bientôt comblé? Il semble bien qu'on doive admettre pour l'expliquer que le fond des géosynclinaux s'affaissait, qu'au fur et à mesure que les sédiments s'y accumulaient, ils tendaient, par la pression même qu'ils exerçaient, à déterminer une descente qui s'effectuait par saccades, par

des tassements brusques au-dessus des vides qui pouvaient exister dans les profondeurs de l'écorce (1). Cet affaissement progressif du fond des géosynclinaux alpins peut seul faire comprendre que les dépôts y aient gardé de la base au sommet, sur des épaisseurs très considérables, le caractère de formations calcaréovaseuses, sans qu'il y ait trace d'interruptions ni de changements importants dans la sédimentation, et que l'on trouve de la base au sommet les restes des mêmes animaux de grande profondeur, ceux-ci servant en quelque manière de témoins de la permanence des conditions où s'effectuait le dépôt. C'est ainsi que des terrains déposés d'abord à 1000 ou 2000 mètres de profondeur ont pu descendre progressivement, au cours des périodes du secondaire ou au début du tertiaire, jusqu'à 5000, 7000, 10 000 mètres et plus.

A vrai dire, ces terrains n'étaient plus, à partir de ce moment, dans la condition de sédiments marins ordinaires. Ils faisaient partie à proprement parler de l'écorce terrestre. Ils subissaient une pression considérable qui allait en croissant continuellement, et de ce fait ils perdaient une grande partie de l'eau qu'ils pouvaient contenir; de ce fait aussi, ils prenaient cette disposition en assises grossièrement parallèles, plus exactement en bancs minces ou en feuillets, qui caractérise les schistes. Mais surtout, ils rencontraient des températures de plus en plus élevées.

C'est un fait universellement connu que la tempéra-

(1) Les beaux travaux de M. de Montessus de Ballore sur les séismes, où ce savant a si nettement mis en évidence les relations qui existent entre la répartition des aires géosynclinales et la distribution des tremblements de terre, ces travaux pourraient donner à penser que certains tremblements de terre, tels que ceux de la côte occidentale des États-Unis, du Pérou et du Chili, représenteraient peut-être le contre-coup de tassements de ce genre se produisant dans les épaisseurs de l'écorce au large des côtes de la Californie ou du Chili.

ture s'élève à mesure que l'on s'enfonce dans les profondeurs du sol, que cette progression est constante, et qu'elle offre une certaine régularité. Ces chiffres relevés dans les exploitations minières, dans les sondages, dans les constructions de tunnels, ont permis d'évaluer cette augmentation à 1° par 33 mètres, chiffre moyen qu'il est convenu d'appeler le degré géothermique. Or, le degré géothermique se manifeste quand on s'enfonce dans le sol à partir du fond de la mer, comme à la surface du continent. Au fond de l'océan, la surface du sol est toujours représentée par le terrain le plus récemment apporté et qui, déposé au-dessus des autres, est venu augmenter d'autant l'épaisseur de l'écorce solide. Dès lors, par l'effet du mouvement d'affaissement, les sédiments les plus anciennement formés d'un géosynclinal plongent dans des zones de température de plus en plus élevée. Un calcul simple montre qu'une fois descendus à 10 000 mètres, ils peuvent être soumis à une température qui n'est pas inférieure à 300 degrés; ceux qui descendent à une plus grande profondeur subissent une température encore plus considérable. De là dérivent pour ces terrains une série de changements d'état qui ont pour résultat de les transformer plus ou moins complètement en terrains cristallins. A l'ensemble de ces phénomènes qui modifient si radicalement les roches sédimentaires, on a donné le nom de *métamorphisme*.

En voici une notion sommaire. — Les sédiments amenés par le jeu des géosynclinaux aux plus grandes profondeurs, peuvent être entièrement fondus et transformés en un magma igné. Ceux qui atteignent des isogéothermes correspondant à des températures moins élevées ne subissent qu'une fusion partielle qui leur confère une sorte de semi-fluidité ou d'état plastique. Les uns et les autres, le magma igné et le milieu incomplètement fluide situé au-dessus de lui, sont soumis, dans

les conditions les plus favorables à une action efficace, à l'influence d'éléments provenant des masses fluides sous-jacentes qui existent dans les profondeurs de l'écorce — l'existence en est démontrée d'une manière évidente par les phénomènes éruptifs. Ces éléments : la silice, les alcalis, potasse, chaux, magnésie et d'autres bases telles que l'oxyde de fer, puis l'acide borique, des composés fluorés et chlorés, jouent le rôle de minéralisateurs et viennent enrichir et transformer en quartz, en feldspath, ou en mica, la plus grande partie des schistes, en amphibolite les calcaires.

Après refroidissement qui se produit très lentement, au fur et à mesure que par la suite ce fond de géosynclinal va peu à peu se soulever, puis surgir de l'océan pour former la montagne, les éléments de la solution nouvelle, ainsi modifiée et enrichie, se solidifient ou prennent la forme cristalline — comme il arrive de toute solution abandonnée à elle-même et se refroidissant lentement : les molécules obéissent à leurs attractions réciproques et se disposent en construisant des édifices moléculaires orientés par rapport à des plans et à des axes de symétrie. Dans les parties complètement fluides, la cristallisation se fait sans orientation privilégiée, et produit des roches massives, dans lesquelles il n'y a plus trace de stratification. Dans les milieux incomplètement fluides, les cristaux, et en particulier les micas, s'orientent, de sorte que la roche métamorphisée, tout en étant une roche cristalline, présente cependant une structure feuilletée (1). Ainsi les roches sédimentaires qui étaient disposées primiti-

(1) M. P. Termier dans un article que nous avons déjà cité *Sur la genèse des terrains cristallophylliens* (REV. SCIENT., 11 mai 1912), traite en particulier cette question de la solidification des milieux incomplètement fluides au fond des géosynclinaux et de l'orientation des micas (pp. 579-580). Dans cet exposé sommaire des phénomènes de métamorphisme, je me suis inspiré largement de cet article et de la belle étude consacrée à ces questions par M. Haug dans le premier volume de son *Traité de géologie* (chapitre XII).

vement dans le fond ou au centre du géosynclinal, se trouvent finalement remplacées, suivant leur nature, par des granites ou par des diorites : celles qui se trouvaient plus haut et latéralement sont remplacées par d'autres roches, cristallines mais feuilletées, qui sont des gneiss, des micaschistes, des amphibolites, des schistes lustrés, suivant la distance à laquelle elles se trouvaient du magma igné, et suivant la limite qu'ont pu atteindre ou les directions privilégiées qu'ont suivies les *colonnes filtrantes* de minéralisateurs qui ont imprégné et transformé les sédiments, à la manière d'une tache d'huile qui s'étend au travers des feuillets d'un livre.

Sur le bord extrême de la zone métamorphisée, on passe insensiblement aux roches sédimentaires qui ont conservé leur structure primitive. C'est l'étude attentive, délicatement menée, de ces zones de passage qui a permis à M. Termier de reconnaître et d'établir que les schistes lustrés passent latéralement à des formations d'âge mésozoïque et même éocène. — Mais il y a mieux, et il subsiste des preuves plus évidentes de ces transformations : au milieu des roches cristallines, feuilletées ou massives, il a subsisté des îlots de roches sédimentaires, qui constituent de véritables certificats d'origine des schistes cristallins au milieu desquels on les découvre ; c'est dans des calcschistes ainsi épargnés par le métamorphisme au milieu des schistes lustrés, qu'on a découvert dans les Alpes franco-italiennes les fossiles qui ont permis d'établir d'une manière indiscutable l'âge mésozoïque des schistes lustrés.

Ce qu'on peut appeler, dans l'histoire de la chaîne des Alpes, la *période de préparation*, comprend donc deux phénomènes principaux : 1° la *sédimentation* sur de grandes épaisseurs, dans des géosynclinaux en voie d'affaissement ; 2° le *métamorphisme* exercé sous l'influence de la température et de la pression, dans les

régions profondes de ces géosynclinaux. — Nous arrivons maintenant à une deuxième phase, plus anciennement connue, et dans un certain sens la plus importante dans la formation d'une montagne, celle du *plissement* et de la *surrection* ou élévation de la chaîne.

Plissement et surrection sont en effet deux actes distincts dont on pourrait presque dire, pour la chaîne alpine, qu'ils se sont succédé dans le temps. Tant qu'ils sont soumis simplement à l'action de la pesanteur, les géosynclinaux prononcent leur mouvement de descente. Mais un moment vient où les vonsoirs latéraux, qui eux-mêmes s'affaissent lentement, exercent l'énergique compression latérale dont il a été parlé à propos de la théorie du plissement par refoulement tangentiel. Dès lors le mouvement de descente s'arrête, et le géosynclinal ne tarde pas à être comblé : le fait s'accuse par des changements importants dans la faune, et par le dépôt de sables, de grès, ou d'autres formations indiquant une faible profondeur. Puis, la pression exercée sur les parois des géosynclinaux l'emportant sur celle de la pesanteur et se composant avec elle, les terrains commencent à présenter des ondulations ou des bossellements élémentaires qui accidentent la surface. Ainsi se forment des dômes et des envettes, de structure à peu près régulière, dont le type est assez commun dans certaines régions du Jura et des chaînes subalpines. — Les expériences de plissement dont il a été question plus haut, où l'on cherche à réaliser les conditions qui se rencontrent dans la nature, montrent que le maximum de complication du plissement intervient en profondeur. Quand, au cours de ces expériences, on ajoute des poids à la surface des feuillets de papier empilés, il tend à se former des plis irréguliers. Or un pli, pourvu qu'il soit légèrement dissymétrique, doit en s'exagérant passer en profondeur à un pli couché avec

flanc étiré. Ce sont des phénomènes qui ont pu se passer dans les profondeurs du géosynclinal, sur lesquelles pesait la masse énorme représentée par les sédiments accumulés. Ainsi se forment, à côté des anticlinaux ou des dômes réguliers, d'autres plis qui sont déversés, et qui se succèdent parfois en séries comme autant de vagues déferlant toutes dans une même direction ; les géologues ont défini cette disposition en désignant les séries plissées de cette manière sous le nom de *plis isoclinaux*.

Ceux-ci peuvent être affectés par des cassures suivies d'un véritable décrochement, et si le mouvement se continue, le flanc supérieur du pli *chevauche* au-dessus du flanc inférieur ; et quand le phénomène se répète pour chacun des plis d'une série isoclinale, celle-ci finit par présenter une structure imbriquée, bien connue par exemple dans la chaîne du Vercors et dans le Jura méridional.

Enfin, quand la poussée s'exerce d'une manière continue dans un même sens — et l'on a vu que cette poussée prédominante s'est produite dans les Alpes, de l'Est vers l'Ouest et du Sud vers le Nord — elle peut être assez énergique pour coucher entièrement les plis et entraîner leurs têtes non plus à quelques centaines de mètres, mais à des dizaines de kilomètres du point où ces plis s'étaient d'abord prononcés. C'est alors une véritable nappe de terrains qui auraient été comme arrachés des régions où ils s'étaient formés et charriés d'Est en Ouest dans les Alpes occidentales, ou du Sud au Nord dans les Alpes orientales, sur des parcours qui ont été parfois de 40 à 60 kilomètres dans le Dauphiné, qui ont pu atteindre dans certains cas 100 et 120 kilomètres, d'après l'estimation de quelques géologues. — Dans le Salzkammergut en particulier, une partie des calcaires triasiques qui forment les chaînes

du Dachstein proviendraient de la région des Alpes située à l'Est du Lac de Garde, des Dinarides, de la Vallée du Gail par exemple : la poussée tangentielle les aurait amenés jusque sur le bord septentrional en passant par-dessus toute la région où se trouve l'axe cristallin des Alpes.

C'est à des plis de ce genre déversés d'une manière exagérée, fortement étirés, puis entraînés à des distances considérables des régions où ils s'enracinaient, qu'on a donné le nom de *nappes de charriage*, termes qui dépeignent le mécanisme auquel on attribue leur formation. On emploie aussi le nom de *nappes de recouvrement*, parce que transportés au-dessus des autres terrains — dans l'exemple du Salzkammergut, au-dessus des terrains cristallins, dans d'autres cas, comme sur le bord du Prättigau, au-dessus du flysch — ces plis charriés peuvent aussi recouvrir ces terrains comme d'une carapace, que l'érosion pourra d'ailleurs entamer d'autant plus facilement que cette couverture est amincie et souvent disloquée par l'étirement qu'elle a subi. Aussi, la plupart du temps, il ne subsiste d'une nappe de charriage que des lambeaux, tels ces Mythen de Schwyz que nous avons eu occasion de mentionner déjà.

De plus, au cours de la striction alpine, ce n'est pas une seule fois que ces phénomènes se seraient produits, et une seule nappe qui se serait constituée ; mais, de même qu'il existe des plis isoclinaux, il se serait formé des séries de nappes, parties successivement de zones de plus en plus internes, et qui se seraient empilées les unes au-dessus des autres, les plus anciennes recouvertes par les plus récentes. Dans cette hypothèse, les restes de ces nappes seraient représentés par ces traînées horizontales de terrains, qui se répètent plusieurs fois les uns au-dessus des autres, au sommet ou dans l'épaisseur de certaines montagnes

des Alpes — le mont Joly et la chaîne des Diablerets par exemple, qui ont été cités comme ayant une structure de ce genre. MM. Lugeon, Termier, Kilian, Haug, ont pu reconnaître ainsi jusqu'à quatre et cinq nappes superposées, sous lesquelles apparaissent, à peine dégagés par l'érosion à l'époque actuelle, les terrains en place, affectés de simples bossellements ou de plissements plus anciens.

D'ailleurs, on n'a pas seulement cherché à déterminer l'emplacement et la superposition des nappes aux points extrêmes qu'elles aient atteints, mais les observateurs sagaces qui se sont employés à résoudre les énigmes de la tectonique alpine, se sont attachés à découvrir aussi les racines de chacune de ces nappes. Ainsi a-t-on reconnu, dans le Beaufortin, et sur le versant occidental du massif du Mont-Blanc, les racines des nappes empilées qui forment le mont Joly. De même, M. Lugeon a découvert contre l'arête centrale des Alpes les racines de la nappe de terrains jurassiques dont les lambeaux, charriés sur le flysch, forment les sommets du massif des Wildstrubel. — Problèmes difficiles à résoudre que ces raccordements, car l'étirement au cours de ces gigantesques chevauchements et opérations de trainage, puis l'action de l'érosion, ont souvent fait disparaître toutes les parties intermédiaires entre la tête d'un pli et ses racines ; il faut, par un long et patient travail d'analyse, dater les quelques fragments qui peuvent subsister, reconnaître leurs roches, leur structure, et rattacher enfin à la nappe à laquelle elles appartenaient ces menues bribes d'une couverture autrefois continue.

Par contre, il est des zones plus favorables à la conservation relative des nappes de charriage. Telles sont les régions situées entre les massifs cristallins, entre le Mercantour et le Pelvoux en particulier, où les nappes poussées de l'intérieur vers l'extérieur de la

chaîne alpine, n'ayant point rencontré d'obstacle, ont pu cheminer et s'étaler largement. Aussi les terrains charriés forment-ils encore une grande partie des massifs de l'Embrunais et de l'Ubaye, situés pourtant au cœur de la chaîne des Alpes. — Au contraire, la chaîne de Belledonne et le Pelvoux ont probablement joué le rôle d'une barrière contre laquelle les premières nappes de charriage sont venues buter et s'arrêter ; les plus récentes seulement, escaladant les autres, ont pu déferler par-dessus les massifs, et poursuivre leur cheminement dans la direction de l'Ouest — et peut-être faut-il attribuer à l'influence du traînage subi par ces nappes, le déversement vers l'Ouest qui s'accuse, d'après M. Termier, dans le profil des plis du Pelvoux.

Cet effort gigantesque qui créait les plissements, les écailles imbriquées, les nappes de charriage, s'accompagnait en même temps et peu à peu d'un phénomène d'émersion. Mais les Alpes qui surgissaient des eaux de la Méditerranée vers le milieu du tertiaire, n'avaient nullement l'aspect des Alpes actuelles. Les prodigieuses dislocations qu'on peut étudier aujourd'hui dans ses vallées, étaient encore cachées en profondeur ; les vallées elles-mêmes n'existaient pas. Le pays alpin qui émergeait, ne formait qu'une sorte d'îlot, ou peut-être plusieurs îlots allongés et peu élevés au-dessus du niveau de la mer, et dont les ondulations de surface n'étaient qu'un écho très affaibli de celles des nappes profondes.

C'est plus tard seulement, un peu après le milieu de l'époque tertiaire, qu'eut lieu, en même temps qu'un dernier effort de plissement très localisé qui créa notamment les chaînons orientaux du Jura, c'est alors seulement que se produisit la surrection proprement dite, c'est-à-dire l'élévation en masse de l'espèce de bourrelet un peu ondulé qu'avait été d'abord la chaîne

des Alpes. — Le mouvement d'élévation s'est prolongé probablement jusque vers la fin du tertiaire, presque à l'aurore du quaternaire. Les éruptions du Massif Central de la France, dont l'homme a connu les plus récentes, en furent très probablement l'une des conséquences, comme les tremblements de terre du Sud de l'Europe pourraient en être les derniers échos.

Ce mouvement de surrection, dernier terme du refoulement latéral, a donné aux Alpes leur altitude considérable au-dessus du niveau de la mer, et a rejeté définitivement vers le Sud une Méditerranée amoindrie. — Il faut observer enfin que le mouvement n'a pas dû être uniforme dans toute la longueur de la chaîne : le maximum de relèvement se serait produit dans les Alpes franco-italiennes, le minimum dans les Alpes orientales ; l'érosion étant moins intense dans les zones de moindre relief, ces différences auraient eu leur contre-coup sur la topographie et la structure des Alpes actuelles, et expliqueraient en partie leurs variations d'une région à l'autre.

Les Alpes actuelles avec leurs vallées profondes et variées, leurs crêtes majestueuses, leurs aiguilles déchiquetées à côté de sommets massifs, leurs terrains si capricieusement plissés, ont des aspects profondément différents de ceux que présentait la chaîne des Alpes quand elle surgit de la Méditerranée. Les agents de cette transformation sont multiples ; ce sont ceux que l'on voit encore à l'œuvre aujourd'hui, et dont les effets se traduisent par les phénomènes d'érosion. Et l'on désigne ainsi l'action du gel et du dégel sur les sommets, des glaciers sur les versants supérieurs, celle des eaux courantes, des torrents, des rivières, sur les versants inférieurs et au fond des vallées. — Les ondulations de surface du dôme alpin au moment de sa surrection

orientèrent les lignes primitives du réseau hydrographique; elles furent en particulier les amorces de ces grandes vallées, transversales, qui sont l'un des traits caractéristiques de la géographie des Alpes, et dont les directions s'harmonisent si peu avec la tectonique actuelle des Alpes, celle du moins que met en évidence une simple carte géologique (1).

Comment s'est effectué le gigantesque travail de destruction qui a eu pour résultat de transformer la physionomie des Alpes depuis le moment de leur formation? C'est ce que disent les arêtes déchiquetées en aiguilles sous l'influence alternée du froid extrême et des rayons solaires; les cônes d'éboulis avec leurs blocs de plusieurs mètres cubes et leurs pierrailles couvrant le flanc des montagnes; les amas morainiques qui forment partout des monticules, des barrages, des terrasses, œuvre des glaciers qui ont recouvert à certaines époques les Alpes presque tout entières; l'activité incessante des torrents qui charrient les boues glaciaires et roulent les pierres sur les versants, au pied desquels ils édifient leurs cônes de déjection; les rivières enfin, qui acheminent à travers leurs vallées et jusqu'à la mer, où les fleuves construisent leurs deltas, les roches arrachées à la montagne. L'immense travail de creusement qui se poursuit d'une manière incessante, aboutit à la formation de vallées nouvelles, et abaisse peu à peu les massifs par l'enlèvement de tranches successives. La couverture du dôme alpin a été ainsi peu à peu dispersée, et l'érosion a mis au jour la structure complexe qu'il recélait.

Sous l'action de ce travail de nivellement, la chaîne des Alpes continuera d'être modifiée; elle est destinée

(1) Des travaux récents ont montré qu'en réalité la position de ces vallées transversales coïncide en beaucoup de points avec des abaissements d'axes anticlinaux.

à être finalement transformée en une sorte de haut plateau du genre de ceux que les géographes appellent des *pénéplaines*, à la surface accidentée d'ondulations à grand rayon, assez semblable à ce que sont les Ardennes, la Bretagne, le Massif Central. Ces pénéplaines sont cependant des chaînes de montagnes anciennes, où l'on voit encore, dans les vallées les plus profondément creusées, des terrains plissés à la manière de ceux des Alpes : et ces montagnes furent probablement aussi élevées que les Alpes le sont de nos jours.

La seule phase de l'histoire des Alpes qu'il nous soit donné de voir se dérouler sous nos yeux, est donc celle de sa destruction. Des deux autres périodes, l'effort des savants, qui pendant près d'un siècle se sont attachés à résoudre le problème de la formation des Alpes, permet de fixer du moins les dates principales et de reconstituer dans une certaine mesure les faits les plus saillants : la préparation et la transformation des terrains au fond des géosynclinaux méditerranéens, les plissements et les charriages effectués dans ces mêmes profondeurs, puis le relèvement en masse à l'époque tertiaire. Dans le détail, un grand nombre de traits de la structure géologique des Alpes et de leurs formes géographiques sont aussi éclairés et reçoivent une interprétation rationnelle.

Reconstituer ainsi le passé, encore que ce soit d'une manière imparfaite, voir dans un avenir même restreint, c'est, pour l'homme qui passe au milieu de ces évolutions à portée indéfinie, faire œuvre de science, et cette œuvre est déjà grande et belle. Il y a plus : le savant pourra reconnaître aussi, pour peu qu'il y veuille rendre son esprit attentif, que les phénomènes grandioses qu'il entrevoit ne sont pas à notre mesure : la

touche divine se révèle dans cette sagesse qui obtient, par le jeu de causes simples, les effets infiniment variés, qui jusqu'à la fin des temps justifieront l'adhésion si hautement raisonnable du croyant et mériteront le tribut de nos admirations.

G. DELÉPINE,
Professeur de Géologie
à l'Université catholique de Lille.

LE MILIEU INTERSTELLAIRE

En dictant aux astres, dont elle prétend régir la course, les lois de leur mouvement, la Mécanique Céleste suppose formellement qu'ils se meuvent dans un vide parfait sous l'influence des seules attractions newtoniennes ; et la ponctualité que, sauf de rares caprices, ils ont toujours mis à obéir, consacre, d'une façon magnifique et, semble-t-il, définitive, la légitimité de l'hypothèse du « vide interastral ».

D'autre part, cependant, les progrès de la Physique terrestre, aussi bien que les découvertes de l'Astronomie physique, paraissent devoir aboutir naturellement à troubler un peu cet empire absolu de la gravitation universelle ; sans aller jusqu'à révolutionner le gouvernement des mouvements célestes, ils tendent à revendiquer une certaine part en faveur de nouvelles influences, à réclamer certains amendements à la loi de Newton qui fait jusqu'à présent tout son code.

Nous voyons en effet le « vide » interastral se peupler petit à petit d'éléments perturbateurs autrefois inconnus. Sans doute, leur action sur la course des grosses masses célestes, même si elle a pu accumuler ses effets à loisir au cours de périodes multiséculaires, est si minime qu'elle échappe au contrôle des observations les plus précises et leur échappera, c'est probable, pendant des milliers d'années encore. Mais cette action du milieu pourrait n'être pas négligeable quand elle s'exerce sur des masses célestes plus légères ou plus rapides : astéroïdes, comètes, traînées météoriques.

Lorsque nous parlerons d'influences perturbatrices, que le lecteur veuille donc bien songer aussi à ces éléments plus mobiles et moins impassibles, menu peuple du monde astral.

D'ailleurs, en dehors de ses effets dynamiques, le milieu interastral peut révéler sa présence, nous le dirons, par d'autres manifestations encore ; en tout cas, son existence et sa nature intéressent la connaissance descriptive de l'univers, et, à ce titre au moins, si les autres semblaient trop insignifiants, nous avons cru utile de réunir dans cet article, quelques idées, certaines, probables ou simplement conjecturales, qui se sont fait jour à ce sujet dans les spéculations astronomiques récentes.

Dans l'ancienne physique — à notre époque une conception physique vieillit en trente ans — un milieu interastral à réaction dynamique ne pouvait être conçu que comme un milieu pondérable. L'impondérable était, en effet, comme tel, incapable d'action dynamique sur le pondérable. L'éther de Young et de Fresnel, par exemple, trame élastique chargée de porter dans l'espace et de propager l'onde lumineuse, se laissait traverser et pénétrer sans résistance par la matière. L'énergie radiante dont il était le siège était incapable d'effets pondéromoteurs et n'engendrait tout au plus que des mouvements stationnaires de molécules.

Mais il n'en va pas de même du nouvel éther où le génie imaginatif et concret de Maxwell devina le jeu superposé des champs électrique et magnétique, dont les variations se propagent par une sorte d'engendrement mutuel et continu. De l'hypothèse de Maxwell, il suit en effet, qu'une onde éthérée — rayon lumineux, radiation calorifique ou ébranlement hertzien — exerce sur les corps matériels qu'elle rencontre une pression de nature mécanique. Maxwell l'avait prévue, Bartoli

l'établit par voie thermodynamique et la précisa par le calcul ; les retentissantes expériences de Lebedeff, puis celles de Nichols et de Hull, en vérifiant de tout point les prévisions théoriques, ont établi définitivement l'existence de la *pression de la lumière*. S'il en est ainsi, les corps célestes, petits et grands, reçoivent des soleils rapprochés ou lointains un appoint de force lumineuse pondéromotrice, et leur course en est, dans une mesure, perceptible ou non, mais réelle, accélérée, retardée ou infléchie. Ce n'est donc pas dans le « vide » qu'ils cheminent, puisque le milieu, quoique impondérable, qui les enveloppe leur communique sous forme cinétique une partie de l'énergie qu'il porte en lui.

Cet exemple — car nous n'avons pas fait plus que citer un exemple — nous montre qu'une étude du milieu interastral, entreprise au point de vue dynamique, doit tenir compte, non seulement des éléments doués de masse qui peuvent se rencontrer dans l'espace et qui agiraient par attraction, chocs ou frottements, mais aussi des champs de force électrodynamiques qui peuvent y exercer leur action.

Nous commencerons notre étude par ces derniers. Nous verrons d'abord l'action dynamique due à la convection de masses électriques, charges propres des soleils et des planètes ou courants électroniques ; ensuite celle qui résulte des variations périodiques du champ constituant les radiations lumineuses et calorifiques. Passant, dans une seconde partie, aux éléments matériels proprement dits, nous aurons à signaler, suivant l'ordre des grandeurs décroissantes, les météorites, les poussières, les molécules gazeuses et les ions qui peuplent l'espace.

Supposons deux corps entre lesquels existe la gravitation newtonienne et chargés d'électricité. On serait tout d'abord tenté de penser que l'attraction ou la

répulsion électrique, s'exerçant entre ces corps d'après la loi de Coulomb, en raison inverse du carré des distances, vient se superposer, sans plus, à la gravitation qui suit la même loi ; les deux causes fusionneraient leur action suivant une loi résultante, identique à chacune des lois composantes, à la valeur près d'un coefficient numérique de proportionnalité : en sorte que le mouvement des corps graves chargés d'électricité serait encore régi d'une manière rigoureuse par les équations de la mécanique newtonienne et obéirait par conséquent aux lois de Kepler.

En réalité, depuis Maxwell, nous savons que la réaction dynamique due au déplacement relatif de corps électrisés est beaucoup plus complexe et qu'elle ne copie pas simplement celle de la gravitation. Celle-ci, en effet, est instantanée et s'exerce à distance, tandis que l'autre se propage avec une vitesse finie dans un milieu, l'éther. Il résulte de là que l'action d'un astre sur un autre, au moment où elle atteint ce dernier, n'est pas dirigée suivant la droite géométrique qui les unit, mais est déviée de celle-ci d'un certain angle d'*aberration*.

L'effet de cette aberration est équivalent, on peut le démontrer aisément, à celui d'une résistance de milieu, proportionnelle à la vitesse, qui écarterait l'astre de son orbite elliptique et modifierait l'allure de sa vitesse keplérienne.

Hâtons-nous de le dire : s'il est probable que les astres portent des charges électriques (1) et si même, ce qui est probable aussi, ces charges sont sujettes à des variations, on n'a jamais constaté, au point de vue qui nous occupe, le moindre effet électromagnétique

(1) D'après G. Hale (ASTROPHYSICAL JOURNAL, Vol. XXXVIII (1913), p. 37), le soleil et la terre seraient chargés tous deux négativement. L'action de gravitation serait donc partiellement contrariée par la répulsion existant entre les charges électriques de même signe.

qui puisse leur être attribué. Cet effet, s'il existait, serait d'ailleurs analogue à celui qui se manifesterait si la vitesse de transmission de l'action gravitationnelle était finie; or, on le sait, aucune observation n'a contredit jusqu'à présent l'hypothèse de l'action instantanée de l'attraction newtonienne.

Nous pouvons donc conclure que, s'il existe, le champ électromagnétique dû aux charges solaires et planétaires est absolument négligeable vis-à-vis du champ de la gravitation. Remarquons en passant et sans vouloir attacher trop d'importance à cette conjecture, qu'une charge électrique portée par la terre aurait pour effet d'amener petit à petit dans l'atmosphère les météorites dont les orbites seraient voisines de l'orbite terrestre.

A cet endroit de notre étude, nous ne ferons que signaler l'action électrodynamique des courants électroniques dont nous aurons à parler plus loin. Nous ne possédons aucun moyen de l'évaluer, même d'une façon approximative. Il nous suffit de savoir que ses effets sont en tout cas très minimes et sont restés jusqu'à présent inaperçus.

Passons à la question plus intéressante et mieux connue de l'action dynamique des rayons lumineux.

La pression exercée par la radiation d'une source lumineuse sur une surface donnée est proportionnelle à l'éclairement de la surface. L'éclairement, on le sait, varie lui-même en raison inverse du carré de la distance à la source, et il en est de même, par conséquent, de la pression lumineuse. Ce fait est important : voici pourquoi. Imaginons, au repos, une planète de forme sphérique, soumise à l'action d'un soleil lumineux. Elle est attirée par lui en vertu de la gravitation, et en même temps repoussée par les rayons qui émanent de lui. Mais, comme chacune de ces forces opposées

varie de même façon avec la distance, c'est-à-dire en raison inverse de son carré. il s'ensuit de là que la différence de ces forces, leur résultante, force efficace à laquelle obéira la planète, est proportionnelle, elle aussi, à l'inverse du carré de la distance. L'action combinée des deux causes de mouvement se résout donc finalement en une force unique de forme newtonienne. En particulier, si une planète, à une certaine distance du soleil, est attirée par lui malgré la répulsion lumineuse, elle sera attirée aussi à toute autre distance ; et inversement, repoussée en un point de l'espace, elle le sera partout.

Mais si nous voulons déterminer ensuite, pour un corps céleste donné, celle des deux actions, gravitation ou pression lumineuse, qui l'emporte sur l'autre, il nous faut fixer notre attention sur un autre élément du problème, sur le rapport entre la surface et la masse du corps.

Supposons rangés sur une même circonférence autour du soleil une série de corps sphériques, de même densité, mais de rayons variés. Les plus petits ont seulement quelques centièmes de micron de diamètre, les plus grands ont les dimensions des grosses planètes. Leurs masses, comme leurs volumes, sont proportionnelles *aux cubes de leurs rayons* ; leurs surfaces ou leurs demi-surfaces, hémisphères éclairés, le sont *aux carrés des mêmes rayons*. De là, une conséquence importante : l'attraction, effet de masse, et la répulsion, effet de surface, ne varient pas dans la même proportion, lorsque varie le rayon des corps considérés. Si le rayon est suffisamment grand, l'action de masse, proportionnelle au cube du rayon, l'emporte sur l'effet de surface, proportionnelle seulement à son carré. Mais inversement, quand le rayon est petit et décroît, c'est le cube du rayon qui tend vers zéro plus rapidement que son carré et, par conséquent, c'est la

répulsion lumineuse qui triomphe de l'attraction. Donc, parmi les corps célestes qui font cercle autour du soleil, et que nous rendons libres d'obéir aux forces qui les sollicitent, nous verrons les uns, les plus gros, se précipiter vers le centre avec une vitesse d'autant plus grande que leurs dimensions sont plus grandes ; d'autres, de rayons moindres, n'y tendre que paresseusement ; d'autres au contraire fuir l'astre central, et d'autant plus rapidement que leur rayon est plus petit. Enfin il s'en trouvera, de dimensions intermédiaires, qui resteront en place ; ce seront ceux en qui l'attraction sera balancée exactement par la répulsion lumineuse.

En langage mathématique ces faits se résument très aisément. Si l'on désigne par R le rayon de la particule, par d sa distance au soleil, par k et par l des coefficients numériques convenables, l'attraction sera représentée par

$$\frac{kR^3}{d^2}$$

et la répulsion par

$$\frac{lR^2}{d^2}$$

La résultante, différence de ces deux forces de directions opposées, comptée positivement dans le sens du soleil attirant, aura pour valeur :

$$\frac{R^2}{d^2} (kR - l).$$

Si $R > \frac{l}{k}$, la résultante est positive : l'attraction l'emporte ;

si $R = \frac{l}{k}$, la résultante est nulle : il y a équilibre ;

si $R < \frac{l}{k}$, la résultante est négative : il y a répulsion.

Ces formules montrent encore, effet déjà signalé, que l'action résultante — attraction, répulsion ou équilibre — ne change pas de nature avec la distance au soleil ; que, par exemple, une particule de dimensions et de masse telles qu'à une certaine distance du soleil, la répulsion lumineuse équilibre exactement l'attraction, sera en équilibre en tout point de l'espace et se trouvera donc, fait étrange, pratiquement soustraite à la loi de la gravitation universelle.

Précisons ces notions par quelques données numériques.

Dans le système solaire, le diamètre d'une de ces particules en équilibre, de densité égale à celle de l'eau, serait d'environ 1 12 micron (1). Avec la densité moyenne de la terre, il serait de 27 centièmes de micron. Cette exiguité du rayon critique nous fait pressentir combien faible est la pression de la lumière, non seulement en regard des forces généralement mises en jeu dans l'univers astronomique, mais même en comparaison de celles que peuvent balancer ou mesurer les instruments de laboratoire les plus délicats. C'est ainsi qu'à la distance moyenne de la terre au soleil, la lumière solaire, tombant d'aplomb sur un centimètre carré de surface, exerce une pression, variable d'ailleurs avec le pouvoir réflecteur de la surface, de 4 à 8 millièmes de milligramme. Si l'on calcule la pression lumineuse totale que subit la terre, on trouve 75 000 tonnes environ. Sur une masse que maîtrise une force de gravitation de trois milliards et demi de milliards de tonnes, c'est une quantité franchement insignifiante, et, en la négligeant, la Mécanique Céleste ne s'expose guère à être surprise en désaccord avec les faits observés. Ainsi, si le soleil venait brusquement à s'éteindre, la disparition de la pression lumineuse

(1) Micron = millième de millimètre.

raccourcirait le rayon de l'orbite terrestre d'un peu plus de 6 millimètres et l'année d'un dix-millionième de seconde !

Lorsque nous avons affirmé, il y a quelques instants, que l'action de la pression de la lumière sur un corps céleste est directement opposée à celle de la gravitation, nous avons, on s'en souvient, supposé le corps immobile par rapport à la source éclairante. S'il ne l'est pas, ou au moins si sa vitesse n'est pas parallèle à la direction des rayons lumineux — et c'est le cas général en Astronomie — les choses changent un peu. En effet, le faisceau d'énergie radiante progresse dans l'espace avec une vitesse finie et atteint par conséquent l'astre mobile suivant la direction de la vitesse relative, résultante de celle du faisceau et de la vitesse de l'astre prise en sens contraire. Que le lecteur nous passe ici une comparaison un peu familière : quand nous nous hâtons sous une averse, les gouttes de pluie, quoique tombant verticalement, semblent arriver sur nous obliquement, de devant ; et c'est en avant, si nous avons le bonheur d'en avoir un, que nous inclinons le parapluie. Il ne nous reste qu'à prendre les filets d'eau de l'averse pour des rayons de soleil et la surface du parapluie crépitant sous les gouttes pour la surface ensoleillée d'une planète, et nous nous serons rendu compte, par comparaison ou, si l'on veut, par contraste, de la déviation d'un faisceau de lumière solaire rencontrant une planète en mouvement. La même constatation peut se présenter d'une manière un peu différente. Supposons achevée en forme de sphère complète la surface du parapluie. La demi-sphère battue par l'averse n'est point celle dont le pôle est exactement au-dessus de nous, dans la direction réelle d'où pleuvent les gouttes, mais elle est un peu déviée en avant dans le sens de la marche. Pareillement, l'hémisphère éclairé d'une planète n'est pas la demi-sphère géométrique-

ment opposée au soleil, mais un hémisphère dont le pôle est dévié dans le sens du mouvement de la planète. Et de là cette conséquence : la résultante de la pression de la lumière sur une planète qui se meut perpendiculairement à la direction des rayons solaires est inclinée sur l'orbite dans un sens tel qu'elle tend à *retarder* le mouvement de la planète. La lumière remplissant l'espace interastral joue donc le rôle d'un milieu résistant (1).

Si nous avons la curiosité de calculer pour la terre la composante retardatrice de la lumière solaire, nous la trouvons égale à 742 tonnes environ. Sur Mercure elle est de 1112 tonnes. Sur une petite planète de 20 kilomètres de diamètre et qui circulerait autour du soleil à la distance et avec la vitesse moyennes de l'essaim des petites planètes, cette force retardatrice dépasserait à peine un gramme. Les perturbations causées par de telles actions sont insignifiantes au point de défier tout contrôle. Mais toutes minimes que soient ces causes, sur des corps célestes plus légers, plus petits et plus rapides, sur des comètes peut-être, sur des essaims météoriques, ces actions pourraient à la longue déterminer un effet observable. Elles sont sensibles, par exemple, sur les queues cométaires qu'elles refoulent dans la direction opposée à celle du soleil.

On pourrait montrer encore, mais nous ne nous attarderons pas sur ce point, que la pression lumineuse sur les corps célestes qui décrivent des orbites elliptiques tend à diminuer l'excentricité de ces orbites et à faire rétrograder le périhélie.

(1) Le calcul montre que la résistance de ce milieu fictif serait proportionnelle à la vitesse. Dans ces conditions, on trouve, résultat remarquable, que la vitesse aréolaire $\frac{r^2 d\theta}{2dt}$, au lieu d'être constante comme dans le mouvement képlérien, est une fonction linéaire de θ .

Ayant examiné les actions pondéromotrices dues aux champs électromagnétiques qui font de l'espace inter-astral un milieu récepteur et transmetteur d'énergie, il nous faut passer à l'étude des éléments pondérables qui en font un milieu matériel dans l'acception la plus concrète du mot. Nous tâcherons, dans la mesure du possible, de nous faire une idée de la concentration de ses divers éléments, des mouvements qui les animent et dès lors de l'action qu'ils peuvent exercer sur le déplacement des corps célestes.

Groupons d'abord en une première catégorie et sous le nom de météorites (1) toutes les variétés de corps célestes qui, venant de l'espace, pénètrent dans notre atmosphère, soit qu'ils s'y révèlent sous la forme fugace mais brillante d'étoiles filantes et de bolides, soit qu'ils nous laissent le témoignage permanent de leur chute dans les « pierres du ciel » trouvées à la surface du sol et dont la structure cristalline caractéristique atteste, sans laisser place au doute, la provenance extraterrestre.

Un mot d'abord de leur origine, car elle est en rapport étroit avec leur répartition actuelle dans l'espace et le mouvement dont ils y sont animés. D'après les hypothèses les mieux accréditées, les météorites doivent leur existence soit à la condensation locale de petits noyaux primitifs au sein du chaos originel — ce qui leur donne donc rang de soleils minuscules, mais indépendants, — soit à la dislocation d'une masse cométaire, soit à la rupture d'un anneau planétaire, soit à l'explosion d'astres plus grands, soit à leurs éruptions volcaniques. Les deux premières hypothèses définissent des météorites d'origine cosmique ; ils seraient représentés parmi ceux qui ont atteint le sol par les sidérites et les

(1) Cette acception est plus compréhensive que l'acception d'usage, mais elle simplifiera notre exposé.

sidérolithes à forte teneur de fer. Les dernières hypothèses définissent, au contraire, des météorites d'origine interne au système solaire : on reconnaîtrait de préférence comme tels les aérolithes proprement dits, dont la composition chimique et la microstructure rappellent les roches éruptives terrestres.

Qu'il existe des météorites de la première catégorie, déchets de l'élaboration des mondes par la condensation d'amas nébuleux primitifs, les théories cosmogoniques nous laissent libres de le supposer ; mais elles sont muettes sur leur distribution dans l'espace et sur leurs mouvements. Force nous est donc de voiler notre ignorance, ou plutôt d'en tirer parti, en admettant une distribution uniforme de ces corps et de leurs vitesses. S'il en est ainsi, les étoiles filantes qu'elles forment en pénétrant dans notre atmosphère ne doivent manifester aucune tendance à des groupements systématiques. Si on corrige leur position et leur trajectoire apparentes en tenant compte de la composante due au mouvement propre de la terre, elles doivent se répartir d'une manière uniforme à la surface de la voûte céleste et leurs traînées lumineuses y doivent prendre indifféremment toutes les directions.

La dislocation des comètes, au contraire, conduit à des groupements naturels. Les fragments cométaires, après la désagrégation de l'astre, voyagent en bandes ou en files, s'échelonnant, sans jamais s'en écarter notablement, le long de l'orbite primitive. Les trajectoires des fragments étant parallèles, elles se projettent sur le ciel suivant des lignes divergentes, issues d'un même point de fuite, leur radiant. De même que celles des comètes, les orbites des traînées de filantes seront distribuées au hasard dans l'espace et leurs éléments orbitaux ont, de fait, toutes les valeurs possibles. Il y a donc ici groupement par radiants, mais aucun groupement systématique de radiants, si, bien entendu,

l'on fait abstraction de l'effet d'accumulation apparente dérivant du déplacement propre de la terre.

On ne peut en dire autant des météorites nées du système solaire. Ceux-ci circulent isolément ou presque isolément autour du soleil. Leurs orbites sont généralement peu inclinées sur l'écliptique et leur mouvement est généralement direct. Elles ne peuvent être entraînées dans notre atmosphère qu'à la suite de perturbations produites par le voisinage des planètes ou par l'action d'un milieu résistant, qui, en déformant leurs trajectoires, leur font couper parfois l'orbite terrestre. Encore, ne viennent-elles s'enliser dans notre atmosphère ou y faire ricochet que si elles se présentent au point d'intersection ou nœud des orbites au moment même où y passe la terre. Le nombre de celles qui sont effectivement captées n'est donc qu'une très minime fraction de leur nombre total.

En résumé donc, en dehors du système solaire, nous voyons les météorites sporadiques distribués dans l'espace d'une manière uniforme et leurs déplacements s'effectuer au hasard, indifféremment dans toutes les directions, tandis que les météorites cométaires, alignés en files ou groupés en essaims serrés, y dessinent des traînées régulières.

A ce fond cosmique général, le système solaire superpose les météorites, probablement beaucoup plus nombreux qui lui doivent leur origine, font partie de sa grande famille et participent en presque totalité à la circulation planétaire générale.

Pourrait-on, en cette matière, dont l'étude repose sur des données statistiques encore très incomplètes, risquer un dosage de l'espace en météorites? Faisons le calcul suivant : divisons le nombre de météorites que rencontre annuellement la terre par le volume du tore hélicoïdal que cette dernière engendre dans sa révolution annuelle combinée avec la translation du

système solaire. D'après l'évaluation de Woodward, l'atmosphère terrestre recueillerait journallement 20 millions de météorites (1). On déduit de là une concentration de 42 météorites par cube de 1000 kilom., de côté, soit encore 4500 météorites dans un volume égal à celui de la terre.

Ce résultat doit être interprété. Il serait rigoureux si l'on pouvait supposer annulée l'attraction de la terre sur les météorites et si ceux-ci étaient tous préalablement au repos. Alors, en effet, la terre ne recueillerait que ceux qu'elle-même irait heurter et ramasser dans sa course. Mais faisons d'abord entrer en ligne de compte l'attraction, en laissant encore de côté les mouvements propres des météorites. Pour faciliter l'exposé, renversons les rôles des corps en présence en supposant la terre immobile et en attribuant aux météorites uniformément répandus dans l'espace une vitesse initiale, 32 kilomètres par seconde, égale à celle de la translation terrestre, mais de sens contraire. En vertu des lois de Newton, les météorites décrivent des coniques ayant pour foyer le centre de la terre. Nous négligeons, bien entendu, les perturbations réciproques des météorites, vis-à-vis de l'attraction terrestre. Ne seront captés que ceux d'entre eux, dont la distance au périhélie est inférieure au rayon de la terre augmentée de l'épaisseur de la couche atmosphérique, où ils sont arrêtés. Cette couche a environ 300 kilomètres d'épaisseur. Or, remarquons-le d'abord, la vitesse initiale des météorites, 32 kilomètres par seconde, est supérieure à la vitesse parabolique, laquelle n'est que de 11 kilomètres, même à la surface de la terre (2). Toutes les trajec-

(1) Pour une étoile filante visible à l'œil nu, il en est 22 visibles seulement au télescope.

(2) Le lecteur se rappellera qu'en vertu des lois de la mécanique newtonienne la nature *elliptique*, *parabolique* ou *hyperbolique* de la section conique décrite par un astre gravitant autour d'un autre, dépend uniquement de sa

toires seront donc des hyperboles. De là résulte aussitôt que tout météorite qui, en vertu de sa position et de sa vitesse initiales, ne se rapproche pas actuellement de la terre, s'en éloignera, et indéfiniment; échappera par conséquent à la capture. Le lecteur verra aisément que la moitié des météorites de l'espace, ceux qui sont situés d'un même côté du plan normal à la trajectoire de la terre et passant par le centre de la terre, sont dans ce cas. Ensuite, la vitesse initiale étant notablement supérieure à la vitesse parabolique, les trajectoires hyperboliques seront généralement très tendues. Pour peu donc que la position initiale du météorite se trouve éloignée de la trajectoire terrestre, la distance du périégée, conclusion confirmée d'ailleurs par le calcul, sera plus grande que le rayon terrestre, et le météorite échappera. Dans ces conditions, on obtient donc une approximation admissible du nombre de météorites captés en négligeant l'influence de l'attraction et en ne tenant compte que de l'action de « balayage ». Il est plus difficile, sans recourir au calcul, de se faire une idée de l'influence introduite par la vitesse propre des météorites; mais on arriverait à la conclusion que le nombre de météorites captés en raison de cette nouvelle condition est petit, relativement à celui des météorites recueillis par suite de la translation. Nous pouvons donc tenir la concentration calculée de 42 météorites par mille kilomètres cubes pour une limite supérieure très approchée de la concentration réelle.

Mais une interprétation physique ultérieure de ce résultat est encore nécessaire. Nous avons donc obtenu le nombre de météorites recueillis, à l'intérieur du

vitesse. Pour chaque distance de l'astre attirant, il existe une vitesse critique déterminée, appelée vitesse parabolique. Si l'astre attiré possède une vitesse moindre, il décrit une ellipse; s'il possède une vitesse plus grande, il décrit une hyperbole; à la vitesse parabolique, il décrirait une parabole.

système solaire, par un astre qui participe à la circulation d'ensemble du système. Si nous avons égard au fait que les météorites faisant partie du même système sont, en général, entraînés dans la même circulation (orbites peu excentriques et mouvements directs) et qu'il faut un concours exceptionnel de circonstances pour les conduire dans notre atmosphère (1), nous devons conclure que, parmi tous les météorites qui nous atteignent, la grande majorité sont de nature cosmique et que le nombre obtenu plus haut représente une moyenne de la concentration en météorites de l'espace interastral en dehors du système solaire, quoique au voisinage de ce dernier. Quant à la population météorique du système solaire lui-même, elle serait beaucoup plus dense. Il est établi en tous cas qu'elle n'est pas uniforme, mais qu'elle est répartie suivant des zones annulaires. C'est ainsi, par exemple, que la terre rencontre un plus grand nombre de météorites à l'aphélie qu'au périhélie. Signalons à ce sujet une étude intéressante de M. Fessenkopf (2), sur la distribution des courants de matière cosmique dans le système solaire. L'auteur suppose que des millions de comètes captées par le système terrestre depuis son origine ont pu se réduire en fragments météoriques très petits, qui se sont dispersés sur leurs orbites primitives. En supposant arbitrairement distribués dans tous les sens les éléments de ces orbites, il calcule la densité météorique relative à l'intérieur du système solaire. En prenant pour unité de densité, la densité à la distance moyenne de la terre au soleil, prise elle-même pour unité de distance, il trouve les résultats suivants :

(1) Voir J. Carbonelle, S. J. Étoiles filantes et météorites, REV. DES QUEST. SCIENT., t. XXIV (1888), p. 419; t. XXV (1889), p. 182.

(2) C. R., 6 avril 1914.

| Distance au soleil | Densité météorique |
|--------------------|--------------------|
| 1,00 | 1,0 |
| 0,75 | 0,9 |
| 0,50 | 1,1 |
| 0,25 | 2,3 |
| 0,20 | 2,6 |
| 0,15 | 3,3 |
| 0,10 | 5,2 |

Ces résultats — faut-il l'ajouter ? — sont purement hypothétiques : ils n'ont encore rencontré dans l'observation aucune confirmation.

Il nous faudrait encore être fixés sur l'ordre de grandeur des météorites. En réalité, parmi les 700 échantillons qu'on a retrouvés à la surface de la terre, il en est de tailles et de poids très différents. Tandis que les plus petits n'atteignent que quelques centigrammes, d'autres pèsent plusieurs tonnes, comme le Willamette, qui en pèse 16 et le Anighito qui en pèse 36 1 2. Il faut ajouter d'ailleurs que les météorites de nos musées ne sont en général que le noyau résiduel des corps captés dans l'atmosphère, car l'échauffement dû au frottement volatilise la surface du météorite. La portion volatilisée est d'ailleurs relativement plus considérable pour les petits que pour les grands météorites. Aussi la plupart des météorites engagés dans l'atmosphère, surtout ceux d'origine cosmique, plus petits en général que les autres, sont-ils complètement volatilisés bien avant qu'ils n'aient pu atteindre le sol. Il peut se faire même que la lumière émise par les plus petits d'entre eux soit trop faible pour que nous puissions en percevoir l'éclat. M. Humphreys a proposé récemment (1) une explication de la « lumière de terre »

(1) ASTROPHYSICAL JOURNAL, t. XXXVI, 1912, p. 286.

fondée sur cette considération. On sait que par les nuits sans nuages « l'obscur clarté qui descend des étoiles » est supérieure à la somme des éclairéments dus à toutes les étoiles qui brillent au-dessus de l'horizon ; en d'autres termes, que le fond du ciel n'est pas absolument obscur, mais qu'il nous envoie une certaine quantité de lumière diffuse.

Celle-ci ne serait-elle pas produite, se demande M. Humphreys, par des myriades d'étoiles filantes minuscules, individuellement imperceptibles, et qui seraient dues à des nuées de poussières météoriques envahissant continuellement l'atmosphère ? L'hypothèse est plausible et l'explication élégante. Il faut avouer pourtant qu'on ne manque pas d'autres interprétations. Les conditions et la répartition de l'éclat de minuit dans les différentes zones du firmament n'ont pas encore fait l'objet d'une étude systématique suffisante ; celle-ci limiterait vraisemblablement le choix entre les explications proposées. De l'hypothèse de Humphreys résulte, par exemple, que l'éclat de minuit doit être plus grand du côté de l'apex relatif que du côté opposé. Si l'on admet que les poussières météoriques font partie du système solaire, l'apex relatif correspondant sera situé sur l'écliptique à 90° du soleil dans le sens rétrograde ; si les poussières sont d'origine intersidérale, la direction de l'apex relatif résultera de la composition de la vitesse de révolution de la terre avec la vitesse du système solaire. Si l'on peut regarder comme suffisamment délicates et décisives, les dernières expériences d'Angstrom sur la radiation tellurique, elles seraient de nature à écarter l'hypothèse de Humphreys (1). Angstrom trouve, en effet, une radiation nocturne, distribuée symétriquement autour du zénith

(1) *The nocturnal radiation to space*, ASTROPHYSICAL JOURNAL, vol. XXXIX, 1, p. 95 (1914).

et non autour de l'apex. Mais il faut remarquer qu'il enregistrerait surtout la radiation calorifique de grande longueur d'onde et non la radiation lumineuse. Une étude bolométrique du rayonnement nocturne, qui permettrait d'isoler la déperdition propre de chaque radiation en différentes zones de la voûte céleste, pourrait fournir ici un *experimentum crucis*.

Tout imparfaites et tout imprécises qu'elles soient, nos connaissances sur les météorites distribués dans l'espace interastral nous permettent cependant de conclure que les masses célestes un peu importantes n'ont guère à se soucier de la présence de ce milieu météorique et que leur course n'en est pas troublée d'une manière appréciable.

Il faut pourtant mentionner ici une élégante étude de MM. Tomasetti et Zarlatti, publiée dans le BULLETIN ASTRONOMIQUE (avril 1914, p. 150), et qui résout le problème astronomique des deux corps lorsque leurs masses sont variables. Les auteurs traitent en particulier le cas du système terre-soleil en supposant que les deux astres voient leur masse augmenter par l'apport des météorites. En admettant pour l'accroissement de masse de la terre 20 000 tonnes par an — estimation d'Arrhenius — et pour le soleil un accroissement annuel de 30 milliards de tonnes, ils arrivent à cette conclusion que l'année se raccourcit de $\frac{32}{100}$ de seconde en 8000 ans. Les auteurs n'ont pas tenu compte dans cette évaluation de la variation d'énergie cinétique qu'entraîne la capture des météorites. Un calcul sommaire, fait en tenant compte de ce facteur, nous montre que la variation de l'année qui en résulterait ne serait que de 10 milliardièmes de seconde pour la même période de 8000 ans.

Puisqu'il est un fait que des essaims météoriques peuvent posséder la masse et l'énergie cinétique de la comète dont ils sont issus, on peut s'attendre de leur part à des effets sérieux, tant physiques que méca-

niques, si l'essaim entrant en collision avec un astéroïde ou avec une comète. Cet événement a une probabilité très minime, mais il est possible, et de pareilles rencontres, de moins importantes même, pourraient contribuer à expliquer soit certaines singularités dans la vitesse des comètes, soit même, conjointement à d'autres causes, la désagrégation de leurs noyaux ou les étranges irrégularités de leurs panaches lumineux.

Nous devons revenir à la pression de la lumière. Elle va nous intéresser maintenant non plus au point de vue de son action dynamique immédiate sur les masses célestes, mais parce qu'elle a pour effet de disséminer dans l'espace et d'y maintenir en suspension des poussières matérielles très fines, second élément constitutif du milieu interastral.

Tandis que la gravitation subjugué les grandes masses planétaires et les tient enchaînées dans le système solaire, malgré l'action répulsive de la pression lumineuse, il doit se faire, nous l'avons montré, que, sur des particules suffisamment petites, le jeu de ces actions se trouvera précisément renversé. Et d'abord de telles particules existent-elles dans l'espace? Il serait difficile actuellement de mettre la chose en doute. Elles proviennent soit de la désagrégation cométaire, pouvant aller jusqu'à la pulvérisation, soit des remous gigantesques, qui, témoin notre soleil, soulèvent l'atmosphère des étoiles et projettent la matière jusqu'à d'immenses distances de l'astre. Dans le nuage de matière soulevée, il doit se rencontrer ou se former par condensation des particules solides ou liquides (1). Les unes, les moins légères, retombent

(1) On croit en reconnaître l'existence dans la couronne solaire. On sait d'ailleurs que le spectre d'émission de la couronne, comme celui de la lumière zodiacale, se détache sur un fond continu, révélateur de substance solide ou liquide émettant ou réfléchissant de la lumière. L'amplitude et le nombre des jets coronaux sont du reste en correspondance étroite avec les bouleversements superficiels du soleil, manifestés par la formation des taches.

sur le soleil, les autres, plus petites, dont le rayon a précisément la valeur critique dont nous avons parlé et qu'aucune force ne sollicite à monter ou à descendre, ont tôt fait de dissiper dans des chocs la force vive qu'elles possédaient, et restent flotter immobiles dans le voisinage du soleil. D'autres enfin, plus petites encore, aussitôt saisies par l'énergie dynamique du rayonnement solaire, sont portées au loin sur les ailes immatérielles de la lumière et vont peupler l'espace interastrol. Vont-elles s'enfoncer dans ses profondeurs infinies définitivement et sans espoir de retour ? Non, et pour plusieurs motifs.

D'abord, remarquons-le, dans l'explication esquissée plus haut et qui nous a conduits à cette affirmation qu'une particule repoussée, à une certaine distance du soleil, sera repoussée à toute autre distance, et, par conséquent, s'éloignera de lui indéfiniment, nous n'avons pas tenu compte de la circonstance que voici : le centre qui attire la particule n'est pas situé au même point que la surface qui la repousse. Dans nos raisonnements, nous avons supposé, en effet, que la répulsion émanait du centre du soleil, comme nous savons, par un théorème de mécanique, qu'en émane équivalamment l'attraction de la sphère solaire. Cette approximation, plausible si l'on considère les particules à des distances très grandes du soleil, fausse complètement les conclusions quand il s'agit de particules prises dans le voisinage de sa surface : elles sont repoussées par les rayons issus d'une zone sphérique plus voisine d'elles que le centre qui les attire. Nous ne pouvons entrer dans la discussion détaillée du problème de mécanique qui se pose à ce sujet ; mais il est facile de concevoir que des particules de rayon plus grand que le rayon critique (1) et qui, par conséquent, à grande distance du

(1) En appelant ainsi le rayon d'une particule équilibrée à une distance infinie du soleil.

soleil, seront attirées malgré la répulsion, pourront se trouver au contraire repoussées, malgré l'attraction, quand elles se rapprocheront du soleil. La répulsion, en effet, variant en sens inverse de la distance à la surface du soleil, distance qui tend vers zéro, croît alors infiniment plus vite que l'attraction d'un centre distant toujours au moins de 695 000 kilomètres, rayon de la sphère solaire. Mais, s'il en est ainsi, entre les régions de l'espace où la particule est attirée par le soleil et celles où elle est repoussée, s'en rencontre une où elle est en équilibre stable. Et de là cette conséquence : il se forme autour du soleil une atmosphère de particules distribuées en couches sphériques concentriques, où les particules trouvent leur équilibre à une distance d'autant plus grande du soleil qu'elles sont plus fines. A une distance du soleil égale à son rayon, soit 695 000 kilomètres, une particule de densité égale à celle de l'eau et de diamètre égal à 6μ serait en équilibre : à 70 000 kilomètres, se développerait la zone, d'équilibre des particules de 10μ ; à 10 000 kilomètres, celle d'un dixième de millimètre de diamètre. Théoriquement ces zones de repos s'étagent depuis la surface du soleil jusqu'à l'infini. Pratiquement, elles ne peuvent exister qu'à une distance de la surface solaire où ne se font plus trop sentir les bouleversements de la surface ; et d'autre part, à une distance un peu grande du soleil, les causes perturbatrices extérieures — celles dont nous avons parlé et celles dont nous aurons à parler dans la suite — rompent trop aisément cet équilibre pour qu'il puisse exister. En effet, on montrerait aisément que la force qui ramène vers sa zone d'équilibre une particule qui en aurait été écartée, est considérable dans le voisinage du soleil, mais excessivement faible à une distance un peu grande, en sorte qu'une influence perturbatrice étrangère, s'exerçant là, aurait nécessairement une action prédominante.

Suivons maintenant dans leur course les particules beaucoup plus petites, de rayon moindre que le rayon critique et qui, à toute distance, sont repoussées par le soleil. Fuiront-elles indéfiniment ?

Il se fera souvent d'abord, que, dans leur fuite, elles iront à la rencontre de la répulsion lumineuse émanée d'autres soleils. Alors leur course se trouvera progressivement ralentie et elles s'arrêteront en quelque région d'équilibre stable, repoussées également dans tous les sens par les soleils qui les entourent. Ces zones d'équilibre deviendront aisément, grâce à l'attraction mutuelle des particules, des zones de condensation : et, retour des choses, dans les noyaux ainsi condensés, la gravitation, qui ne perd jamais ses droits, l'emportant à son tour sur la répulsion lumineuse amoindrie par la fusion des surfaces, ramènera vers quelque soleil plus voisin, pour le soumettre à son empire, l'essaim ramassé des particules fugitives. Nous touchons peut-être ici l'origine de comètes ou d'essaims météoriques.

Mais d'autres circonstances peuvent aussi se rencontrer, qui altèrent profondément les précédentes prévisions. Si l'on suppose que l'ensemble des étoiles est groupé en un système et qu'elles sont réparties suivant un plan plus ou moins régulier, par exemple, en forme de grande lentille galactique, les poussières émises et repoussées par le système d'étoiles suivant une direction normale à la surface enveloppant le système, s'en écarteront indéfiniment et avec une vitesse croissante. Mais, à mesure qu'ils s'éloignent, ces immenses courants de poussières issus de milliers de soleils se concentrent sous l'influence de l'attraction mutuelle de leurs particules, se heurtent, se compénètrent, s'enroulent les uns autour des autres en de gigantesques tourbillons. Telle serait, d'après M. See, l'origine des nébuleuses aux aspects si variés, souvent si invraisemblablement tourmentés. En un stade ultérieur de con-

densation. les nébuleuses engendreraient les étoiles, qui, reprises par la gravitation ramèneraient, concentrée, vers le centre du système dont elle émane, la matière autrefois expulsée, à l'état d'extrême division, par les rayons de la lumière.

On peut chercher à appuyer ces vues à longue portée sur le fait que les régions à nébuleuses et à étoiles en formation sont situées vers les pôles du système galactique, tandis que la voie lactée, zone la plus riche en étoiles, est la plus pauvre en nébuleuses. C'est bien ce que la théorie esquissée ci-dessus semble exiger, si les étoiles sont distribuées suivant une couche galactique d'épaisseur relativement faible. Ces conceptions engageantes semblent encore bien conjecturales. En tout cas, sans aller jusqu'à de si lointaines conséquences, on voit que le mécanisme de la condensation progressive des flux de poussière met de lui-même une limite à la fuite et à l'éparpillement de la matière cosmique et la ramène automatiquement vers les centres d'émission.

Mais, outre l'agglomération spontanée des poussières sous l'influence de la gravitation, il est encore un autre facteur capable d'assigner un terme à la fuite des particules à travers l'espace : c'est l'absorption de la lumière dans le milieu intersidéral. L'existence de l'absorption est actuellement une question ardemment étudiée. Il semble bien que les arguments apportés en confirmation de son existence lui garantissent au moins une probabilité d'aspect négatif : il y a des raisons plausibles de l'admettre, aucune de la rejeter, sinon peut-être celle-ci qu'on s'en est passé jusqu'à présent. D'ailleurs, si l'on admet l'existence des poussières cosmiques dont nous venons de parler, il est bien difficile d'échapper à l'absorption. Ces particules sont, en effet, autant de petits résonnateurs absorbant en partie la radiation lumineuse qui dépense son énergie à les pousser en avant, et qui, par conséquent, s'en trouve affai-

blie plus loin de la source. Il s'ensuit de là que la pression lumineuse décroît plus rapidement que l'inverse du carré de la distance à la source, tandis que l'attraction, indifférente à tous les obstacles, agit imperturbablement en raison de cette même grandeur. La particule errante, en s'écartant du soleil ou du système de soleils, arrivera donc nécessairement à une distance telle que l'attraction γ sera égale à la pression lumineuse amoindrie : elle restera en équilibre. Si le rayon de la particule n'est que légèrement inférieur au rayon critique, elle trouvera sa zone d'équilibre non loin du soleil, en une région où l'action des autres soleils est encore pratiquement insensible. Si, au contraire, le rayon est notablement plus petit que la valeur critique, la zone d'équilibre existera seulement en dehors du groupe d'étoiles auquel appartient le soleil qui l'a émise ou même, nous l'avons indiqué plus haut, en dehors d'un système beaucoup plus vaste, comme le serait, par exemple, le système galactique. Il se formerait donc ainsi jusqu'à une immense distance du soleil ou du groupe stellaire auquel il appartient, une atmosphère en équilibre dont les couches concentriques seraient constituées de poussières d'autant plus éloignées du centre qu'elles sont plus ténues.

Mais cette conception statique du phénomène, en tant qu'elle semble aboutir à un état général d'équilibre, n'est pas rigoureusement réalisée. Nous en avons déjà indiqué une cause : l'attraction mutuelle qui agglomère les particules. Il en est une autre. Les étoiles, centres d'où émanent les forces qui devraient se résoudre en un équilibre, non seulement ne sont pas immobiles, et par conséquent, la résultante de leur action de gravitation n'est pas constante, mais leur éclat, source de la répulsion lumineuse, est lui-même variable. Les expériences récentes exécutées simultanément en Algérie et au Mont Wilson par Abbot,

Fowle et Aldrich, ont établi de façon péremptoire l'existence de variations objectives de près de 10 % dans la radiation solaire ; et quant aux étoiles, le nombre des variables reconnues est immense et ne fait que croître. Or, l'on sait combien sont importantes les variations, certainement objectives dans les étoiles à variations lentes, d'un grand nombre d'entre elles. Or chacune de ces variations se répercute sur la position d'équilibre des poussières tenues en suspension par la pression lumineuse. Chaque fois que l'éclat s'atténue, les particules se rapprochent de l'astre qui les repousse : chaque fois qu'il augmente, elles s'en éloignent. Donc, au double courant général de particules, les unes récemment expulsées qui fuient, les autres, petits noyaux déjà condensés, qui descendent et viennent chercher en un point plus rapproché de l'astre central ou même à sa surface l'équilibre perdu, se superposent un flux et un reflux périodiques, qui traduisent au loin dans l'espace en mouvements matériels, mais avec un retard proportionnel à la distance, toutes les oscillations du pouvoir éclairant de la source lumineuse.

Malgré son extrême petitesse, un à deux microns de diamètre, le grain de poussière équilibré par la pression lumineuse est un édifice énorme par rapport aux molécules qui le constituent au nombre de quelque 60 milliards. Si on diminue les dimensions de la particule en lui enlevant un certain nombre de molécules, l'action dynamique de la lumière gagnera en prépondérance, nous l'avons vu, sur celle de la gravitation ; en sorte que moins la particule compte de molécules, mieux elle donne prise au rayon lumineux. Mais en sera-t-il encore ainsi, si l'agrégat moléculaire diminue au point de ne compter plus que quelques milliers, voire quelques dizaines de molécules ? Non.

D'après les recherches de Schwarzschild, la pression lumineuse unitaire passe par un maximum, lorsque le diamètre de la particule est égal au tiers de la longueur d'onde de la radiation lumineuse qui la porte (1). Pour des dimensions moindres, la pression décroît rapidement et s'annule. Une particule de diamètre $0,174 \mu$, soit le tiers de la longueur d'onde, $0,54 \mu$, de la radiation d'énergie maximum du spectre solaire, renferme encore 7 milliards de molécules. Il y a moyen, on le voit, d'en soustraire quelques-unes, et l'on peut admettre que, sur les agrégats de 100 millions de molécules et moins, la pression lumineuse est pratiquement nulle. Nous savons d'ailleurs, par les belles recherches sur les couches monomoléculaires et leur condensation, que ces groupements peuvent exister et former des édifices moléculaires stables. Nous n'avons aucune raison de ne pas admettre leur présence dans la matière rejetée dans l'espace par les tourbillons solaires : en sorte que parmi les particules solides ou liquides expulsées par le soleil, les plus petites aussi bien que les plus grandes finissent par retomber à sa surface (2).

Mais de nouvelles conditions de mouvement vont intervenir ici. A mesure, en effet, que les agrégats moléculaires se simplifient et tendent à se réduire à la molécule isolée, les conditions de leur existence et les lois de leurs mouvements, les rapprochent de l'état gazeux ; ils n'échappent à la théorie électromagnétique de la lumière que pour passer dans le ressort

(1) Dans une étude plus récente, Nicholson, et après lui Proudman (MONTHLY NOTICES OF THE ROY. ASTR. SOC., t. LXX, p. 544 et t. LXXIII [1913], p. 535) aboutissent à la même conclusion ; seulement le maximum se présenterait pour un diamètre des particules près de une fois plus petit. Ces déductions sont d'ailleurs purement théoriques et ne s'appuient sur aucune expérience.

(2) Il faut pourtant mentionner ici les recherches expérimentales récentes (1910) de Lebedeff, d'après lesquelles la pression de radiation, nulle sur de petits agrégats, reparaitrait dans la molécule isolée. Les gaz seraient, eux aussi, repoussés dans une certaine mesure par le rayonnement.

d'une autre théorie physique : la théorie cinétique des gaz.

Considérée du point de vue de la théorie cinétique, que de récents triomphes ont imposée aux esprits les plus prévenus, une masse gazeuse est formée de molécules, animées en tous sens de rapides mouvements de translation et séparées les unes des autres par des intervalles très grands par rapport aux dimensions propres des molécules. Sans action les unes sur les autres à leur distance moyenne (sauf l'action de la gravitation), ces molécules se repoussent lorsque le hasard de leur course les rapproche, en sorte qu'on peut les regarder alors pratiquement comme des sphères élastiques qui se heurtent. Leurs vitesses, groupées autour d'une valeur moyenne, fonction de la température du gaz, sont réparties de part et d'autre de cette moyenne suivant une loi exponentielle établie, ou plutôt devinée par Maxwell. Enfermées dans une enceinte, les molécules du gaz sont repoussées par les molécules des parois et rebondissent sur celles-ci suivant les lois des chocs élastiques (1). Une masse gazeuse isolée et libre, véritable essaim de molécules, tend à se répandre dans tout l'espace et à s'y diffuser entièrement : mais la gravitation, attraction d'un noyau central plus dense ou attraction mutuelle des particules d'une masse homogène, travaille en sens opposé et réussit à maintenir l'essaim ramassé. Le premier cas se trouve réalisé dans le soleil et les planètes douées d'une atmosphère : le second le serait dans les amas gazeux de certaines nébuleuses sans noyaux de condensation.

Mais, dans l'un et l'autre cas, la théorie cinétique permet de penser qu'un certain nombre de molécules

(1) Nous sommes obligé ici de considérer seulement en gros ces hypothèses. Il est impossible, par exemple, d'entrer dans la délicate question du « glissement aux parois », et dans celle du « choc ».

finiront par s'échapper de la masse gazeuse à laquelle elles appartenaient. Voici dans quelles circonstances se produirait l'émancipation.

Parmi les molécules de gaz que le hasard du mouvement cinétique égare dans les couches extrêmes de l'atmosphère, et dont la vitesse propre est accrue encore de la composante périphérique de la rotation de l'astre, il en peut exister un certain nombre de vitesse suffisamment grande et de direction assez heureuse pour se trouver entraînées par ce mouvement loin de leurs voisines retenues par l'attraction. Elles décrivent alors dans l'espace, soit des orbites elliptiques qui les ramèneront et les replongeront un jour dans l'atmosphère dont elles se sont échappées, soit des orbites hyperboliques, qui les en éloigneront définitivement et en feront de libres citoyennes de l'espace. C'est en appliquant de telles considérations aux nébuleuses qu'Arrhenius veut expliquer la formation spontanée de nébuleuses chaudes à partir de nébuleuses froides et tente d'étayer sa théorie des cycles qui doit assurer à l'univers vieilli le retour périodique de la jeunesse.

Quoi qu'il en soit de ces « extrapolations » hardies et sujettes à caution, n'allons point chercher si loin et étudions plus près de nous et de plus près cette sorte d'évaporation des atmosphères qui peuplerait l'espace de molécules et en ferait un milieu gazeux.

D'abord, la théorie cinétique nous fournit-elle un argument *a priori* certain en faveur de la réalité de cette diffusion lente des atmosphères? Si l'on ne tient compte que des conditions que la théorie cinétique prescrit à l'équilibre d'une atmosphère, il faudrait répondre négativement.

Supposons d'abord la masse gazeuse immobile, sans rotation d'ensemble. La théorie nous apprend que la

masse prend un volume sphérique fini. La vitesse moyenne des molécules décroît du centre à la périphérie, où elle est nulle. Cette conséquence de la théorie, nous pouvons la prévoir, dès que nous admettons que la masse gazeuse ne se diffuse pas indéfiniment. En effet, si la composante normale de la vitesse des molécules à la périphérie n'était pas nulle, les molécules s'élèveraient au-dessus de la surface-limite, ce qui est contradictoire; si la composante tangentielle à la surface n'était pas nulle, il suffirait d'un choc pour la transformer en composante normale et l'on retrouverait le cas déjà exclu. Dans ces conditions, il est évident que la diffusion est impossible.

Si nous supposons ensuite que la masse gazeuse entière est entraînée dans une rotation d'ensemble, la conclusion précédente subsiste; car la vitesse périphérique de rotation ne peut être transformée par choc en vitesse normale, toutes les molécules participant à la même rotation.

A quoi les partisans de la diffusion répondent ou peuvent répondre: d'abord, que la conclusion théorique a été établie en supposant toutes les molécules animées de la même vitesse moyenne, ce qui n'est pas le cas dans la réalité. Les vitesses sont réparties autour de la vitesse moyenne suivant une loi exponentielle. Sans doute, les écarts permis par la loi sont petits; mais la loi ne considère que les écarts de *moyennes* de particules. Le nombre de molécules étant immense, des écarts individuels, même énormes, passeront inaperçus dans les moyennes, et rien n'empêche donc de supposer qu'ils existent. Or, ces exceptions sont suffisantes pour entretenir la diffusion atmosphérique. On dira ensuite que la théorie fait abstraction de diverses conditions physiques: tel serait le rayonnement qui relève irrégulièrement les tempéra-

tures et, par conséquent, les vitesses: les mouvements ou remous de l'atmosphère; le bombardement des couches supérieures par les météorites, les poussières radiantes, les ions. C'est vrai. Mais on ne peut, d'autre part, perdre de vue ceci: si l'atmosphère est isolée dans un vide parfait, une molécule ne peut s'en échapper définitivement que si elle possède, au point où elle la quitte, la vitesse parabolique correspondante. Or, cette vitesse est beaucoup plus grande que la vitesse propre des molécules, même à une température élevée. Si l'atmosphère terrestre, par exemple, a 1000 kilomètres d'épaisseur, la vitesse parabolique à la périphérie est de 11 kilomètres à la seconde. Or, aux températures ordinaires, beaucoup plus élevées pourtant que celles qui règnent dans les couches extrêmes, la vitesse moyenne des molécules gazeuses est seulement de l'ordre du kilomètre. En supposant une atmosphère de 6000 kilomètres, comme la réclament certains astronomes, la vitesse parabolique libératrice à la périphérie devrait encore atteindre 8 kilomètres. Il y a donc là une sérieuse difficulté. On l'écarterait peut-être en supposant la diffusion déjà amorcée, l'espace, non parfaitement vide, mais déjà sillonné de molécules. Il suffirait alors qu'une molécule s'aventurât quelque peu en dehors de l'atmosphère pour être immédiatement accaparée par la foule anonyme des molécules de l'espace et pour se perdre au milieu d'elles. L'espace trouverait d'ailleurs à s'alimenter en molécules à d'autres sources encore. Ce seraient les comètes et les météorites dont la fragmentation met en liberté les gaz occlus (1), ce seraient les poussières expulsées des soleils lumineux par la pression de radiation et entraînant avec elles des molécules isolées qu'elles sème-

(1) Il résulte des analyses de météorites, que ceux-ci renferment environ six fois leur volume en gaz occlus.

raient dans l'espace ; ce seraient enfin les molécules de vapeur émises par tous les corps liquides ou solides existant dans l'espace.

Cette interprétation basée sur la préexistence d'un milieu gazeux a pourtant son revers : si les planètes à atmosphère froide se déplacent au sein d'un espace peuplé de molécules, elles pourraient bien capter plus de molécules qu'elles n'en libèrent et appauvrir sur leur passage, loin de l'enrichir, le milieu qu'elles traversent. Il faudrait même admettre que tout corps céleste refroidi et privé d'atmosphère doit en acquérir une aux dépens du milieu, en attirant et en recueillant les molécules éparses. D'où vient alors, par exemple, que la lune n'ait pas encore réussi à se créer une atmosphère ? On ne possède actuellement, pour trancher ces sortes de questions, que des interprétations plus ou moins probables ou plausibles, tant on est peu renseigné sur les conditions physiques des gaz à la limite des atmosphères planétaires, tant aussi la théorie cinétique, science statistique, perd de sa précision et de sa rigueur quand le nombre d'éléments qu'elle manie par le calcul cesse d'être immense. Dans le cas de la lune on peut faire intervenir, pour répondre à la difficulté, la haute température à laquelle est porté périodiquement chacun des points de la surface lunaire. Il ne faut pas perdre de vue que le jour lunaire vaut quatorze de nos jours, pendant lesquels le soleil darde ses rayons sur un même point du sol, sans que rien, ni nuages, ni atmosphère absorbante, ne vienne atténuer l'intense rayonnement. S'il en est ainsi, les molécules gazeuses de l'espace qui viennent au contact de l'hémisphère éclairé de la lune s'échauffent, c'est-à-dire, en termes de la théorie cinétique, qu'elles acquièrent une vitesse plus grande que celles dont elles étaient animées, et sont rejetées dans l'espace. A la hauteur moyenne des pics lunaires, la vitesse parabolique est de 2 à 3 kilomètres par seconde. Or, à 0° déjà, la

vitesse des molécules d'hydrogène est de 1,7 km. Elle serait exactement de 2,4, km., vitesse parabolique, à la température de 227° centigrades. A cette température aucune molécule d'hydrogène ne pourrait donc être retenue à la surface de la lune. Mais, pour les motifs mentionnés plus haut, il n'est pas même nécessaire d'admettre une température si élevée pour expliquer le rejet des molécules dans le milieu interplanétaire. On peut donc admettre qu'il ne se forme aucune atmosphère sensible en un point de la surface lunaire soumis à l'insolation.

Mais au cours de la nuit lunaire, soit pendant une durée de quatorze jours terrestres, la lune n'accumulerait-elle pas au fond de ses vallées redevenues glacées assez de molécules pour y constituer une couche atmosphérique que l'insolation suivante serait incapable de disperser ? Remarquons d'abord que la densité gazeuse du milieu interastral est très faible (nous verrons plus loin qu'il est au plus de l'ordre de 10^{-16} de la densité normale). Il résulte de là que la formation d'une atmosphère est très lente. Faisant ici une observation semblable à celle qui nous a permis de négliger en première approximation l'attraction de la terre sur les météorites pour ne retenir que l'effet de captation par « balayage », nous pourrions aisément évaluer la quantité de gaz ramassée par unité de surface sur l'hémisphère obscur de la lune (1). Nous trouvons ainsi qu'à la pression atmosphérique, la couche gazeuse formée à la surface de la lune pendant 14 jours de 24 heures serait seulement de trois cent millièmes de micron. Il ne faudra pas de longues heures au soleil pour

(1) En réalité, il faudrait tenir compte du fait suivant : ce n'est guère que le quart de la surface lunaire qui agit efficacement dans la captation. La lune ayant une vitesse sensiblement normale à la ligne lune-soleil, ne présente vers son apex relatif, d'où lui vient le flux des molécules qu'un demi-hémisphère obscur. On peut donc de ce chef regarder l'évaluation donnée comme trop forte.

échauffer à son lever cette pellicule et en disperser les molécules dans l'espace.

A ces considérations *a priori*, bien imprécises encore et bien peu sûres, on pourrait ajouter, en faveur de l'existence d'un milieu gazeux interastral, certaines confirmations tirées des observations. M. Newall a été conduit, par exemple, par ses études spectroscopiques à admettre dans le milieu interplanétaire l'existence de cyanogène en petite quantité. L'absence presque complète d'hydrogène et d'hélium dans les atmosphères planétaires s'explique aisément dans l'hypothèse de la diffusion; car, pour ces gaz très légers, la vitesse libératrice est atteinte à une moindre température et, de plus, l'effet de la pesanteur les porte à la surface externe de l'atmosphère (1). On peut invoquer aussi une recherche intéressante de M. Courvoisier, tendant à établir que les rayons lumineux qui nous arrivent des étoiles et qui passent dans le voisinage du soleil y seraient incurvés. En étudiant la variation des latitudes, M. Courvoisier mit en évidence un terme périodique indépendant de la latitude de la station d'observation, et fit la remarque qu'il pourrait s'expliquer si l'on admettait dans le milieu interplanétaire une densité d'éther, ou, ce qui reviendrait au même, une densité gazeuse, croissante dans les environs du soleil. L'étude des positions de Vénus de 1858 à 1909, confirma l'existence de cette « réfraction ». M. Ross reprit récemment avec plus de soin la discussion des données et fut conduit à la même conclusion, mais avec une valeur légèrement plus forte de la réfraction. Or, cette augmentation du pouvoir réfringent de l'espace

(1) M. Gouy a montré récemment combien est lente l'action de la pesanteur pour stratifier dans les hautes couches de l'atmosphère les gaz de densités différentes. Mais n'oublions pas que dans l'interprétation que nous reproduisons ici, cette action s'exerce, depuis que la terre existe.

dans le voisinage du soleil a son interprétation toute trouvée dans l'hypothèse de la diffusion. Le soleil serait alors, en effet, une source puissante de molécules alimentant le milieu planétaire. La prochaine éclipse totale de soleil, en août 1914, permettra peut-être une vérification directe de cette hypothèse. Il se produira en effet, pendant la phase de totalité, une occultation d'étoile ou plutôt une réapparition d'étoile que le disque opaque de la lune démasquera pendant qu'il maintient encore caché le disque du soleil. Les rayons émanés de l'étoile en frôlant le disque lumineux auront donc passé dans le voisinage très immédiat du disque solaire éclipsé. Si la réfraction circumsolaire de M. Courvoisier existe, les rayons auront été déviés près du soleil et la réapparition de l'étoile occultée ne se fera que trois ou quatre secondes après l'instant de l'apparition théorique (1).

Bref, jusqu'à preuve du contraire, il y a lieu de penser que l'espace interastral est un milieu gazeux. Cette preuve du contraire existerait-elle ? Il est deux faits où l'on serait tenté de la voir : les corps célestes, dans leurs déplacements, ne paraissent pas avoir à triompher de la résistance d'un milieu ; les rayons de la lumière ne semblent pas affaiblis, malgré les immenses parcours qu'ils effectuent dans un milieu gazeux naturellement absorbant. Il est aisé d'esquiver la difficulté. En conjecturant l'existence d'un milieu gazeux, on ne s'est pas interdit de supposer sa densité assez faible pour que ses effets perturbateurs soient ramenés à des grandeurs inférieures aux erreurs d'observation, et par conséquent soustraites, par définition, au contrôle expérimental. Mais par le fait aussi, et c'est ce qui

(1) Ce retard serait accentué et porté à 14 ou 15 secondes si la gravitation produisait sur la propagation de la lumière l'effet que prévoit la théorie de la relativité d'Einstein. Nous n'avons pas à nous attarder à ce point de vue relativiste, que nous avons d'ailleurs délibérément exclu de cet article.

nous intéresse, on est amené ainsi à fixer une limite supérieure à la densité du milieu gazeux interastral.

Hirn avait déjà calculé qu'un milieu de densité égale à $1,4 \cdot 10^{-12}$ ferait varier la durée de l'année de 3 100 de seconde par an. Il faudrait un intervalle de temps déjà notable pour mettre cette variation en évidence par comparaison avec d'autres durées astronomiques.

Or, cette valeur de la densité est encore trop élevée, comme nous allons le voir. En effet, des deux actions perturbatrices signalées, résistance mécanique du milieu et absorption de la lumière, la seconde nous fournit la limite supérieure la plus petite et par conséquent la plus serrée. C'est donc celle qui mérite d'être précisée.

Si elle existe, l'absorption du milieu est très faible et absolument inappréciable sur des distances de l'ordre des dimensions du système solaire. En effet, que la planète Neptune soit à sa plus grande distance de la terre ou à sa plus petite distance, la variation d'éclat observée n'est pas différente de celle qui résulte, d'après la loi géométrique connue, de la différence de ces distances. La question de l'absorption ne se pose donc que pour les distances stellaires, celles qui séparent les étoiles et les systèmes d'étoiles.

Mais alors il semble bien que la question soit insoluble. En effet, comment prouver l'existence de l'absorption, sinon par la comparaison de l'éclat d'un même astre à deux distances différentes du lieu d'observation? Or, les variations de distance que peut éprouver l'astre par rapport à nous sont seulement de l'ordre des dimensions du système stellaire auquel il appartient et dans lequel il se meut; et nous venons de dire que ces variations sont probablement insuffisantes pour entraîner une variation d'éclat appréciable et mettre en évidence l'absorption. Impossible aussi de compter sur le mouvement propre d'une étoile pour la

rapprocher ou l'éloigner suffisamment de nous. Ce mouvement est trop lent; car si, au bout d'une période forcément longue, on constate une variation d'éclat, il sera toujours loisible d'attribuer cette variation à une modification de l'éclat intrinsèque de l'étoile. La question semble sans issue. Il en est une pourtant, encore qu'assez étroite, du côté de la statistique stellaire. Si, à mesure que l'on considère des astres plus lointains, le nombre de ceux qui restent visibles est inférieur à ce qu'il serait en vertu du seul éloignement, ce serait, en faveur de l'absorption, une présomption sérieuse. Et si l'éclat unitaire apparent de celles des nébuleuses qu'on a des raisons d'admettre comme plus lointaines que les autres était, règle générale, plus faible que l'éclat des nébuleuses plus voisines, ce serait une confirmation (1). D'ailleurs on peut surprendre l'absorption, non seulement dans ses effets intensifs, mais aussi dans ses effets sélectifs. Or, on a constaté que parmi les étoiles du même type spectral, les plus lointaines ont un spectre moins étendu du côté des radiations plus absorbables que celles qui sont plus proches (2). Autre confirmation du même fait, et susceptible de la même interprétation : les étoiles rouges sont relativement plus nombreuses parmi les étoiles de faible grandeur que parmi les autres. Malgré ces indices divers, et d'autres encore, l'accord n'est pas fait parmi les astronomes au sujet de l'absorption. Il n'entre pas dans le cadre de cette étude de discuter cette question délicate et encore moins de la trancher. Mais de cette incertitude même résulte, et ceci nous intéresse, que l'absorption, si elle existe, est excessivement petite, et qu'il faut la considérer comme presque négligeable. On peut donc

(1) BROWN F. G. MONTHLY NOTICES OF THE ROYAL ASTRONOMICAL SOCIETY, vol. XXII (1912), p. 195 et p. 718.

VERY W. ASTRONOMISCHE NACHRICHTEN, n° 4536.

(2) ASTROPHYSICAL JOURNAL, vol. XXVI.

partir de là pour tenter une évaluation de la densité maximum du milieu interastral.

M. Fournier d'Albe a calculé quelle serait cette densité, si l'on admettait que l'absorption sur certaines distances qu'il s'est choisies, est égale à celle de notre atmosphère. Il prend d'abord pour distance 8000 millions de kilomètres et trouve une densité égale à la cent millionième partie de la densité de l'air à la surface de la terre dans les conditions ordinaires de température et de pression. En partant de cette évaluation, on peut estimer approximativement à 2 milliardièmes de la densité normale un état gazeux tel que l'absorption depuis le centre du système solaire jusqu'à l'orbite de Neptune soit égale à l'absorption moyenne de l'atmosphère terrestre. Cet état gazeux est encore pour les laboratoires un idéal de « vide » qu'aucun appareil exhausteur n'a la prétention ni l'espoir de réaliser. Pourtant à ce degré de raréfaction et à la température de 0° centigrade, le gaz contient encore par centimètre cube 60 milliards de molécules (1) !

Calculons ensuite le nombre de molécules par centimètre cube en supposant le gaz absorbant répandu dans une sphère ayant pour rayon notre distance à l'étoile la plus proche (3,5 années de lumière) ; nous trouvons encore 8 000 000 molécules par cm^3 . Enfin, si nous supposons l'absorption égale à celle de l'atmosphère sur une longueur égale au rayon de la voie lactée (5000 années de lumière), nous trouverons encore par centimètre cube 5700 molécules.

Ce nombre représente donc une limite supérieure de la population unitaire dans les milieux intersidéraux.

(1) Cette valeur et celles qui vont suivre s'écartent un peu de celles qu'a données M. Fournier d'Albe (SCIENTIA, juillet, 1913). Pour le calcul nous nous sommes servi des données numériques contenues dans le *Recueil des Constantes physiques* (1913), publié par la Société française de Physique.

On pourrait en rabattre beaucoup, sans arriver au vide idéal, au néant parfait. Il importe d'ailleurs de se rappeler que ces évaluations ne représentent que des possibilités. Mais si les raisons théoriques que nous avons exposées en faveur de l'existence d'un milieu gazeux interastral, si la confirmation qu'on en peut trouver dans l'absorption probable du milieu n'emportent pas la conviction, du moins les astronomes ont-ils le droit de s'appuyer sur la présence de ce milieu pour interpréter hypothétiquement certains faits astronomiques ou étayer sur elle certaines théories. Signalons comme intéressante dans cet ordre d'idées l'étude de M. Pickering sur l'accumulation des aphélie cométaires (1). Si le soleil avec son cortège de planètes et de comètes périodiques se déplace à travers un milieu résistant, l'action de ce milieu sur les plus légères de ces masses satellites, les comètes, se manifestera par une accumulation de leurs aphélie sur la trajectoire du soleil, dans le sens opposé à son déplacement, c'est-à-dire vers l'antiapex. La statistique confirme assez bien ces vues ; seulement l'accumulation se constate à une petite distance de l'antiapex. M. Pickering verrait une explication de cet écart dans la supposition que la translation du soleil n'est pas rectiligne. Le point d'accumulation des aphélie serait le vestige de l'ancien antiapex ; la courbure de la trajectoire solaire serait ainsi inscrite dans le ciel (2).

On peut rappeler à cet endroit les spéculations de M. See sur l'origine des planètes. Il demande à l'action d'un milieu résistant d'arrondir les orbites planétaires qui, sans cela, auraient, d'après sa théorie, les valeurs les plus variées.

(1) MONTHLY NOTICES OF THE ROYAL ASTRONOMICAL SOCIETY, vol. LXXII (1912), p. 270.

(2) Il serait intéressant de rechercher si les radiants d'étoiles filantes ne présentent pas un groupement analogue.

Nous ne ferons que mentionner en bloc les innombrables tentatives qui ont été faites, certaines déjà au XVIII^e siècle, pour expliquer par une résistance de milieu les irrégularités de la lune, de Mercure et de plusieurs comètes périodiques.

Les radiations nouvelles dont la découverte a révolutionné si profondément la physique moderne, en ressuscitant à leur profit la théorie ancienne de l'émission, ont attiré l'attention des astronomes sur les transports de masses matérielles et de charges électriques qu'elles peuvent établir entre les corps célestes. Rayons α , rayons β , émis dans le processus de désagrégation spontanée des éléments radioactifs ou créés par les champs ionisants, sont formés de particules matérielles emportant des charges électriques ou bien même ne sont que des charges électriques isolées, sans support matériel. Malgré leur vitesse d'émission énorme, voisine parfois de celle de la lumière, 300 000 kilomètres à la seconde, l'énergie de ces particules a tôt fait de se dissiper dans les gaz à la densité ordinaire, par suite des millions de chocs par seconde qui se produisent entre elles et les molécules du gaz. Après avoir franchi quelques centimètres, elles s'arrêtent épuisées et inertes. Mais si le gaz est très raréfié, comme il l'est certainement dans l'espace interstellaire, les particules électrisées expulsées d'une atmosphère astrale radioactive ou ionisée, pourront parcourir des distances beaucoup plus considérables entre les molécules plus disséminées sans en rencontrer aucune et, après un nombre très restreint de chocs, parvenir dans l'atmosphère d'un autre corps céleste, y déverser à la fois leur charge électrique, leur masse et leur énergie cinétique.

Ces rapides et minuscules messagers qui sillonnent l'espace sont les derniers constituants du milieu inter-

astral. Ils méritent à ce titre une place, la dernière, dans cet article.

La seule confirmation expérimentale solide des communications électroniques entre le soleil et la terre réside, croyons-nous, dans la belle théorie des aurores boréales, amorcée par Paulsen en 1894, développée récemment par Störmer et Birkeland. Le mystérieux phénomène a fait de la part de ces savants l'objet d'une étude profonde, et il serait désormais certain que l'aurore est provoquée par l'arrivée dans notre atmosphère de nuages d'électrons expulsés du soleil lors des cataclysmes qui se révèlent, aux périodes d'activité de l'astre, par la présence des taches. Il y a en effet entre le passage des taches au méridien central du soleil et l'apparition des aurores une connection évidente et, le décalage nécessaire étant mis en ligne de compte, une coïncidence remarquable. Pas parfaite pourtant ; il y a des exceptions. Mais Arrhenius en a très ingénieusement tiré parti pour tenter une détermination de la densité du milieu gazeux interplanétaire. Si les électrons émis par le soleil n'atteignent pas toujours notre atmosphère, c'est, suppose Arrhenius, que dans les conditions normales, la densité du milieu interplanétaire a précisément la valeur limite qui permet encore la transmission. Dans ces conditions en effet, il suffit qu'entre le soleil et la terre s'interpose accidentellement, soit une nuée météorique, soit une région gazeuse un peu plus dense, pour que le flux ionique, quoique n'ayant perdu, dans la rencontre avec les éléments anormaux du milieu, qu'une partie minime de son énergie, ne parvienne plus jusque dans l'atmosphère terrestre. Arrhenius conclut de là que la densité du milieu interplanétaire a pour valeur 10^{-16} de la densité normale de l'air à la surface de la terre. La concentration en molécules dans l'espace serait, ainsi de 3000 au centimètre cube, et la distance moyenne

des molécules de 0,7 millimètre. Malgré cela, les dimensions propres des molécules sont encore si petites par rapport à leurs distances mutuelles qu'un électron trouve devant lui un parcours libre moyen de un million de kilomètres avant de rencontrer un molécule. Il pourra donc, en moyenne, franchir les 150 millions de kilomètres qui nous séparent du soleil au prix de 150 collisions avec les molécules gazeuses. Or, si l'on tient compte de ceci que l'électron possède une énergie ionisante telle, qu'il peut moyennement bousculer et rompre sur son passage 12 000 molécules avant de s'arrêter épuisé, on voit qu'en abordant notre atmosphère il se présentera encore très dispos et tout prêt à jouer son rôle en faisant jaillir sur son passage et en déployant les arcs et les draperies lumineuses de l'aurore boréale.

La présence des électrons dans l'espace interplanétaire, encore confirmée par la luminescence des gaz de la couronne solaire qu'ils ioniseraient et par la faible luminescence gazeuse de la lumière zodiacale, semble actuellement généralement admise.

Nous n'avons parlé jusqu'à présent que des électrons ou ions négatifs. Les ions positifs ont une masse beaucoup plus grande, mais par contre une vitesse d'émission beaucoup moindre. Aussi, ceux qu'émet le soleil voient leur énergie épuisée bien avant qu'ils n'aient pu atteindre la terre. Ils retombent sur le soleil ou se combinent dans l'espace avec des ions négatifs, y demeurant à l'état de molécules neutres isolées.

La présence des ions dans le milieu interplanétaire est, moins encore que la présence du milieu gazeux, un obstacle ou une gêne aux mouvements des corps célestes. Les ions positifs ont une masse de l'ordre de celle de la molécule ; mais, comme nous l'avons dit, ils ne peuvent s'aventurer fort loin du soleil. Les élec-

trons, qui parviennent à de plus grandes distances, ont une masse ou un équivalent de masse 3600 fois plus petite que celle de la molécule d'hydrogène, 58 000 fois plus petite que celle de la molécule d'oxygène.

Dans l'électron, nous avons atteint la plus extrême division de la matière : et depuis ce fragment d'atome jusqu'aux masses énormes de certains météorites, nous avons vu représentée dans l'espace interastral toute l'échelle des grandeurs.

De l'électron, en effet, élément des courants ioniques, nous passons à la molécule, élément constitutif du milieu gazeux. Puis, franchissant la lacune intéressante qui sépare la molécule de la plus petite des particules équilibrées par la radiation, nous remontons d'une manière continue la série des dimensions, atteignant d'abord les plus grosses des particules équilibrées, où nous nous rattachons déjà aux poussières météoriques, pour arriver enfin, par un nouvel accroissement continu de masses, jusqu'aux aéroolithes géants, et, par eux, jusqu'aux comètes elles-mêmes.

Au point de vue où nous nous sommes placés en écrivant cet article, les éléments divers qui, dans la conception astrophysique moderne, remplissent le « vide » où circulent les astres, font donc de l'espace interastral un milieu à réaction dynamique. Par les énergies immatérielles qu'il propage, aussi bien que par la matière pondérable qu'il tient en suspension, le milieu interastral devrait donc influencer sur le mouvement des corps célestes pour les écarter de la trajectoire que leur assigne la mécanique newtonienne, explicitée dans les lois de Képler. Ces lois ne seraient donc pas l'expression rigoureuse de la vérité objective et n'en seraient qu'une approximation plus ou moins

provisoire (1). En particulier, les grandioses solutions périodiques, où se complaît la Mécanique céleste et en vertu desquelles les systèmes sidéraux semblaient devoir échapper seuls à la loi fatale qui dégrade toute énergie, seraient finalement illusoires. Le mouvement des cieux lui-même s'userait et s'achèverait un jour dans le repos. La philosophie grecque l'avait cru pourtant impérissable, comme ce qui est naturel; les premiers âges chrétiens y avaient deviné le vol jamais lassé d'esprits divins; la pensée de Descartes y lisait l'indestructibilité essentielle du mouvement; la mécanique de Newton y suivait avec complaisance les conséquences de la loi primordiale et peut-être unique de la matière. Mais les théories astrophysiques modernes, riches de l'apport des autres sciences, n'y reconnaissent plus qu'une vie qui s'alanguit et que la mort attend.

En signalant les influences qui peuvent hâter l'engourdissement des cieux, ces pages ont dû montrer aussi avec quelle infinie lenteur l'univers est poussé vers le terme fatal.

F. WILLAERT, S. J.

(1) Nous négligeons ici et nous avons négligé dans tout le cours de cet article, le point de vue de la néomécanique, aux yeux de laquelle la mécanique classique n'est qu'une mécanique limite, jamais rigoureusement réalisée. Aussi bien les idées et les théories « relativistes » subissent en ce moment une crise dont il convient d'attendre l'issue.

LA FIÈVRE TYPHOÏDE

ET

LA VACCINATION ANTITYPHOÏDIQUE ⁽¹⁾

L'extension rapide de la pratique de la vaccination antityphoïdique chez les peuples civilisés; le vote récent, par le Sénat français, d'une loi rendant cette mesure préventive obligatoire dans l'armée; le nombre sans cesse croissant des personnes de toutes conditions qui s'y soumettent spontanément, au bénéfice de leur santé et de la santé publique, assurent au sujet de cette causerie, en dépit de son aridité, un intérêt d'actualité et une importance pratique que vous ne manquerez pas d'apprécier.

Vous n'ignorez pas que la fièvre typhoïde est une maladie redoutable et par sa morbidité — elle multiplie les coups — et par sa mortalité, elle tue souvent ceux qu'elle atteint. Chaque année, en France, on lui impute plus de 30 000 cas et environ 4000 décès.

Si elle est aujourd'hui moins fréquente et moins meurtrière qu'elle ne l'était il y a vingt ans, nous le devons certes aux progrès de la thérapeutique, qui en ont diminué la gravité, mais surtout aux efforts de la prophylaxie et aux bienfaits de l'hygiène, qui ont gran-

(1) Conférence faite à l'Assemblée générale de la Société scientifique, le 22 avril 1914.

dement contribué à restreindre sa fréquence et à enrayer sa marche envahissante. C'est ainsi que, dans l'armée belge, pendant une période de quatre ans, de 1886 à 1890, on enregistra 330 cas de typhus; vingt ans plus tard, pendant une période de même durée, de 1906 à 1910, on en relevait 37 seulement, soit dix fois moins environ.

C'est aux distributions d'eau en grande partie que sont dus ces heureux résultats. L'expérience a montré, en effet, que les épidémies de typhus rétrocedent rapidement dans les villes et les villages pourvus de bonne eau potable. Ce sera l'honneur du gouvernement belge, poussé dans cette voie par son éminent ministre, M. Berlyer, d'avoir été le premier à créer une Société nationale pour la distribution d'eau, avec la mission de doter toutes les communes belges, même les plus pauvres, de cet inestimable bienfait.

C'est de la vaccination antityphoïdique que je voudrais surtout vous entretenir; mais avant d'aborder ce sujet, je dois vous dire un mot de l'ennemi à combattre, le bacille typhique, et de la maladie qu'il provoque, la fièvre typhoïde.

I

Le bacille typhique fut découvert et identifié par deux savants allemands, Eberth et Gaffky; de là le nom qu'on lui donne, de bacille d'Eberth-Gaffky.

C'est un microbe allongé en forme de bâtonnet; il se développe bien dans les milieux usuels de culture, surtout dans la bile. Il est d'ordinaire très mobile; il se déplace, dans le champ du microscope, à la façon du poisson dans l'eau; ces mouvements sont dus à des prolongements protoplasmiques, appelés cils vibra-

tiles, qui battent le liquide où il est plongé, en le projetant en avant.

Le bacille d'Eberth est un germe peu résistant; les cultures typhiques, exposées au soleil, sont stérilisées en 4 à 8 heures: les rayons ultra-violets épurent, en quelques minutes, une eau typhique. Une température de 68°, le tue en 10 à 20 minutes. Les antiseptiques, même très dilués, en ont très rapidement raison: nous l'avons vu succomber, en 5 à 10 minutes, dans des solutions de crésol savonneux à 1 %. On dit aussi que le vin, surtout le vin blanc, lui est mortel: de là le rôle important du vin blanc chez le consommateur d'huîtres, exposé parfois à la contagion.

Mais dans l'eau et dans le sol, le bacille typhique conserve assez longtemps sa vitalité, et c'est là une des raisons qui le rendent particulièrement dangereux.

Nous ne connaissons pas encore, d'une façon précise, les conditions qui rendent l'homme accessible à l'envahissement du bacille typhique; mais nous savons que les animaux s'y montrent réfractaires: il n'existe aucun cas, scientifiquement démontré, de fièvre typhoïde *spontanée* chez les animaux. Tout ce que l'on peut signaler, dans cet ordre d'idées, se réduit à des expériences récentes de Metchnikoff et Besredka sur les chimpanzés: ces singes contracteraient, d'après ces auteurs, des affections d'allure typhique quand on leur fait ingurgiter des microbes virulents.

Une des propriétés les plus intéressantes des bacilles typhiques — propriété qu'ils partagent d'ailleurs avec d'autres germes — fut découverte, en 1896, à la fois par Widal, en France, et Grüber, en Allemagne, d'où le nom de « réaction Widal-Grüber » qu'on lui donne. Voici en quoi elle consiste: les bacilles de la fièvre typhoïde, parfaitement isolés dans un bain de culture, se collent, s'agglutinent ensemble, lorsque, à ce bouillon, on ajoute du sérum d'animaux immunisés

contre le bacille typhique ou, simplement, du sérum provenant de personnes atteintes de typhus. Cette dernière réaction est capitale : elle a permis d'instituer une contre-épreuve de la fièvre typhoïde que les médecins réclament souvent des services d'analyse bactériologique, en vue de confirmer ou d'infirmer leur diagnostic au lit des malades. Cette méthode se réduit essentiellement à ceci : à une émulsion de bacilles, on incorpore une trace du sang suspect ; si ce sang provient d'un malade atteint de typhus, on voit les microbes frappés peu à peu d'immobilité tandis qu'ils se réunissent jusqu'à former des groupes serrés. Bientôt on n'aperçoit plus, dans le champ du microscope, que de rares bacilles isolés, immobiles ou peu s'en faut ; le reste forme des amas compacts. Cette réaction est parfois si intense, que le sérum du malade dilué à 1 ‰, et même plus encore (1), suffit à la provoquer. C'est vers le huitième jour de la maladie qu'elle apparaît, et il est rare qu'elle fasse défaut.

On considère aujourd'hui la fièvre typhoïde comme une septicémie, c'est-à-dire comme une maladie microbienne dont l'agent spécifique envahit l'organisme tout entier. Avant l'ère pasteurienne on en faisait une affection de l'intestin : c'est dans cet organe, en effet, que le microbe se localise surtout.

Le mal qu'il produit n'éclate pas en coup de foudre ; le plus souvent il traîne assez longtemps avant de se déclarer nettement. Cette période d'incubation peut se prolonger pendant deux et même trois semaines, en s'accompagnant de signes prémonitoires très insidieux : le malade accuse de la lassitude, de l'inappétence, de l'inaptitude au travail, de légers maux de tête, de

(1) Dernièrement encore nous avons examiné le sérum d'un typhique, pourtant peu atteint, qui dilué à 1 : 12 000 donnait une agglutination intense.

petits frissons et assez souvent aussi des saignements de nez.

Après cette période de début, se déclarent les symptômes caractéristiques : le mal de tête s'exaspère au point d'enlever tout repos au malade ; l'abattement devient de la prostration et parfois même de l'hébétude. Tout cela donne au patient un facies particulier que les médecins appellent l'« aspect typhique », et qui ne trompe pas un œil exercé. Cette description clinique est une description type de laquelle s'écartent bien des cas de typhus.

Il est d'autres signes révélateurs qui rentrent davantage dans le domaine médical ; nous n'avons pas à en parler ici, non plus que de la thérapeutique de la fièvre typhoïde ; qu'il nous suffise de rappeler qu'elle est une des maladies entraînant avec elle les complications les plus graves et les plus variées : complications nerveuses, pulmonaires (pneumonie, pleurésie) ; complications intestinales (perforation de l'intestin, hémorragies) ; complications dans le système circulatoire (affection du cœur et des vaisseaux), etc. Chose digne de remarque, il n'est pas rare de voir se produire les mêmes complications au cours d'une même épidémie. Ainsi, pour n'en citer qu'un exemple, au cours de la dernière épidémie de typhus qui sévit à Ciney, dans la province de Namur, ce furent les hémorragies intestinales qui furent surtout fréquentes et particulièrement meurtrières.

On a préconisé certaines médications spécifiques pour guérir cette affection. On connaît le sérum de Chantemesse et les vaccins (Vincent, Chantemesse, etc.). Cette méthode de traitement n'a pas dit son dernier mot et il est bien difficile de donner une appréciation adéquate à son sujet.

On conçoit que la *durée* d'une affection aussi complexe soit des plus variables : si, dans les cas normaux, le mal évolue en trois à quatre semaines ; dans les cas compliqués, il peut se prolonger pendant plusieurs mois.

Sa *gravité* oscille aussi entre de larges limites. En général, le typhus contracté dans la quarantaine et au delà, est très grave ; chez les enfants, au contraire, il se montre bénin. Les statistiques le révèlent plus grave chez la femme que chez l'homme, et plus grave aussi — pour des raisons faciles à comprendre — dans les ménages pauvres que dans les familles aisées.

Toutes les épidémies de typhus ne sont pas également redoutables, non plus que tous les cas observés au cours d'une même épidémie ne sont également graves. J'ai suivi l'an dernier l'évolution de deux petites épidémies rurales, à Mazy et à Warêt-la-Chaussée : elles comptèrent chacune une quinzaine de cas, et la mortalité atteignit 50 %. Au contraire, à Ciney, en 1912, on n'enregistra pas moins de 400 cas et on n'eut à déplorer qu'une vingtaine de décès, ce qui fixe la mortalité à 5 % seulement.

Il arrive aussi qu'un cas en apparence bénin et évoluant normalement, se transforme, en un temps très court, en un cas compliqué très grave. J'ai dans mes souvenirs l'histoire d'un homme, occupant une haute situation, qui s'était senti indisposé en rentrant chez lui d'un voyage d'affaires. Le mal parut suspect, mais les symptômes typhiques étaient tellement légers que le médecin traitant hésitait à se prononcer. Je pris du sang du malade, et quelques heures plus tard je pouvais télégraphier à mon confrère qu'il s'agissait bien de fièvre typhoïde. Le lendemain matin j'étais informé que, peu de temps après mon départ, une hémorragie intestinale s'était déclarée qui avait emporté le malade pendant la nuit.

Le typhus est donc une maladie grave. Il importe de savoir comment on le contracte, et surtout comment on l'évite.

On contracte la fièvre typhoïde en avalant le germe qui la produit. Le microbe pénètre de la bouche dans l'estomac et, s'il n'est pas atteint par les sucs digestifs, il passe de là dans l'intestin où il se met à pulluler si le sujet est réceptif.

On peut porter directement le microbe à la bouche, quand les mains en sont souillées ; on l'y introduit indirectement en ingérant des aliments qui le contiennent : tels sont l'eau polluée par le bacille typhique, les huîtres qui ont séjourné en un pareil milieu, les légumes crus qui y ont été lavés, etc.

Mais le véritable propagateur du typhus, c'est le malade qui en est atteint, et cela non seulement au cours de sa maladie, mais après son retour à la santé. Il peut, en effet, en dépit des apparences, continuer à abriter dans son organisme et à rejeter au dehors les germes du mal dont il a souffert : il devient ainsi un foyer de contagion.

Parmi les moyens propres à prévenir la fièvre typhoïde et à enrayer sa propagation, figureront tout d'abord des mesures d'hygiène sociale et individuelle d'une importance capitale : je me bornerai à énumérer les principales.

Je l'ai dit déjà, parmi les mesures générales qui ont le plus contribué à prévenir les épidémies de typhus, il faut signaler les *distributions d'eau potable*. Il faut y joindre les travaux effectués en vue de l'*évacuation rapide* des eaux usées : construction d'égouts, amélioration de la voirie, etc ; la création, dans les hôpitaux, de *parillons pour infectieux*, qui permettent d'isoler, dans les meilleures conditions, les malades contagieux des grandes villes : l'*assainissement des quartiers*

populeux et l'*instruction du peuple* qui se montre de plus en plus accessible aux conseils qui lui sont donnés en vue de sauvegarder sa santé.

A ces mesures générales, viennent s'en ajouter d'autres, plus spéciales, et dont l'application s'impose dès qu'un cas de fièvre typhoïde éclate au sein d'une famille : deux mots les résument : *isolement* et *désinfection*.

Isoler le malade, consiste ici à le faire soigner par un garde-malade expérimenté, dans une chambre éloignée des appartements de la maison les plus fréquentés, en interdisant toute visite inutile. C'est le garde-malade lui-même qui devra assurer la désinfection des produits infectieux rejetés par le patient, et des linges qui ont pu en être souillés.

Après la guérison, le malade devra prendre un grand bain savonneux, et on procédera à la désinfection soignée de l'appartement où il a séjourné, afin de stériliser les germes qui auraient échappé aux mesures prises au cours de la maladie.

Cette prophylaxie, sévèrement observée, produit les résultats les plus heureux. Me basant sur mes observations personnelles, je crois pouvoir affirmer que, de toutes les maladies infectieuses, la fièvre typhoïde est celle dont on peut le plus sûrement empêcher l'extension. C'est pour y parvenir, qu'un grand nombre de communes de la province de Namur possèdent des caisses de secours contenant les ustensiles et les produits nécessaires à la désinfection au cours de la maladie, et nomment des agents communaux qu'elles font initier à la pratique de ce service. De plus, la province dispose de quinze *équipes de désinfection*, disséminées sur son territoire, et dont le soin principal est d'initier les agents communaux à la pratique de la désinfection en cours de maladie et de procéder à la désinfection des appartements où le malade a séjourné. Dès que le

diagnostic du typhus est posé dans une commune, l'Institut bactériologique provincial se met en rapport avec le médecin traitant afin d'assurer l'application de ces mesures prophylactiques, et des infirmiers expérimentés sont mis à sa disposition. Si le personnel de l'infirmierie officielle ne suffit pas à la tâche, nous recourons à la collaboration dévouée de la monitrice sanitaire du Gouvernement et de celle des sœurs de charité de Namur. Après la maladie, le service provincial se charge de la désinfection terminale. Grâce à cette organisation, des épidémies de typhus qui menaçaient, l'an dernier, de s'étendre rapidement, ont pu être étouffées dans leur germe à Warêt-la-Chaussée, à Mazy, à Vonèche et à Verlée.

Mais toutes ces ressources de la prophylaxie ne sont pas les seules armes que nous possédions aujourd'hui contre l'invasion typhique. Les conquêtes de la bactériologie nous en fournissent une autre, qui nous permet, non seulement de lutter contre l'*extension* du fléau au sein d'une famille dont un membre est atteint, mais de *prévenir le mal*, de protéger l'individu lui-même contre toute atteinte : c'est la *vaccination antityphoïdique*.

II

On assure cette protection contre la fièvre typhoïde en inoculant, à l'organisme, des germes de la maladie *tués* ou *atténués*, qui lui confèrent des propriétés immunisantes spécifiques, et en font ainsi un terrain impropre, pendant un temps plus ou moins long, au développement de ces mêmes germes vivants et virulents.

De toutes les maladies infectieuses il n'en est aucune dont l'arsenal des vaccins soit plus abondamment pourvu que celui de la fièvre typhoïde : on n'en compte pas

moins d'une vingtaine : chaque grand pays a le sien. C'est que la préparation de ces vaccins peut subir des modalités très variées. Tantôt ils sont constitués de bacilles tués par des procédés divers ; tantôt ce sont leurs produits solubles que l'on utilise ; tantôt enfin on s'adresse aux bacilles vivants affaiblis par l'action de la chaleur ou l'intervention d'une opération sensibilisatrice. Citons à titre d'exemple le vaccin de Chantemesse, qui est un vaccin bacillaire tué par la chaleur ; le vaccin de Vincent, où le bacille est stérilisé par l'éther, et celui de Besredka, formé par une émulsion de bacilles typhiques vivants, affaiblie par son mélange avec un sérum antityphique, mélange qui produit la sensibilisation.

Sans entrer dans de longs détails historiques sur la découverte et les premières applications de la vaccination antityphoïdique, il convient de rappeler ici qu'elle eut pour point de départ les recherches de Chantemesse et de Widal, en France. Dès 1888 et jusqu'en 1892, les travaux de ces savants montraient qu'il était possible de procurer aux animaux l'immunité active contre le bacille typhique, en leur injectant des cultures de ce même microbe, stérilisées par la chaleur poussée à 100 degrés et au delà. On reprocha à ces produits surchauffés leur peu de valeur vaccinnante, mais on ne tarda à y remédier.

C'est à Wright, en Angleterre, que revient le mérite d'avoir appliqué avec succès cette vaccination à l'homme, tandis que Pfeiffer et Kolle, en Allemagne, ont beaucoup contribué à perfectionner et à répandre cette pratique en pays germaniques.

A ces noms, il faut ajouter celui du professeur Vincent du Val-de-Grâce, à Paris, qui s'est fait l'apôtre de cette vaccination : c'est grâce aux efforts incessants de ce savant que cette méthode doit, en France surtout, sa rapide extension : « depuis deux ans et demi, écri-

vait récemment le professeur Vincent, mon laboratoire a fourni du typho-vaccin pour 600 000 personnes, non seulement à l'armée française, mais encore à la population civile de France et d'un grand nombre de pays. » Le vaccin de Vincent est celui qui a été jusqu'ici le plus employé en Belgique. Grâce à l'intelligente initiative de M. le Directeur-général Velghe, le service de santé le met gratuitement à la disposition de nos médecins, de même qu'il assure, pour la classe nécessiteuse, la délivrance gratuite du sérum antidiphthérique.

Le vaccin antityphoïde préparé au laboratoire du Val-de-Grâce, résulte du mélange d'une dizaine de races de bacilles typhiques de provenances différentes; c'est ce qui lui vaut son nom de vaccin *polyvalent*. M. Vincent estime que cette polyvalence constitue un perfectionnement sensible : il est impossible de se prononcer, scientifiquement, sur ce point. Le vaccin de Vincent est *stérilisé par l'éther*. A cette fin, l'émulsion bacillaire est soumise pendant un temps déterminé à l'action de cet antiseptique dont on se débarrasse ensuite par la chaleur. L'émulsion ainsi stérilisée est scellée dans de petites ampoules de capacités différentes. Grâce aux traces d'éther qu'il contient, le vaccin se conserve assez bien; toutefois — nous y reviendrons plus loin — il ne garde pas indéfiniment ses propriétés immunisantes; une étiquette jointe à l'ampoule indique la durée limite de sa conservation.

Ce vaccin s'injecte sous la peau; on choisit généralement la région de l'épaule gauche, deux centimètres en arrière et au-dessus de l'aisselle. Dans ces derniers temps, Vincent a également indiqué la région correspondant au tiers inférieur de l'omoplate.

L'immunisation complète nécessite quatre injections, faites à huit jours d'intervalle, et comprenant successivement un demi, un, un et demi et deux centimètres cubes de ce vaccin.

J'ai eu l'occasion, depuis le début de l'année dernière, de faire un assez grand nombre de vaccinations antityphiques: j'ai surtout employé le vaccin de Vincent; dans certains cas spéciaux, j'ai eu recours au vaccin de Besredka. Voici un aperçu rapide de mes observations.

En règle générale, les réactions que nous avons constatées, après ces injections, ont été peu intenses: dans bien des cas, elles ont été très faibles ou même nulles. Parfois le sujet vacciné accuse une sensation d'engourdissement, comparable à celle que produit une contusion. C'est le lendemain de l'injection que s'est manifestée cette sensation, mais, le plus souvent, vingt-quatre heures après, elle avait disparu.

Rarement nous avons observé, chez nos vaccinés, des réactions générales sérieuses; assez souvent, cependant, nous avons noté, le lendemain d'une injection, une réaction fébrile généralement légère, mais qui, parfois, a atteint 39 et même 40 degrés: on a pu la combattre avec succès par les médicaments anti-fébriles, et leur disparition fut toujours rapide.

Il importe, pour éviter ces réactions fébriles intenses, de ne vacciner que des sujets jeunes, parfaitement sains, n'ayant jamais eu le typhus, et que la fatigue et le surmenage n'ont pas débilités. Nous signalerons, parmi nos observations, un cas de réactions locales et générales d'allure grave. Il s'est présenté chez une mère de famille qui soignait son mari atteint du typhus. Nous lui avons conseillé la vaccination antityphoïdique; elle lui fut pratiquée à un moment où des veilles répétées l'avaient fatiguée. La troisième injection fut suivie d'une réaction telle qu'elle refusa absolument de se soumettre à la quatrième. Heureusement, l'incident n'eut pas de suites fâcheuses. Nous avons également observé un état syncopal assez sérieux, consé-

cutif à la deuxième injection chez une jeune fille bien portante.

Nous avons dit plus haut que nous avions employé aussi, dans certains cas, le vaccin vivant de Besredka. C'est avec cet antigène que nous avons vacciné nos agents désinfecteurs. Besredka réduit à deux les inoculations préventives : on injecte la première fois deux, et la seconde fois trois centimètres cubes de son vaccin.

Nous avons noté que les réactions locales et générales étaient plus fortes avec ce vaccin qu'avec celui de Vincent. Nous avons observé, dans un cas, la production d'un pseudo-phlegmon qui n'a disparu qu'après trois jours, en évoluant avec une fièvre de 39 degrés : le vacciné fut forcé de s'aliter.

Besredka estime que son vaccin confère plus rapidement et plus solidement l'immunité spécifique ; il assure d'ailleurs qu'il a appliqué sa méthode à plus de 10 000 personnes, sans se heurter à aucun inconvénient sérieux. Les réactions intenses que l'on observe parfois seraient dues à une sorte d'hypersensibilité organique dont on ignore la cause.

Nos observations ont confirmé, ce que d'autres nous avaient appris dès longtemps, que les enfants supportent parfaitement ces injections antityphiques. Il est très rare qu'ils aient à souffrir de réactions locales ou générales : aussi se prêtent-ils aisément au traitement complet.

Complétons ces données par un emprunt fait au professeur Vincent. Parmi les observations qu'il relève, il en est où le hasard s'est chargé de démontrer l'innocuité de son vaccin, même lorsqu'il a été injecté à *dose trop forte*. En voici un exemple. Un médecin en a inoculé, par erreur, vingt centimètres cubes d'emblée à une jeune fille de 19 ans, et dix centimètres à deux enfants plus jeunes. Ces doses sont quarante fois plus fortes que la dose normale. Or il en est résulté seule-

ment pour les patients une vive douleur locale et un ou deux jours de céphalée.

La vaccination antityphique, par la méthode de Vincent, pratiquée chez des sujets jeunes et bien portants, semble donc dépourvue de danger sérieux. Nous répétons qu'il y a lieu d'être prudent quand il s'agit de personnes fatiguées, dépassant la quarantaine ou pouvant avoir eu le typhus. Mais est-elle réellement efficace? Confère-t-elle au vacciné une immunité moralement certaine?

Hâtons-nous de dire qu'il ne faut point chercher la preuve de son efficacité dans les réactions spécifiques du sang des vaccinés. D'expériences assez nombreuses que nous avons faites, il résulte que, de quinze jours à un mois, après la dernière injection, le sang du vacciné agglutine le bacille typhique à 1 : 100, à 1 : 200, à 1 : 400 et même parfois à des dilutions plus étendues. Son titre bactéricide est plus élevé : il atteint, en général, 1 : 4000 et, dans plusieurs cas, nous l'avons poursuivi jusqu'à 1 : 6000. Mais nous avons constaté, d'autre part, que ces réactions s'affaiblissent peu à peu à mesure que l'on s'éloigne de l'époque de la vaccination, au point que, trois à quatre mois après la dernière injection, le sang de certaines personnes vaccinées ne révèle plus qu'un pouvoir agglutinant et bactéricide très faible. Aussi, concluons-nous avec le D^r Vincent, que la preuve essentielle de l'efficacité du vaccin antityphique doit être cherchée dans la résistance qu'offre le sujet vacciné à l'infection éberthique.

On constate d'abord cette résistance au cours des infections typhiques, dites de laboratoire, contractées à la suite d'absorption accidentelle ou volontaire de bacilles typhiques virulents et, souvent, à doses considérables. Bien des médecins et des garçons de laboratoire ont succombé victimes de ces accidents. Or le

D^r Vincent signale que sur sept médecins, étudiants ou garçons de laboratoire, ayant involontairement absorbé des quantités considérables de bacilles typhiques, tous ont triomphé de l'infection grâce à la vaccination préalable ou à la vaccination pratiquée un, deux ou trois jours après l'accident.

Un cas analogue nous est personnel. Un de nos garçons de laboratoire, en janvier 1913, absorba par mégarde deux centimètres cubes environ d'une émulsion épaisse de bacilles typhiques, isolés depuis peu d'un organisme malade. Le sujet était jeune, il n'avait jamais souffert du typhus ni d'aucune affection apparentée. Nous recourûmes à la vaccination trente-six heures après l'accident : elle fut absolument efficace ; seulement, après la deuxième inoculation le patient présenta une réaction thermique de 39 degrés, et les phénomènes locaux furent très accentués.

Dans une conférence qu'il donna à Bruxelles, le D^r Vincent signala d'autres faits. A Paris, des jeunes gens, vaccinés par sa méthode, se sont laissé injecter, sous la peau, des bacilles typhiques virulents, ou ont avalé l'équivalent d'un verre à Bordeaux d'une épaisse émulsion de ce microbe : tous sont sortis indemnes de l'épreuve.

Ces faits témoignent en faveur de l'efficacité de la vaccination antityphique, mais elle ressort mieux encore des constatations épidémiologiques.

Nous empruntons à divers écrits du D^r Vincent les renseignements qui vont suivre, sur un grand nombre d'épidémies typhiques observées dans l'armée française et dans la population civile.

Le premier emploi du typho-vaccin polyvalent fut fait au Maroc oriental, en 1911, au début d'une épidémie fort sévère, chez environ 11 % des soldats de cette région : tandis que la morbidité typhoïdique chez

les non-vaccinés s'éleva à 64,97 ‰, avec une mortalité de 8,35 ‰, l'immunité fut complète chez les vaccinés.

Au cours de l'année 1912, 31 380 militaires (troupes de la guerre ou des colonies) ont été vaccinés en France : aucun d'entre eux n'a été atteint de la fièvre typhoïde. D'autre part, l'ensemble des non-vaccinés a compté 2,22 cas et 0,30 décès ‰ dans l'armée coloniale.

Pendant l'été de 1912, une épidémie formidable de typhus éclate à Avignon. Cette ville compte 49 000 habitants ; elle possédait à ce moment une garnison de 2053 hommes. Il y eut, dans la population civile, de 5100 à 2009 cas et 64 morts et, parmi les militaires, 155 cas avec 22 décès. Le nombre des militaires vaccinés avant l'épidémie était de 525 ; 841 demandèrent à être vaccinés au cours même de l'épidémie, ce qui donna au total 1366 vaccinés et 687 non-vaccinés. Or, aucun des vaccinés n'a pris la fièvre typhoïde, même légère ; et ceux des habitants qui se sont fait vacciner sont également demeurés indemnes.

L'efficacité du vaccin polyvalent s'est affirmée également, en 1912 et en 1913, au Maroc occidental, en Algérie et en Tunisie : alors que les non-vaccinés ont eu à souffrir d'une morbidité et d'une mortalité souvent élevées, atteignant au Maroc occidental 168,44 cas et 21,13 décès ‰, les vaccinés ont offert une immunité presque complète : en Algérie-Tunisie, on a constaté un cas de fièvre typhoïde, sans décès, parmi les 1031 vaccinés, soit 0,09 ‰ ; encore l'homme atteint avait-il reçu du vaccin périmé et, par conséquent, sans efficacité. « Je ne saurais trop insister, dit à ce sujet le Dr Vincent, sur la nécessité de rejeter tout vaccin ancien. *Son délai de conservation est au plus de trois mois, à la glacière et à l'obscurité.* » De même au Maroc occidental, au cours de l'épidémie meurtrière

que nous rappelions plus haut, sur 10 794 vaccinés on ne compta que 0,18 cas et 0,09 décès ‰.

Dans des épidémies récentes, à Issoudun, Montauban, Marseille, Tours, Saintes, la vaccination a protégé tous les militaires vaccinés et a exercé une action d'arrêt très marquée, en huit à dix jours, sur la marche du fléau.

Des constatations semblables ont été faites à l'occasion d'épidémies ayant régné, dans la population civile, à Puy-l'Évêque, Paimpol, Jargeau, Rouffignac, Saint-Lattier, Grans, Bengy, Margency, Sermaizes, etc.

Ainsi, à Puy-l'Évêque, gros bourg du département du Lot, on releva 62,85 cas et 7,14 décès ‰ habitants non-vaccinés. Sur les instructions du D^r Vincent, « des vaccinations furent faites exclusivement sur les jeunes gens, les jeunes filles et les enfants, en un mot chez les sujets les plus réceptifs pour la fièvre typhoïde ». Or, cette mesure suffit pour arrêter, en quinze jours, l'extension de l'épidémie, et aucun des 312 vaccinés ne fut atteint. Les cas survenus ultérieurement se sont manifestés chez les non-vaccinés seuls.

A Paimpol, à l'occasion d'une épidémie qui a sévi à la même époque, les non-vaccinés eurent une proportion de 41,66 cas avec 4,58 décès ‰, tandis que des 400 vaccinés aucun ne fut frappé.

Nous pourrions allonger beaucoup cette statistique : elle deviendrait plus persuasive encore, mais les faits que nous avons rappelés suffisent à notre but.

Nous nous en sommes tenu surtout à la méthode de D^r Vincent, et aux résultats qu'elle a donnés, parce qu'elle est celle que nous avons le plus souvent appliquée et dont nous avons pu contrôler l'efficacité. Il eût été intéressant sans doute de comparer ces résultats à ceux qu'ont donnés des vaccins différents. Cela nous eût conduit trop loin ; du reste, à l'heure actuelle, bien

des méthodes nouvelles ont été trop peu expérimentées pour qu'on puisse se faire à leur sujet une opinion définitive. L'avenir, sans doute, nous réserve encore bien des progrès, soit dans la préparation du vaccin antityphique, soit dans ses applications, et c'est de lui qu'il faut attendre des indications plus précises que celles que nous possédons aujourd'hui sur la durée de l'immunité qu'il confère. Certains auteurs lui assignent une limite maxima de trois ans; d'autres, plus nombreux, la réduisent à une année.

Quoi qu'il en soit, nous pouvons conclure, dès maintenant, que la vaccination préventive contre la fièvre typhoïde nous met entre les mains une arme de choix contre cette affection redoutable. Nous y recourons surtout pour protéger les membres des familles au sein desquelles un cas de typhus a éclaté; nous vaccinons les « réceptifs », et jusqu'ici, nous n'avons eu qu'à nous louer de cette mesure de prophylaxie. Acclamons cette nouvelle victoire de l'expérimentation pasteurienne à ajouter à tant d'autres, remportées par elle sur les maladies infectieuses et virulentes.

Recueillons ses bienfaits; mais n'oublions pas que la nécessité des mesures hygiéniques préventives n'a pas cessé de s'imposer. Redisons-le encore une fois: les distributions d'eau, en particulier, constituent et constitueront toujours le rempart le plus sûr contre l'invasion des maladies infectieuses d'origine hydrique. D'ailleurs, la vaccination antityphique ne peut s'appliquer à toute une population: c'est aux sujets jeunes et bien portants qu'elle s'adresse surtout; tandis que l'hygiène générale protège tout le monde.

Grâce à ses progrès et à cette nouvelle conquête de la prophylaxie microbienne, il y a lieu d'espérer, comme le proclamait le professeur Chantemesse, que le siècle présent triomphera de la fièvre typhoïde, comme le

siècle passé a vaincu la variole. L'évolution heureuse qui s'est produite pour la variole, est en marche pour le typhus et voici que nous faisons un pas de plus « vers cet idéal inaccessible, toujours poursuivi, écrit le D^r Vincent, jamais atteint, qui veille comme une lampe sacrée au cœur de tout hygiéniste : affranchir l'homme de la maladie évitable ».

D^r A. HAIBE,

Directeur de l'Institut Bactériologique Provincial
de Namur.

LES

ONDES HERTZIENNES ATMOSPHERIQUES

Enregistrées à l'Observatoire St-Louis de Jersey, Manche,
de novembre 1911 à octobre 1913

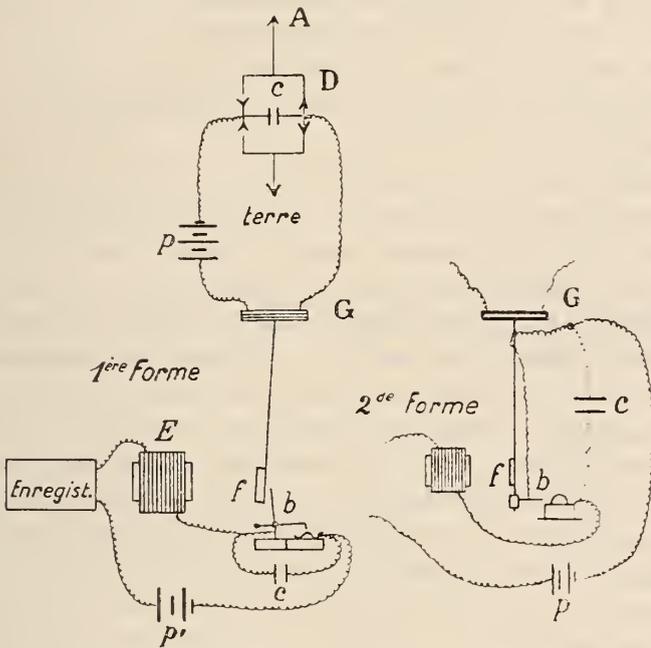
Une antenne de 10 fils de bronze de 100 mètres de long chacun, pendant du sommet de la Tour métallique St-Louis, à 50 mètres du sol, est reliée, en bas, à un détecteur électrolytique à réception intégrale, à un condensateur, à un ampèremètre relais-trembleur et à un chronographe totalisateur. L'idée du relais-trembleur est neuve ; elle est bonne puisqu'elle m'a donné, après deux années d'un fonctionnement continu et satisfaisant, les résultats consignés principalement dans les tableaux qui vont suivre.

Ces résultats paraîtront, sans doute, aussi importants qu'intéressants, du moment qu'ils sont les premiers, du moins à ma connaissance, à être publiés sur ce phénomène des Ondes hertziennes atmosphériques qui est assez nouveau en météorologie.

C'est après avoir vu, pendant plusieurs mois, fonctionner l'ampèremètre, relié au voltamètre électrolytique à réception intégrale et à l'antenne, comme enregistreur direct des ondes soit graphiquement sur papier blanc ou sur papier enfumé, soit photographiquement sur papier au gélatino-bromure, que j'ai vu la nécessité de modifier le fonctionnement même de

l'appareil. Le retard du voltamètre à se décoherer, disons mieux, à se repolariser après le passage de chaque onde, était la cause de l'inutilité de tous les efforts précédents. Il pouvait devenir l'origine de nouvelles séries d'observations de plus grande valeur que celles qu'on s'était d'abord proposé de faire.

En effet, ayant dûment constaté que le retard du détecteur à se refermer au courant auxiliaire était



Première forme : A antenne ; D détecteur à soupape électrolytique ; G cadre mobile d'un ampèremètre ; f mince plaque de fer-blanc ; b bascule à pointe fine au-dessus d'une goutte de mercure ; E électro de rappel de l'aiguille ; c condensateur ; p et p' piles ; enregistreur chronographe.

Seconde forme : f plaque de fer-blanc ; b pointe fine fixée (isolée) à la tige oscillante et piquant dans une gouttelette de mercure quand la tige est déviée ; cette pointe est reliée par fil fin flexible au pôle négatif de la pile.

d'autant plus long que les ondes s'étaient signalées à l'enregistrement par des traits plus longs eux-mêmes, j'en conclus que la dépolarisation opérée était propor-

tionnelle à l'énergie de vibration de ces ondes. Dès lors cette durée du courant à travers l'électrolyte pouvait être prise comme mesure de leur énergie ou de leur importance relative et pouvait assez facilement s'évaluer ou s'enregistrer.

Après quelques essais je compris vite qu'il fallait fractionner cette durée du courant et la fractionner de telle sorte qu'une première onde en train de s'enregistrer ne voilât pas, ne dissimulât pas une seconde, une troisième, qui viendraient coup sur coup ajouter leur énergie propre à la précédente. Je crois par mon *relais-trembleur* avoir fort heureusement résolu le problème.

J'ai remplacé à l'extrémité libre de l'aiguille du galvanomètre la plume ou le style inscripteur par une fine pointe de platine soigneusement isolée de cette aiguille, mais reliée par un fil de cuivre fin au pôle négatif d'un accumulateur. Cette pointe de platine, quand l'appareil est en plein fonctionnement, mais en l'absence de toute onde, est presque en contact avec une goutte de mercure placée dans le même circuit de l'accumulateur avec le chronographe enregistreur et un électro-aimant de rappel installé derrière l'aiguille à laquelle on a, en face, soudé une petite plaque de fer-blanc. Le relais-trembleur ainsi établi est prêt à fonctionner. Une onde traverse le détecteur et dévie le galvanomètre ; son aiguille à l'instant entre en vibration plus ou moins rapidement et chaque contact avec le mercure fait monter d'un millimètre la plume du chronographe. Les vibrations, vives au premier moment, se ralentissent et s'éteignent bientôt. Si une nouvelle onde survient avant la cessation de ces premières vibrations, on s'en aperçoit aussitôt à la recrudescence même de l'agitation de l'aiguille et de l'enregistreur ; rien donc n'est perdu ou dissimulé, et la loi de l'indépendance des effets des forces en jeu a ici son application réelle.

Ainsi, la somme des avancements de la plume du chronographe dans un temps donné représentera bien l'intensité moyenne des ondes qui ont passé par le détecteur.

Ce curieux mode d'enregistrement des ondes hertziennes atmosphériques s'est montré d'une grande sensibilité, en ce sens qu'il ne laisse pour ainsi dire rien échapper. L'enregistrement est comme continu tout le long de l'année. Il y a assurément des journées de forte agitation qui sont les journées orageuses soit locales, soit à distance dans un rayon cependant qui ne m'a pas semblé avoir dépassé 400 ou 500 kilom. Mais il y a nombre de journées aussi où la moyenne horaire des battements enregistrés a été réduite à 1 et à moins encore : toutefois en deux années nous n'avons compté que 3 ou 4 journées de calme absolu.

Comme exemples de journées très orageuses, citons le 13 juillet 1912 avec ses 48 360 oscillations enregistrées dans les 24 heures, et le 29 août 1913 avec 48 750. De 11 h. du soir à minuit, le 16 juillet 1912, nous avons relevé 6700 oscillations. Ces différents nombres ne représentent pas des ondes distinctes, mais comparés à d'autres relevés à d'autres époques et dans des conditions atmosphériques différentes, ils donnent une forte impression des valeurs relatives que peut prendre le champ hertzien, c'est-à-dire les conditions de l'air, au lieu d'observation, créées spécialement par ces ondes électro-magnétiques qui se croisent de différentes directions sur l'horizon.

Comme je vais l'indiquer dans des tableaux qui résumeront deux années d'observations régulièrement faites à Jersey, le champ hertzien atmosphérique, que je viens de nommer, constitue un phénomène en quelque sorte continu qui obéit, comme tout autre phénomène météorologique, à des lois certaines : il a une variation diurne parfaitement marquée, mais à double caractère correspondant aux deux grandes saisons de

l'année, ce qui le distingue de ces phénomènes dont la variation est fixe, comme la pression, la température et l'humidité de l'air.

Je suis d'autant mieux autorisé à introduire cette notion, nouvelle en météorologie, d'un champ hertzien atmosphérique normal, que j'en ferai constater l'existence sur un autre point du globe, bien différent de Jersey, et où se trouveront vérifiées les mêmes lois de variation du phénomène des ondes.

J'ajoute maintenant que, m'appuyant sur ces diverses considérations, j'ai cru pouvoir désigner, au moins l'appareil dont je me suis servi à Jersey, d'un nom plus expressif et plus compréhensif que celui de détecteur d'orages, généralement employé : je l'appellerai *météorondegraphe* dans la discussion de nos observations.

Une remarque encore pour prévenir une objection. Le détecteur électrolytique, appliqué uniquement à l'observation des ondes atmosphériques, comporte normalement, en l'absence de toute onde ou séparé de l'antenne, un certain courant qui maintient le cadre galvanométrique en une constante mais faible agitation ; mesuré aux bornes il a toujours été trouvé de 0,1 à 0,2 volt. Ce faible courant pourrait occasionner des battements isolés de l'enregistreur ; on s'arrangera pour les supprimer, en réglant, dans un moment de grand calme, la distance entre la pointe oscillante et le mercure.

L'île de Jersey n'a ni industrie, ni commerce qui lui amène des navires assez importants pour posséder un appareil de télégraphie sans fil. Un seul, pendant l'été de 1913, avait été mis sur la ligne d'Angleterre pour le transport des touristes avec ce moyen rapide de communication qui servait à signaler aux armateurs son entrée au port de St-Hélier, la capitale de l'île. Or, les signaux émis à cette occasion, à 2500 mètres environ de la Tour St-Louis, ont plusieurs fois été inscrits

par le chronographe et toujours il a été très facile d'en faire la distinction. Les signaux de la Tour Eiffel, d'ailleurs entendus vigoureusement dans notre téléphone de 5000 ohms de résistance, sont sans effet appréciable sur l'enregistreur. Donc les traces laissées sur les feuilles quotidiennes de notre météorondegraphe sont vraiment et uniquement les traces des ondes hertziennes d'origine atmosphérique. Il est bon de faire cette remarque.

I

MOYENNES INTENSITÉS MENSUELLES DES ONDES
COMPARÉES A LA FRÉQUENCE DES ORAGES

Dans les tableaux qui vont suivre, tous les nombres présentés comme intensité relative moyenne des ondes de passage à Jersey sont les moyennes sommes d'oscillations du relais-trembleur effectuées en une heure de temps.

MOYENNES INTENSITÉS MENSUELLES DES ONDES

| | N | D | J | F | M | A | M | Jn | Jl | A | S | O | ANNÉE |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|-------|
| (1911-1912) | 31.7 | 30.7 | 16.4 | 9.5 | 34.0 | 23.1 | 38.1 | 76.2 | 394.4 | 52.0 | 23.7 | 36.7 | 63.9 |
| (1912-1913) | 26.3 | 16.6 | 25.4 | 11.7 | 15.2 | 25.4 | 37.8 | 30.3 | 99.7 | 109.3 | 90.1 | 38.8 | 43.9 |

NOMBRES DE JOURNÉES ORAGEUSES A JERSEY

| | N | D | J | F | M | A | M | Jn | Jl | A | S | O | ANNÉE |
|-------------|----|----|----|---|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|
| (1911-1912) | 3 | 1 | 1 | 0 | 2 | 0 | 1 | 2 | 7 | 2 | 0 | 4 | 23 |
| (1912-1913) | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 4 | 3 | 2 | 5 | 18 |
| (20 années) | 21 | 21 | 17 | 9 | 18 | 11 | 31 | 42 | 53 | 48 | 51 | 51 | 376 |

Entre les deux ordres de phénomènes on ne reconnaît guère que cette connexion générale : ondes et orages ont leur minimum de fréquence en hiver, en février surtout, et leur maximum en été, en juillet principalement.

Je dois dire que j'ai compté comme journées ora-

geuses aussi bien celles où l'orage, dans le voisinage de l'île, ne s'est manifesté que par des éclairs à l'horizon, que les journées avec tonnerre, indice certain que l'orage était sur nous, ou du moins tout près de la station d'observation.

Qu'on associe maintenant, si l'on veut, à ce petit nombre de journées orageuses pour Jersey (49, moyenne des 20 années 1894-1913) les 30 qui ressortissent à la France prise dans son ensemble, les 10 à l'Angleterre et les quelques orages qui peuvent encore éclater à l'Ouest, sur l'Atlantique, on n'expliquera pas avec tout cela la continuité presque absolue des ondes enregistrées dans cette île. Elles exigent une source en quelque sorte permanente, un foyer de décharges électriques modérées, mais fréquentes, comme je l'ai dit plus haut, foyer assurément placé en dehors de la zone des orages bruyants et violents, et du moment que ces derniers éclatent dans les couches inférieures de l'air, les autres doivent se produire haut dans les couches supérieures régulatrices de tous les mouvements qui ont lieu dans les premières.

II

MOYENNES VARIATIONS DIURNES DES ONDES HERTZIENNES

Les journées proprement *orageuses* sont caractérisées par une si grande abondance d'ondes énergiques que leur séparation d'avec les autres, que nous appellerons journées *calmes*, s'impose quand on entreprend d'étudier la variation diurne du champ hertzien. Cela n'empêchera pas, d'ailleurs, de rechercher la variation diurne également des ondes orageuses.

Le tableau suivant résume les observations des deux années sous une forme un peu condensée, sans doute, mais fort claire dans ses détails et dans son ensemble.

JERSEY. — ONDES HERTZIENNES ATMOSPHÉRIQUES (NOV. 1914 A OCT. 1913)
Moyennes variations horaires de l'intensité des Ondes (1)

| INTER- VALLES HORAIRES | TOUTES LES ONDES | | | LES ONDES CALMES | | | LES ONDES ORAGEUSES | | |
|------------------------------|------------------|------|-------|------------------|------|-------|---------------------|-------|-------|
| | Hiver | Été | Année | Hiver | Été | Année | Hiver | Été | Année |
| | | | | | | | | | |
| min.-1 m. | 11,4 | 18,7 | 15,0 | 6,9 | 3,8 | 1,6 | 46,0 | 168,3 | 107,4 |
| 1-2 | 10,4 | 11,0 | 10,7 | 7,1 | 3,4 | 1,9 | 31,9 | 83,4 | 59,2 |
| 2-3 | 7,9 | 4,3 | 4,3 | 5,6 | 5,9 | 0,2 | 24,9 | 14,6 | 19,7 |
| 3-4 | 3,4 | 8,7 | 2,4 | 3,9 | 11,1 | 3,6 | 10,3 | 28,2 | 8,9 |
| 4-5 | 3,0 | 17,4 | 7,2 | 3,4 | 16,7 | 6,7 | 10,0 | 63,5 | 26,8 |
| 5-6 | 0,1 | 24,9 | 12,5 | 0,4 | 20,6 | 10,5 | 6,9 | 110,0 | 51,5 |
| 6-7 | 6,1 | 30,9 | 18,5 | 5,3 | 21,8 | 13,5 | 12,1 | 163,2 | 87,6 |
| 7-8 | 9,4 | 35,2 | 22,3 | 7,4 | 21,4 | 11,4 | — | 200,8 | 113,8 |
| 8-9 | 12,2 | 37,5 | 24,9 | 8,1 | 20,4 | 14,4 | — | 207,9 | 123,5 |
| 9-10 | 14,4 | 37,1 | 25,8 | 9,4 | 18,5 | 14,0 | — | 192,6 | 123,4 |
| 10-11 | 14,9 | 32,5 | 23,7 | 9,4 | 13,5 | 11,6 | — | 175,8 | 113,5 |
| 11-midi | 13,4 | 22,3 | 17,3 | 8,1 | 3,4 | — | — | 164,2 | 110,3 |
| midi-1 s. | 11,5 | 6,4 | 9,0 | 7,2 | 11,3 | 2,0 | — | 139,8 | 96,3 |
| 1-2 | 9,6 | 12,6 | 1,5 | 5,6 | 26,5 | 10,5 | — | 78,9 | 63,8 |
| 2-3 | 7,7 | 29,2 | 10,7 | 4,7 | 37,1 | 16,2 | — | 16,9 | 7,9 |
| 3-4 | 3,4 | 37,6 | 17,1 | 4,9 | 39,2 | 18,6 | — | 110,0 | 63,3 |
| 4-5 | 0,7 | 36,6 | 17,9 | 1,1 | 33,3 | 16,1 | — | 3,9 | 71,7 |
| 5-6 | 2,0 | 24,9 | 13,4 | 1,3 | 22,6 | 11,9 | — | 3,8 | 67,7 |
| 6-7 | 7,1 | 13,0 | 10,1 | 4,5 | 11,5 | 8,0 | — | 27,4 | 53,1 |
| 7-8 | 9,5 | 6,5 | 8,0 | 6,9 | 2,3 | 4,1 | — | 39,2 | 53,6 |
| 8-9 | 12,1 | 7,3 | 9,7 | 5,9 | 3,6 | 1,2 | — | 61,9 | 89,5 |
| 9-10 | 13,6 | 13,5 | 13,5 | 7,6 | 6,7 | 0,4 | — | 62,3 | 117,1 |
| 10-11 | 11,0 | 20,2 | 15,6 | 8,8 | 7,2 | 4,2 | — | 38,2 | 133,5 |
| 11-min. | 11,7 | 22,2 | 16,9 | 8,4 | 5,8 | — | — | 34,4 | 229,6 |
| Intensité moyenne | 29,8 | 77,4 | 53,5 | 18,9 | 34,5 | 26,7 | 120,4 | 426,8 | 278,1 |

(1) Le calcul de ces variations horaires a porté sur

318 journées calmes et 31 journées orageuses pour la saison froide.
331 » » et 37 » » pour la saison chaude.

Au pied des différentes colonnes on trouve des nombres qui représentent les intensités moyennes horaires du champ en chaque saison et dans l'année, et ces colonnes elles-mêmes sont constituées par les écarts, positifs ou négatifs, de la valeur du champ, à chaque heure du jour, sur la moyenne intensité diurne.

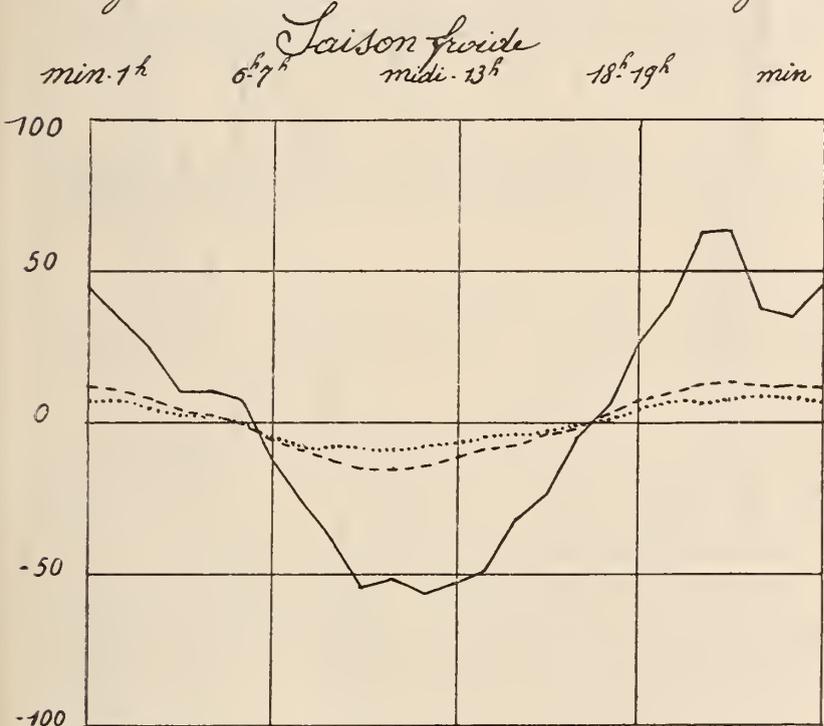
La division de l'année en deux grandes saisons n'a pas, ici, l'inconvénient de confondre des variations qui demanderaient à être distinguées les unes des autres. La variation diurne du champ hertzien au printemps a pris assez brusquement, dans le courant du mois de mars, la forme qu'elle a fermement dans les trois mois d'été ; semblablement sa forme en automne, dès le mois de septembre, est déjà celle des mois d'hiver.

Ce tableau nous apprend qu'en hiver le champ hertzien, calme ou troublé, a un minimum d'intensité en plein jour, vers 10 h. ou 11 h. du matin, et acquiert son maximum de force au milieu de la nuit, vers 10 ou 11 h. du soir. On n'observerait, à proprement parler, que cette seule oscillation de l'intensité des ondes dans les 24 heures.

En été, c'est moins simple : le champ y présente une double oscillation dans la journée. Celle de jour se produit aux mêmes heures pour les ondes calmes et les ondes orageuses : minimum d'intensité de 7 à 8 h. du matin, maximum de 3 à 5 h. de l'après-midi. C'est surtout par leur oscillation de nuit que diffèrent les deux ordres de phénomènes : les ondes orageuses y acquièrent une très grande intensité, plus grande même que dans l'après-midi, juste au moment, vers 11 h. du soir, où les ondes calmes se montrent fort affaiblies, moins cependant que dans la matinée. Cette oscillation nocturne a commencé, pour les ondes orageuses, par un léger minimum de 7 à 8 h. du soir ; elle s'achèvera, pour les ondes calmes, par un léger maximum entre minuit et 1 h. du matin.

Si l'on excepte ces gros orages de nuit, en été, qui semblent propres à nos parages de la Manche, la variation diurne du champ hertzien pendant la saison chaude est bien concordante avec celle de la fréquence des orages en France et sur le continent. Quant aux

Moyennes variations diurnes des Ondes hertziennes

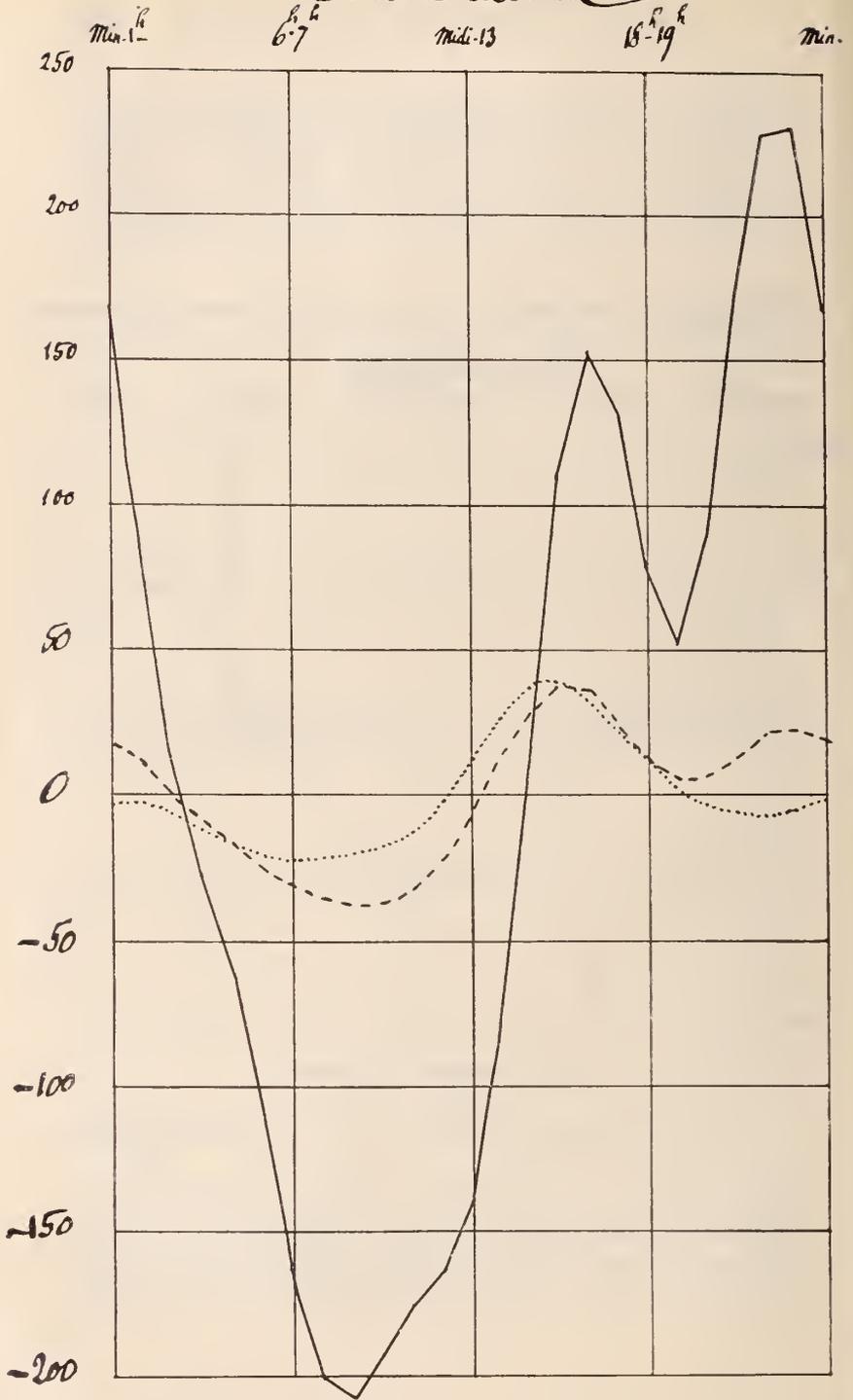


----- toutes les ondes

..... les ondes calmes — les ondes orageuses

ondes de la saison froide, leur maximum d'intensité au milieu de la nuit et leur minimum au milieu du jour les rapprochent singulièrement des orages qui éclatent, en hiver, dans le nord de l'Atlantique, sur les côtes

Saison chaude



ouest de l'Écosse et en Islande, sur le passage des grandes dépressions atmosphériques.

Je puis donner, dans le tableau suivant, une preuve bien intéressante de l'enchaînement naturel des phénomènes électriques orageux et électro-magnétiques de l'air.

VARIATIONS DIURNES DU CHAMP HERTZIEN A JERSEY
ET DE LA FRÉQUENCE DES ORAGES EN ÉCOSSE ET A PARIS (1)

| HEURES | HIVER | | ÉTÉ | |
|---------------------|---------------|---------------|---------------|--------------|
| | <i>Jersey</i> | <i>Écosse</i> | <i>Jersey</i> | <i>Paris</i> |
| de minuit à 3 h. m. | 16 | 53 | — 11 | — 73 |
| 3-6 | 5 | 3 | — 39 | — 85 |
| 6-9 | — 17 | — 24 | — 51 | — 82 |
| 9-midi | — 22 | — 29 | — 28 | — 72 |
| de midi à 3 h. s. | — 14 | — 43 | 60 | 117 |
| 3-6 | — 1 | — 4 | 176 | 179 |
| 6-9 | 19 | 3 | 8 | 48 |
| 9-minuit | 20 | 41 | — 16 | — 32 |

Il m'a semblé utile de chercher la variation des intensités relatives des deux sortes d'ondes, en hiver et en été. Le tableau de la page suivante montre les rapports que j'ai cru utile cependant d'adoucir et de régulariser en les composant par groupes de 5.

En hiver, il y aurait concordance entre les variations d'intensité des ondes orageuses et des ondes calmes à toutes les heures de la journée, sauf un léger excès dans les ondes calmes vers 1 h. du matin et 1 h. de l'après-midi et dans les ondes orageuses à 8 h. du

(1) J'emprunte les données, pour l'Écosse, aux *Bases de la météorologie dynamique de Hildebrandsson*; pour Paris à Loisel, *Les orages*. Ondes et orages ont été uniformément réduits à 1000 par jour. Ce sont les séries des journées calmes qui ont été mises à profit pour notre comparaison; ces séries représentent mieux la variation du champ hertzien normal.

RAPPORTS DES INTENSITÉS
 DES ONDES ORAGEUSES ET DES ONDES CALMES

| INTER- VALLES HORAIRES | HIVER | ÉTÉ | INTER- VALLES HORAIRES | HIVER | ÉTÉ |
|------------------------------|-------|------|------------------------------|-------|------|
| <i>Min.-1m.</i> | 6.3 | 19.5 | <i>Midi-1 s.</i> | 6.9 | 7.7 |
| 1-2 | 6.3 | 18.2 | 1-2 | 6.5 | 6.8 |
| 2-3 | 6.3 | 17.7 | 2-3 | 6.5 | 6.8 |
| 3-4 | 6.4 | 18.4 | 3-4 | 6.6 | 7.5 |
| 4-5 | 6.9 | 19.3 | 4-5 | 6.7 | 8.6 |
| 5-6 | 7.4 | 19.7 | 5-6 | 6.7 | 9.8 |
| 6-7 | 7.9 | 19.4 | 6-7 | 7.0 | 11.8 |
| 7-8 | 8.3 | 18.3 | 7-8 | 7.0 | 14.4 |
| 8-9 | 8.4 | 16.1 | 8-9 | 6.9 | 17.2 |
| 9-10 | 8.1 | 13.6 | 9-10 | 6.8 | 19.6 |
| 10-11 | 7.6 | 11.4 | 10-11 | 6.8 | 20.9 |
| 11- <i>Midi</i> | 7.1 | 9.4 | 11- <i>Min.</i> | 6.5 | 20.7 |

Rapports moyens : Hiver 7.0 — Été 11.7.

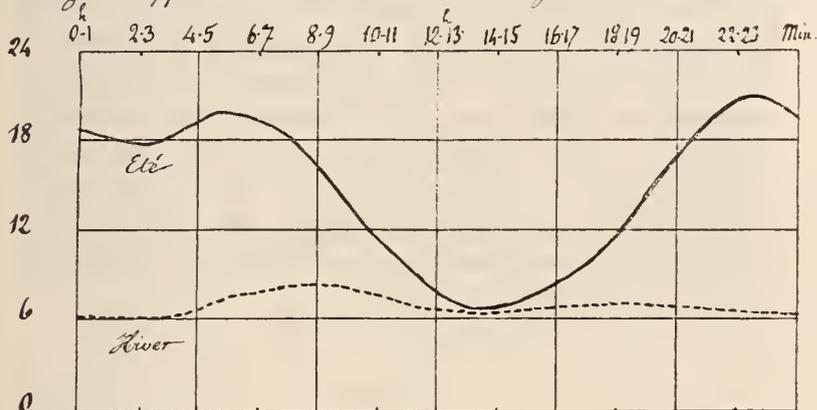
matin et 8 h. du soir. Cette double oscillation des variations relatives des intensités des deux sortes d'ondes est intéressante à noter, quoique la signification m'en échappe.

En été nous retrouvons la même double oscillation diurne, mais bien autrement marquée. Vers 2 à 3 h. du matin et 1 à 3 h. du soir surtout, le rapport des intensités fléchit en faveur des ondes calmes qui se renforcent; vers 6 h. du matin et 11 h. du soir, le rapport se relève avec un débordement extraordinaire d'ondes orageuses signalé dans notre tableau des variations diurnes du champ hertzien.

Au risque de paraître un peu long, je vais essayer une explication de ces faits. De 7 à 9 h. du matin, moment où les couches atmosphériques sont en équilibre sur terre et sur mer, le champ hertzien est de toutes façons calme. Mais bientôt, vivement portées

haut avec une importante charge de vapeur et d'électricité les masses d'air échauffées au contact du sol entrent en contact avec les masses supérieures relativement sèches et électrisées différemment : de là de nombreuses décharges, silencieuses pour nos oreilles, et émission des ondes calmes qu'on observe en excès vers 2 et 3 h. de l'après-midi. Avec le déclin du Soleil les courants ascensionnels se modèrent vite et s'an-

Jersey - Rapports d'intensité des Ondes orageuses aux Ondes calmes.



nulent ; les couches relevées s'affaissent et les masses aériennes supérieures, s'alourdissant à leur tour, viennent en contact avec les couches moyennes et les couches basses, les unes et les autres très humides et toujours chargées d'électricité. De 5 à 6 h. du soir c'est l'heure des orages sur le continent avec émission des abondantes ondes orageuses qui sont signalées à Jersey. Ici, l'heure des orages n'est pas encore venue : ils éclateront avec force un peu avant minuit.

Je vois la raison de ce retard dans les deux faits suivants. D'une part, sur l'île, d'après nos 20 années d'observation de la vitesse des vents au sommet de la Tour St-Louis, à 111 m. du niveau de la mer, la com-

posante horizontale du mouvement de l'air, au fort de l'été, a sa plus grande valeur entre 10 h. du soir et minuit dans une direction générale de l'WNW à l'ESE : les couches moyennement élevées viennent donc de la mer. D'autre part, sur le continent à l'Est de Jersey, par l'effet du refroidissement nocturne qui a gagné toutes les couches atmosphériques, les supérieures comme les inférieures, leur affaissement est général et accompagné d'un écoulement, par le bas, vers la mer dont la température s'est notablement moins abaissée. On voit tout de suite le conflit des deux masses d'air de directions opposées qui cherchent à se pénétrer, à se déplacer : on voit les tourbillonnements qui s'en suivent, les décharges qui égalisent leurs potentiels différents et les ondes furieuses qui sont émises de foyers à grande proximité et même locaux. Telle serait l'explication qui peut être donnée des valeurs très élevées du champ hertzien, au milieu de la nuit au cours de l'été proprement dit.

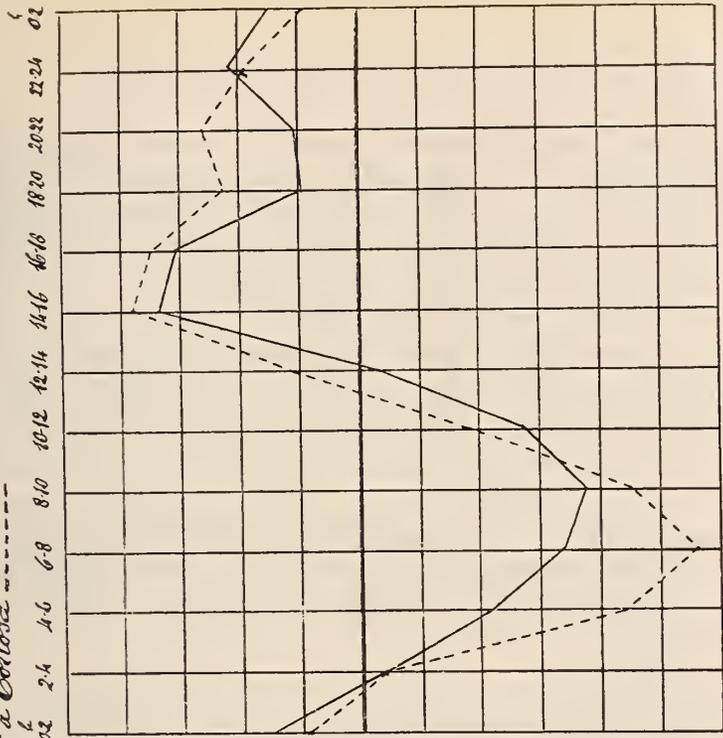
III

COMPARAISON TRÈS INSTRUCTIVE DU CHAMP HERTZIEN A JERSEY ET A TORTOSA

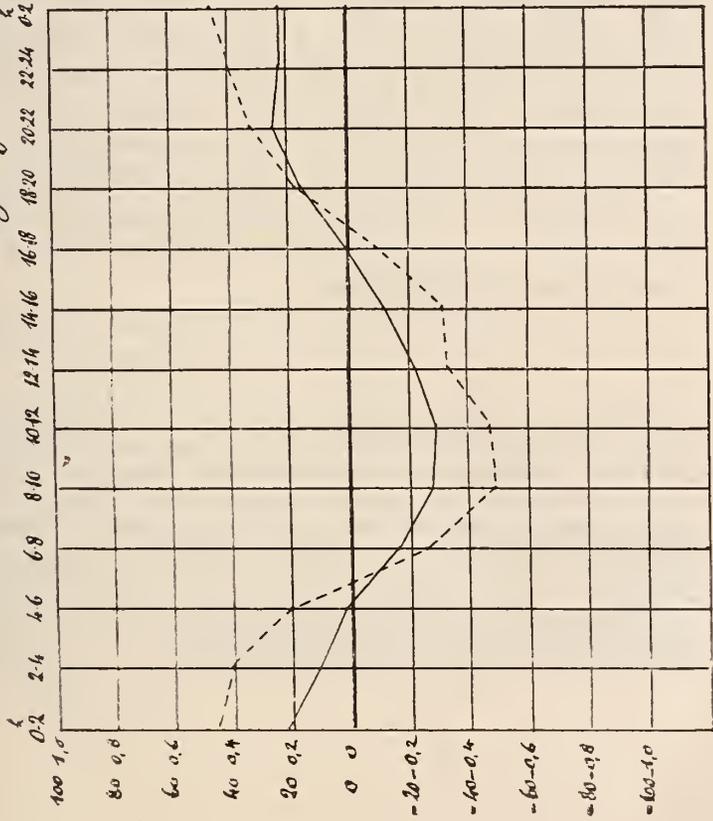
On n'aura pas été sans faire la remarque que la division que j'ai faite de l'année en deux grandes saisons d'après la similitude des variations diurnes du champ hertzien, d'un côté, au printemps et en été, de l'autre, en automne et en hiver, mettait directement ce phénomène météorologique nouveau sous la dépendance de la déclinaison du Soleil. Et par là il se distingue de tous les autres depuis longtemps étudiés.

Cette singularité même ne serait-elle pas un argument en faveur de la réalité d'un champ hertzien

Comparison des variations diverses des Ondes hertziennes
à Jersey — et à Cortosa —



Variations en été.
Note - La variation d'été pour Cortosa a été ici doublée.



Variations en hiver.

normal, indépendamment des irrégularités brusques et impétueuses qu'il présente accidentellement à la manière des deux autres champs qui lui sont manifestement apparentés, le champ magnétique terrestre et le champ électrique atmosphérique ?

Une autre preuve, très objective celle-là, de l'existence d'un champ hertzien normal m'est fournie par les deux années et demie (janvier 1910-juillet 1912) d'observations des ondes hertziennes que j'ai heureusement trouvées et pu étudier dans les BULLETINS MENSUELS de l'Observatoire de l'Èbre, à Tortosa, observations faites sous la direction du R. P. Cirera S. J. Je dis heureusement trouvées, puisque je n'en connais pas d'autres faites ailleurs d'une façon continue et utilisable.

À Tortosa, on a en service, avec l'antenne et le chronographe, un cohéreur à pointes de Branly qui exige l'addition d'un frappeur (1). On sait que les cohéreurs, quels qu'ils soient, sont moins sûrs que le détecteur électrolytique comme fonctionnement régulier. Mais, à moins d'user d'un artifice plus ou moins ingénieux qui transformera en avantage, comme à Jersey, le défaut capital du détecteur électrolytique de ne pouvoir se décoherer instantanément, il faut renoncer à s'en servir autrement que pour l'audition à distance avec le téléphone.

Le P. Cirera, dans son BULLETIN MENSUEL, donne le

(1) Dans ces observations de Tortosa, la moyenne fréquence relative (estimée à l'échelle 0-4) des ondes, dans les 3 étés, ne se trouve représentée que par 1,24 pour un intervalle de 2 heures, tandis que celle des 3 hivers s'élèverait à 1,38. La saison des orages aurait donné moins d'ondes que celle où ils ont rares. Pour me rendre compte de cette bizarre anomalie, j'ai calculé les moyennes fréquences des ondes dans les 7 premiers mois des 3 années d'observations avec le nombre des orages correspondants : voici ce que j'ai trouvé : 1910 1,79 et 25 orages — 1911 1,22 et 39 orages — 1912 0,77 et 38 orages.

Il est évident que la sensibilité du cohéreur Branly, employé à Tortosa, a graduellement fléchi au cours des 54 mois d'observations.

relevé des ondes sur les diagrammes de 2 en 2 h. mais seulement à l'estime, au jugé, et à l'échelle bien maigre de 0 à 4. Malgré cela, les moyennes que j'ai dû calculer (elles ne sont pas fournies dans le BULLETIN) sont bien intéressantes. Pour leur comparer les nôtres, j'ai ramené celles-ci aux-mêmes intervalles de 2 h.

On voudra bien remarquer que les deux séries comparées dans le tableau suivant ne correspondent pas aux mêmes années. C'est important à noter.

Moyennes comparées des variations des Ondes hertziennes

| INTERVALLES BI-HORAIRE ² | A JERSEY, MANCHE (de nov. 1911 à oct. 1913) | | | A TORTOSA, ESPAGNE (de janv. 1910 à juillet 1912) | | |
|--|--|------------|--------------|--|------------|--------------|
| | <i>Hiver</i> | <i>Été</i> | <i>Année</i> | <i>Hiver</i> | <i>Été</i> | <i>Année</i> |
| | min.-2 m. | 22,8 | 29,7 | 25,7 | 0,46 | 0,09 |
| 2-4 | 11,9 | — 8,0 | 1,9 | 0,41 | — 0,04 | 0,18 |
| 4-6 | 2,9 | — 42,3 | — 19,7 | 0,20 | — 0,44 | — 0,12 |
| 6-8 | — 15,5 | — 66,1 | — 35,8 | — 0,25 | — 0,56 | — 0,40 |
| 8-10 | — 26,6 | — 74,6 | — 50,7 | — 0,48 | — 0,45 | — 0,47 |
| 10-midi | — 28,3 | — 54,8 | — 41,6 | — 0,46 | — 0,18 | — 0,32 |
| midi-2 s. | — 21,1 | — 6,2 | — 7,5 | — 0,33 | 0,11 | — 0,11 |
| 2-4 | — 11,1 | 66,8 | 27,8 | — 0,31 | 0,38 | 0,04 |
| 4-6 | 1,3 | 61,5 | 31,3 | — 0,09 | 0,35 | 0,13 |
| 6-8 | 16,6 | 19,5 | 18,1 | 0,18 | 0,23 | 0,21 |
| 8-10 | 25,7 | 20,8 | 23,2 | 0,33 | 0,26 | 0,29 |
| 10-min. | 22,7 | 42,4 | 32,5 | 0,40 | 0,19 | 0,30 |
| moyennes des ondes | 59,6 | 154,2 | 106,8 | 1,38 | 1,24 | 1,31 |

De cette comparaison la seule conclusion qui s'impose n'est-ce pas la suivante : c'est bien le même phénomène qui a été observé à Jersey et à Tortosa, quoique avec des appareils différents, dans des années différentes, dans des conditions générales différentes.

Les deux stations sont séparées, du Nord au Sud, par 900 kilomètres, celle du Nord a le continent à l'Est et l'Océan à l'Ouest, celle du Sud a toute la largeur de la péninsule Ibérique (800 kilomètres) à l'Ouest et la Méditerranée à l'Est ; la première doit voir affluer les ondes orageuses parties du Nord de la France, de la Belgique, des Iles Britanniques et du Nord de l'Atlantique : la seconde les reçoit de l'Espagne, de la Méditerranée, du Maroc et de l'Algérie.

Malgré tant de causes réunies à la fois pour rendre discordants les résultats généraux de ces années d'observation, il y a parfaite similitude des variations les moins aptes, en apparence, à s'accorder dans de telles conditions, les variations diurnes d'un phénomène qu'on ne connaissait guère jusqu'ici que par une de ses faces, sa brusquerie, sa violence, son irrégularité.

Je pense donc être maintenant bien autorisé à parler d'un champ hertzien atmosphérique toujours existant, partout existant, et dont les manifestations accidentellement tapageuses se plient cependant encore elles-mêmes à suivre une même loi générale de variation imposée par les divers mouvements du Soleil par rapport à l'horizon et à l'équateur

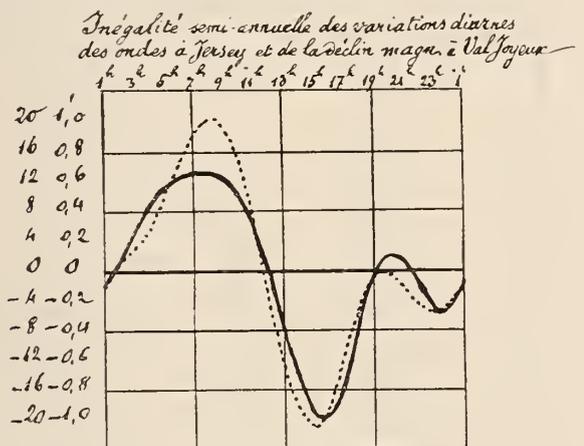
IV

CURIEUSE RELATION DU CHAMP HERTZIEN AVEC LE CHAMP MAGNÉTIQUE

Les variations diurnes du champ hertzien dans le cours de l'année sont assez particulières pour ne s'accorder avec aucun autre des phénomènes météorologiques ordinaires. Seul le champ magnétique terrestre aurait avec lui une connexion fort remarquable, quoique détournée, et, chose curieuse, cette connexion n'est

pas à chercher dans la force magnétique, mais dans la déclinaison de l'aiguille aimantée.

Cette connexion est détournée, non directe, puisque la variation diurne de la déclinaison magnétique ne change pas de forme dans l'année ; mais elle change d'amplitude et c'est cela qu'il faut considérer. Une même cause interviendrait qui renverserait ses effets, d'une saison à l'autre, à la fois sur les mouvements de



Ondes 1912 1913 ————
*Déclinaison 1902 1903
 L'inégalité dessinée ici est celle d'hiver. Celle d'été
 est la même mais renversée, ou changée de signes.*

l'aiguille aimantée et sur la propagation des ondes hertziennes atmosphériques.

A défaut d'observations magnétiques continues à Jersey, j'ai emprunté celles de Val Joyeux, succursale de l'Observatoire du Parc St-Maur, près Paris, publiées dans les ANNALES du Bureau Central de Paris. Nos deux années d'observation des ondes 1912 et 1913 étant des années de minimum des taches solaires, j'ai choisi pour la comparaison à faire avec la déclinaison deux années analogues, 1902 et 1903.

Avec toutes ces observations horaires j'ai préparé un tableau des variations horaires de la déclinaison pour les deux grandes saisons de l'année, semblable à

Une même Inégalité semi-annuelle

| HEURES | VAL JOYEUX (1901-1903) | | JERSEY (nov. 1911-oct. 1913) | |
|---------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------|--------------------------|
| | Déclinaison magnétique | | Champ hertzien | |
| | <i>Saison froide</i> | <i>Saison chaude</i> | <i>Saison froide</i> | <i>Saison chaude</i> |
| 1 m. | — 0,09 | | — 2,0 | |
| 2 | 0,04 | — | 1,7 | — |
| 3 | 0,16 | — | 5,0 | — |
| 4 | 0,29 | — | 8,3 | — |
| 5 | 0,46 | — | 11,3 | — |
| 6 | 0,69 | — | 12,4 | — |
| 7 | 0,90 | — | 12,7 | — |
| 8 | 1,01 | — | 12,8 | — |
| 9 | 0,96 | — | 12,0 | — |
| 10 | 0,71 | — | 10,1 | — |
| 11 | 0,31 | — | 6,6 | — |
| midi | — 0,18 | | 0,9 | — |
| 1 s. | — 0,63 | | — 6,8 | |
| 2 | — 0,94 | | — 14,8 | |
| 3 | — 1,04 | | — 19,5 | |
| 4 | — 0,89 | | — 19,6 | |
| 5 | — 0,59 | | — 15,1 | |
| 6 | — 0,27 | | — 7,2 | |
| 7 | — 0,06 | | — 0,7 | |
| 8 | — 0,02 | | 1,9 | — |
| 9 | — 0,11 | | 1,2 | — |
| 10 | — 0,23 | | — 2,3 | |
| 11 | — 0,28 | | — 5,0 | |
| min. | — 0,21 | | — 4,5 | |
| moyennes valeurs | 15° 10',31 | | 53,5 | |

l'un des trois de la page 103, au premier, qui regarde l'ensemble de toutes les ondes observées. Si, pour les deux phénomènes, on calcule l'inégalité saisonnière, on arrive aux deux séries indiquées à la page précédente avec leurs signes.

Quelle pourrait bien être la cause qui produit cette remarquable inégalité semi-annuelle des deux phénomènes ? Elle est certainement unique, car tout ici est absolument parallèle. Pourrait-on y voir une vérification inattendue des conclusions de Trouvelot et Nordman qui feraient résider la cause des perturbations magnétiques sur notre globe dans une émission par les taches solaires d'ondes hertziennes plutôt que de rayons cathodiques ?

Il y aurait encore plus à dire sur le même sujet, mais je ne veux qu'indiquer un autre point de ressemblance des deux champs en question. Si l'on calcule l'inégalité semi-annuelle de la variation horaire de la fréquence des déviations extraordinaires (au moins 3') de l'aiguille aimantée à l'est ou à l'ouest de sa position moyenne diurne, on est porté à conclure que les excursions à l'est, les plus fréquentes et les plus fortes aussi, ont lieu aux heures préférées par les ondes orageuses, et les excursions à l'ouest à celles des ondes calmes.

CONCLUSION

L'observation habituelle et continue des ondes hertziennes d'origine atmosphérique, ainsi qu'en témoigne assez, je pense, l'étude qui vient d'être faite de ce phénomène, pour la première fois, semble bien s'imposer aux météorologistes à l'égal de celle de tout autre phénomène de l'atmosphère.

Les résultats obtenus par nos deux années d'observations à Jersey, déjà contrôlés et corroborés par les

observations faites à Tortosa, demandent cependant à être confirmés plus pleinement par une semblable étude sur des documents analogues cherchés plus à l'intérieur du continent et sur d'autres venant de l'extérieur.

Malheureusement un gros obstacle au succès viendra de la sensibilité des appareils qui, en beaucoup de lieux, ne pourront pas distinguer les ondes d'origine atmosphérique des ondes artificiellement produites, dans leur voisinage, pour les besoins de la T. S. F. Pour le présent je me félicite de l'isolement, sous ce rapport, de notre petite station de Jersey ; j'en profiterai pour poursuivre nos observations si fructueusement commencées.

MARC DECIEVRENS, S. J.

LES ACTIONS CATALYTIQUES EN CHIMIE (1)

Dès le commencement du siècle dernier, on avait remarqué que certains corps, par leur seule présence, semblaient déterminer des réactions chimiques.

Dans son magistral traité de chimie, Berzélius rapprocha tous les phénomènes de ce genre, et les groupa sous le nom de phénomènes catalytiques.

J'exposerai ici, d'une façon sommaire, le développement de nos connaissances sur l'ensemble de ces phénomènes ; je dirai ensuite, en quelques mots, les diverses interprétations des actions catalytiques et ce que la chimie physique nous apprend à ce sujet. Je signalerai pour terminer quelques-unes des applications les plus importantes de la catalyse.

L'histoire des actions catalytiques est intimement liée à celle des transformations chimiques. Il semble à l'heure actuelle, qu'il soit impossible de concevoir une réaction dont la vitesse ne soit influencée par des substances, à première vue, étrangères et même les réactions d'ions qui sont les plus rapides subissent probablement des influences analogues.

Il n'est pas étonnant dès lors, que beaucoup de procédés techniques parmi les plus anciens aient été des applications d'actions catalytiques.

Faut-il rappeler à ce sujet la fermentation alcoolique et acétique, et même la préparation de l'éther sulfurique, déjà connue des Arabes ?

Il est évident que la notion d'accélération de vitesse

(1) Conférence faite à l'assemblée générale de la Société scientifique, le 23 avril 1914.

de réaction est plus moderne et était totalement inconnue des anciens.

Elle date cependant d'il y a longtemps. En 1811 en effet, Kirchoff constata que les acides minéraux provoquent à chaud, la transformation de l'amidon en dextrines et en sucre et ne subissent eux-mêmes de ce chef aucune modification ; quelques années après, de Saussure montre que la décomposition de l'amidon qui se fait lentement par l'eau est notablement accélérée par l'addition de certains corps.

A la fin du XVIII^e siècle déjà, Götting montrait que le phosphore ne devient plus lumineux dans une atmosphère d'oxygène pur préparé à l'aide de l'oxyde mercurique.

En 1817, Humphry Davy observe qu'une spirale de platine, légèrement chauffée, peut provoquer l'oxydation de certains gaz combustibles mélangés à l'air. Peu de temps après, Edmond Davy montrait que le noir de platine peut enflammer l'alcool dont on l'humecte et est capable de provoquer certaines oxydations, sans subir de modification visible. En 1831, Philips breveta l'emploi de la mousse de platine, pour réaliser l'oxydation de l'anhydride sulfureux au moyen de l'air.

Depuis, le nombre des phénomènes catalytiques s'est accru de plus en plus, par les progrès incessants de la chimie et les résultats obtenus, tant au point de vue scientifique qu'au point de vue industriel, ont été d'une fécondité remarquable. Parmi les travaux récents il faut principalement citer ceux de Sabatier et de Senderens, qui ont mené à la découverte de méthodes générales d'hydrogénation et de dédoublement moléculaires ; ceux de Senderens sur la déshydratation des alcools et l'obtention catalytique des cétones aux dépens des acides ; ceux de Ipatiew sur l'hydrogénation à haute température et sous forte pression en présence de Nickel divisé ou d'oxyde de Nickel ; ceux de Paal sur

l'hydrogénation en présence de métaux colloïdaux, ceux de Willstaetter sur l'hydrogénation en présence de noir de platine, en solution alcoolique ou éthérée.

Les théories de la catalyse sont très nombreuses. L'extrême diversité des réactions catalytiques fait prévoir qu'on doit éprouver de grandes difficultés à en donner une explication générale capable de s'adapter à tous les cas.

Laissant de côté les interprétations assez grossières du début, nous signalerons en particulier quelques théories plus récentes.

D'après Loew la décomposition catalytique de l'eau oxygénée au contact de noir de platine, serait due aux pointes et aux arêtes aiguës des molécules de platine. De même la combinaison plus aisée de l'hydrogène et de l'oxygène, en présence de ce métal, serait due à la décomposition des molécules en atomes, et la combinaison des éléments qui se trouvent à l'état naissant.

Cette conception est évidemment assez bizarre, car on se demande avec raison, ce qui préservera d'une action analogue les molécules d'eau formées.

Cette hypothèse contient cependant un élément de vérité, car il semble bien que le platine et les éléments de son groupe soient capables de provoquer la dissociation des molécules de plusieurs gaz. On pourrait ainsi considérer ces métaux comme des dissolvants de force dissociante considérable ; or, on sait que beaucoup d'actions catalytiques de l'eau sont ramenées à son énorme force dissociante.

Les dissociations moléculaires au contact de ces métaux, sont d'ailleurs établies sur une base expérimentale sérieuse.

On a quelquefois tâché d'expliquer les phénomènes catalytiques par des actions de condensation : le catalyseur agirait ainsi en augmentant les concentrations

des produits en réaction. On voit que l'hydrogène et l'oxygène se combinent déjà vers 150° en présence de charbon ; la température de réaction de ce mélange est également fortement abaissée par la présence de platine ; mais s'agit-il là d'un simple phénomène de condensation ? Ce n'est pas probable, car dans ce cas l'action du palladium devrait être plus prononcée que celle du platine. Il semble d'ailleurs, d'après les expériences de Bodenstein, qu'au contact du catalyseur la concentration d'un des gaz réagissants soit toujours voisine de zéro.

Il n'est pas douteux cependant que dans certaines actions catalytiques, les actions de condensation ne soient très notables et ne se superposent à l'action spécifique du catalyseur.

Raschig admet au contact du catalyseur une transformation de la molécule, qui la rend plus apte à entrer en réaction. Il ne s'agit pas, comme dans les anciennes conceptions de Hufner, de simples déformations physiques de la molécule, provoquées par d'inégales attractions atomiques ; l'idée fondamentale de Raschig est la transformation en une modification tautomère plus réactionnelle.

Cette conception n'est pas absolument nouvelle ; Arrhenius admet déjà en 1889, à la suite de ses recherches sur les vitesses d'inversion, que le sucre de canne est d'abord transformé en une modification plus active, de dédoublement plus aisé.

Il est de fait que par des transformations intramoléculaires, ou des tautomérisations, on obtient souvent des substances à propriétés réactionnelles bien plus marquées ; la chimie organique nous en offre de nombreux exemples.

Cette théorie peut être transportée dans le domaine de la chimie minérale : si une substance peut exister en solution sous une forme active et une forme inac-

tive, l'action du catalyseur se manifesterait en exerçant la transformation en modification active; ceci se constaterait notamment, par le passage de molécules neutres à l'état ionisé. Le catalyseur exercerait ainsi une action de masse indirecte, en augmentant la concentration du composant actif.

C'est à la catalyse de la saponification des éthers et de l'inversion du sucre, que cette théorie a d'abord été appliquée.

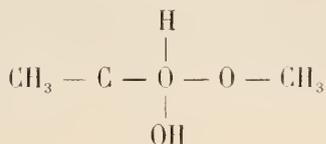
Euler développe de la façon suivante le cas de l'inversion du sucre : le saccharose comme le dextrose et le lévulose seraient des corps à fonction très faiblement acide, par conséquent présentant en solution un nombre, assez faible il est vrai, d'ions hydrogène : ceux-ci sont, comme on le sait, des agents catalytiques très puissants pour le phénomène d'inversion.

L'influence des sels neutres se manifesterait dans le renforcement de la fonction acide.

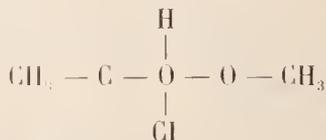
Ce qui rend cette interprétation plausible, c'est qu'il est établi que pour les acides faibles, des solutions salines concentrées sont des dissolvants de propriété dissociante très marquée. Ainsi, une solution saturée de chlorure de sodium est pour l'acide carbonique un dissolvant environ 100 fois plus dissociant que l'eau pure : l'acide carbonique acquiert, en solution de chlorure de sodium, des propriétés acides plus marquées que celles de l'acide acétique dans l'eau pure.

L'influence catalytique des acides sur la décomposition des éthers s'explique d'une façon tout à fait analogue.

L'éther pourrait, d'après Stieglitz, être considéré comme une base oxonienne peu dissociée :



qui sous l'influence des acides se transformerait en sel oxonien fortement dissocié :



et l'ion positif serait beaucoup plus réactionnel que la base libre : l'influence des acides se ferait sentir par l'augmentation du nombre d'ions libres actifs.

Cette théorie réunit d'une façon heureuse les éléments de plusieurs autres interprétations de la catalyse. On y trouve l'idée de l'augmentation de masse active des composants réactionnels, celle de la transformation en substance active sous l'influence du catalyseur, et enfin celle de la formation de corps intermédiaires.

La majeure partie des phénomènes catalytiques semble pouvoir s'interpréter par des réactions intermédiaires. Cette théorie est une des plus anciennes; on la retrouve formulée explicitement par Clément et Desormes, pour interpréter l'action des nitrates sur l'oxydation de l'acide sulfureux : on la retrouve pour interpréter la fabrication de l'acide sulfurique dans les chambres de plomb; la fabrication de l'éther sulfurique aux dépens d'alcool et d'acide sulfurique, etc., etc., ce qui faisait déjà dire à de la Rive, en 1840, que pour l'interprétation de ces phénomènes il n'est pas nécessaire de recourir à une force mystérieuse semblable à celle que Berzélius a admise sous le nom de force catalytique.

C'est à cette hypothèse également que s'arrêtent Sabatier et Senderens, pour l'interprétation des hydrogénations et des déshydrogénations par les métaux divisés.

M. Lapie, recteur de l'université de Toulouse, lors

d'une manifestation récente organisée en l'honneur de Sabatier, expose de la façon suivante les idées du grand chimiste toulousain :

« Puisque la présence du métal est nécessaire à la catalyse, ce métal ne saurait être un spectateur inerte, il doit jouer un rôle dans l'opération. Puisque le Nickel, par exemple, est indispensable à la combinaison de l'acétylène et de l'hydrogène, cette combinaison n'est pas simple; il faut supposer que le Nickel commence par attirer l'hydrogène, mais que l'hydrogène capricieux rompt bientôt avec le métal pour s'unir à l'acétylène. Les yeux n'aperçoivent sous la présence du métal passif, qu'une combinaison; l'esprit ne peut expliquer les faits que par deux mariages séparés par un divorce. »

La transformation catalytique des acides organiques en cétones sous l'influence de la thorine ou de la zircone est attribuée, par Senderens, à la formation de combinaisons temporaires de ces catalyseurs avec les acides, suivie de la destruction de ces combinaisons, d'où résultent la formation de la cétone et la régénération du catalyseur.

Ostwald critique la conception des réactions intermédiaires, parce qu'elle ne repose pas sur une connaissance suffisamment précise des transformations, et il ajoute qu'il faudrait encore prouver que l'action directe est moins rapide que la succession des échelons qui sont supposés utiles pour l'accomplir.

Cette théorie des réactions intermédiaires a le défaut de s'appuyer parfois sur les considérations des composés hypothétiques; dans de nombreux cas cependant, les produits intermédiaires ont été isolés et en dehors de cette théorie il est impossible, à l'heure actuelle, de donner aucune explication générale des actions catalytiques.

C'est un des grands mérites de Berzélius d'avoir reconnu dans plusieurs phénomènes, en apparence très différents, une cause commune. D'après sa conception, dans tous les phénomènes catalytiques, le corps ou le système de corps qui provoque la transformation, reste inaltéré et agit par une force propre qui n'est pas connue; Berzélius la désigne sous le nom de force catalytique. C'était pour lui un fait important que le catalyseur restait inaltéré, ou du moins ne subissait pas de transformation visible et à ce point de vue les idées du chimiste suédois ne s'écartent pas des idées modernes. Mais d'une part, Berzélius n'a pas tenu compte des rapports quantitatifs entre le catalyseur et les substances catalysées, quoiqu'il en fût déjà fait mention par Clément et Desormes, dans leurs travaux sur les réactions des chambres de plomb, et d'autre part, il croyait aussi que le catalyseur était capable de provoquer des réactions qui n'auraient pu se faire en son absence.

Or, s'il en était ainsi, ou bien le catalyseur devrait fournir au système une quantité d'énergie suffisante, pour amorcer la réaction et, dans ce cas, cette énergie serait fournie par une transformation du catalyseur; ou bien le processus en question pourrait s'effectuer de lui-même, mais une cause quelconque s'y opposerait et arrêterait momentanément sa marche normale. La première hypothèse ne se justifie guère, puisque le catalyseur se retrouve inaltéré après la transformation. Le catalyseur ne peut donc influencer l'affinité d'une réaction, ceci serait en opposition avec le second principe de thermodynamique.

De la seconde hypothèse découle comme conséquence immédiate, que la vitesse du phénomène catalysé doit être indépendante de la force qui aura détruit la résistance opposée à la réaction: une fois que l'on aura

ajouté une quantité suffisante du catalyseur, un excès n'aura plus d'action.

Or, l'expérience a montré des rapports quantitatifs bien déterminés entre la masse du catalyseur et celle des substances en réaction; la vitesse d'une réaction catalysée augmente avec la quantité du catalyseur et, dans la plupart des cas, presque proportionnellement.

Ceci a été prouvé notamment par Ostwald et ses élèves dans le cas de l'inversion du sucre et de la décomposition des éthers, et depuis, ce phénomène a été observé par divers expérimentateurs dans de nombreux cas.

On en revient ainsi aux idées émises par de Saussure et par Liebig, que les réactions catalysées sont aussi des réactions qui peuvent se produire sans le concours du catalyseur, mais avec une vitesse en général beaucoup moindre.

Ostwald a donc pu définir la catalyse, en disant que c'est l'accélération par la présence de substances étrangères, de réactions très lentes.

On peut admettre que le catalyseur diminue ou supprime le frottement ou la résistance chimique, qui ralentit la vitesse de l'exercice spontané des affinités. La présence d'une matière catalysante ne modifie donc pas, en général, la nature d'une réaction, sauf en ce qui concerne sa vitesse. Effectivement, on constate que dans les réactions limitées, l'introduction d'un catalyseur ne modifie pas la valeur de la limite de réaction, mais diminue simplement, dans des proportions plus ou moins notables, le temps nécessaire pour atteindre cette limite. Lemoine en a fait la constatation, pour l'acide iodhydrique, où la présence de mousse de platine permet d'atteindre immédiatement à 350°, l'état d'équilibre qui, en l'absence du catalyseur, n'est atteint qu'au bout de 250 à 300 heures.

Berthelot a fait la même observation pour l'éthérifi-

cation des alcools par l'acide acétique : en présence de traces d'acide minéral, l'équilibre est atteint à la température ordinaire, en quelques heures ; en l'absence du catalyseur, le même équilibre n'est atteint qu'au bout de plusieurs années.

Une conséquence de ce qui précède, est que dans les réactions limitées, la valeur de l'équilibre est indépendante de la nature du catalyseur.

C'est ce qu'on a vérifié, par exemple, dans la condensation de l'aldéhyde acétique en paralaldéhyde : quelle que soit la nature du catalyseur, on arrive toujours à la même proportion de manière transformée.

Le facteur important dans l'action catalytique est donc l'accélération de la vitesse de réaction.

On peut considérer la vitesse d'une réaction, comme le quotient de l'énergie chimique, par la résistance ou le frottement chimique.

Les vitesses d'une réaction peuvent se représenter par la formule générale $-\frac{dC}{dt} = KC^n$ où n désigne l'ordre de la réaction.

Parfois, certaines influences perturbatrices se font sentir ; il faut alors substituer à la formule précédente, la formule plus générale $-\frac{dC}{dt} = Kf(C)$. Cette expression intégrée entre deux limites t_1 et t_2 et les concentrations correspondantes donne :

$$F(C_1 - C_2) = K(t_2 - t_1).$$

Pour la même réaction catalysée, la constante de vitesse devient K' et on a

$$F(C'_1 - C'_2) = K'(t'_2 - t'_1).$$

Si pour la réaction catalysée et non catalysée, on opère la même transformation de façon que :

$$C'_1 - C'_2 = C_1 - C_2$$

on aura

$$\frac{K}{K'} = \frac{t'_1 - t'_2}{t_1 - t_2}$$

L'accélération de la vitesse de réaction sous l'influence du catalyseur sera donnée par la différence :

$$\alpha = K' - K = \frac{1}{t'_2 - t'_1} - \frac{1}{t_2 - t_1}$$

Si K est négligeable, comme c'est le cas dans de nombreux phénomènes catalytiques, on a :

$$\alpha = K' = \frac{1}{t'_2 - t'_1}$$

D'après la définition de la catalyse, la résistance chimique est le seul facteur qui puisse être modifié par les agents catalytiques : et dès lors, si la résistance chimique est diminuée, on aura une catalyse positive ; si la résistance est augmentée, on aura une catalyse négative.

Ostwald fait à ce sujet une comparaison très ingénieuse : le catalyseur d'une réaction est comparable à l'agent lubrifiant d'une machine ; sans huile la machine ne tourne que très lentement, les résistances de frottement sont considérables : si on les diminue par le graissage, la vitesse de rotation augmente sensiblement, sans que l'on ait modifié la force de la machine. L'augmentation de vitesse résultant du graissage est comparable à une catalyse positive. Au lieu d'huile, mettons du sable dans les engrenages et les paliers de la machine ; sans modifier sa force on diminue notablement sa vitesse, et ceci est comparable à une catalyse négative.

Supposons maintenant une machine qui, à sa mise en marche, ne soit guère lubrifiée, mais qui possède un

système automatique de graissage : sa vitesse, faible à l'origine, augmentera peu à peu sans aucune intervention étrangère. La chimie nous offre des exemples analogues : il existe des réactions dont la marche entraîne une variation positive ou négative de la masse du catalyseur, et évidemment de ce chef il y a augmentation ou diminution de vitesse de réaction durant la transformation ; ce sont des réactions autocatalytiques que l'on pourra diviser en deux classes, suivant que c'est le produit initial ou final qui est l'agent catalytique. Un exemple très instructif de ce genre de catalyse nous est donné dans la formation ou la décomposition des lactones. Un autre exemple est donné par la combinaison de l'oxygène et de l'hydrogène : lorsque ces deux gaz sont parfaitement secs, elle ne s'effectue pas encore à 1000° ; mais si elle a commencé, elle donne lieu à une formation de vapeur d'eau, dont la présence favorise beaucoup la réaction et la rend excessivement rapide et explosive.

Peu après la découverte des catalyseurs, on constata que certaines substances exercent, par leur présence dans un système chimique, une action défavorable ou retardatrice, et les premières observations, dans ce sens, furent précisément faites par ceux qui avaient reconnu les premières actions catalytiques.

Ces substances, dont l'influence accroît le frottement chimique au lieu de le diminuer et peut parfois paralyser complètement le jeu normal des affinités, ont reçu le nom de catalyseurs négatifs.

L'action des catalyseurs négatifs peut être fort différente ; d'une façon générale ils mettent hors d'action le catalyseur positif. A ce point de vue on peut les ramener à quelques types principaux ; ou bien ils produisent une décomposition complète du catalyseur, ou bien ils donnent lieu à la formation permanente ou passagère

d'une combinaison stable ou labile avec le catalyseur ; enfin, la mise hors d'action du catalyseur positif peut encore résulter d'actions purement physiques.

Déjà en 1824, Turner avait reconnu que des traces de diverses substances suppriment l'activité catalytique du platine divisé : il indiquait comme telles, le sulfure d'ammonium, le sulfure de carbone, l'acide sulfhydrique.

Dans la fabrication de l'acide sulfurique par le procédé de contact, la présence dans les gaz, de vapeurs de mercure, de phosphore, mais surtout d'arsenic, suffit pour faire disparaître rapidement l'activité catalytique de l'amiante platinée.

Dans l'emploi du Nickel divisé comme catalyseur d'hydrogénation, des traces de chlore, de brome, d'iode et de produits sulfurés, suffisent pour empêcher la réaction et constituent un véritable poison pour le ferment minéral qu'est le Nickel.

La combinaison du catalyseur positif avec le négatif peut être directe. Ce fait se produit pour les catalyseurs ions, lorsque ceux-ci passent à l'état de complexe ; ou bien la combinaison est indirecte, en ce sens que le catalyseur négatif provoque la combinaison du catalyseur positif avec un autre corps : ceci peut de nouveau être le cas pour un catalyseur ion : par l'addition d'un électrolyte à un ion commun, la concentration de l'ion catalyseur peut être suffisamment diminuée pour que son activité catalytique disparaisse totalement.

D'autres catalyseurs négatifs semblent agir en stabilisant un système chimique et en rendant leur transformation plus difficile : ces catalyseurs ont été moins étudiés ; on en connaît cependant de nombreux exemples.

Dans les systèmes autocatalytiques, les matières qui pourront fournir des combinaisons stables avec les catalyseurs engendrés par la réaction, empêcheront

leur effet et seront par conséquent des stabilisateurs ou catalyseurs négatifs. Ainsi par exemple, vis-à-vis des poudres à base de dérivés nitrés organiques, toutes les substances, capables de fixer ou de décomposer les produits acides résultant de la dénitrification spontanée, sont des stabilisateurs.

La définition donnée par Ostwald de la catalyse conduit à considérer, comme catalyseurs, une infinité de substances. Les dissolvants sont des catalyseurs, lorsqu'ils n'interviennent pas dans la réaction qu'ils permettent d'effectuer. La nature du dissolvant a d'ailleurs une influence parfois très marquée sur les vitesses de réaction.

En pratique, la dénomination de catalyseur n'est appliquée qu'aux substances dont une petite quantité suffit à provoquer la réaction de quantités considérables de substances. Jusqu'ici nous n'avons considéré que l'action accélérante ou retardatrice due à un seul catalyseur.

On a observé également des variations de vitesse de réaction, provoquées par la présence simultanée de plusieurs catalyseurs, soit positifs, soit négatifs.

On aurait pu s'attendre, par analogie avec d'autres réactions, à ce que l'influence de chaque catalyseur se fit sentir comme s'il était seul ; l'accélération totale de la réaction se composerait alors, additivement, des accélérations positives ou négatives des deux catalyseurs, et en fait, ceci a été trouvé par Brode dans l'action de l'eau oxygénée sur l'acide iodhydrique, en présence de sels ferreux et d'acide molybdique comme catalyseurs.

Mais cette addition des actions catalytiques n'est cependant pas la règle dans la majeure partie des cas. En général, on a trouvé des relations beaucoup plus compliquées, résultant souvent de l'action mutuelle des deux catalyseurs.

Les catalyseurs, en effet, ont les propriétés d'activer mutuellement leur action, soit directement, soit indirectement : directement, en ce sens qu'un des catalyseurs modifie dans d'énormes proportions l'action de l'autre; indirectement, en ce sens que l'un modifie les produits de la réaction, pour que ceux-ci subissent plus facilement l'action de l'autre catalyseur.

La propriété d'activation manque souvent à des catalyseurs énergiques, alors que des substances qui, par elles-mêmes, ne modifient que faiblement la vitesse d'une réaction, jouissent de la propriété d'augmenter, dans des proportions énormes, l'activité catalytique d'autres substances.

Les applications techniques et scientifiques de la catalyse sont de la plus haute importance.

De nombreuses industries sont basées sur les actions catalytiques. Faut-il rappeler le procédé Deacon, pour la préparation du chlore, la méthode des chambres de plomb, pour la préparation de l'acide sulfurique et la méthode du contact, la fabrication de l'éther sulfurique et les nombreuses industries de fermentation où interviennent des zymases bactérielles ? Tous ces procédés sont trop connus, il est inutile d'y insister. Mais je voudrais signaler le brevet Sabatier pour la fabrication du gaz d'éclairage. Le célèbre professeur de Toulouse a montré, que la production du méthane par hydrogénation directe sur le nickel, de l'oxyde de carbone et de l'anhydride carbonique, peut être utilisée pour la préparation industrielle d'un gaz riche en méthane.

Le gaz à l'eau préparé à la température du rouge cerise a la composition



En éliminant l'anhydride carbonique, par une méthode d'absorption quelconque, il reste un mélange de

$\text{CO} + 3\text{H}_2$ qui, passant sur du Nickel vers 230-250°, fournit du méthane pur.

Espérons que, dans un avenir prochain, le gaz méthane chassera des usines et des habitations, le trop délétère gaz de houille et le gaz à l'eau plus délétère encore.

Je m'en voudrais de passer sous silence un des points importants de l'œuvre de Sabatier et Senderens : en hydrogénant l'acétylène, ils ont obtenu un composé qui possède les propriétés du pétrole. En faisant varier les conditions de l'expérience, ils ont obtenu non pas un pétrole de laboratoire, mais toute la série des pétroles naturels : pétrole d'Amérique, pétrole du Caucase, pétrole de Roumanie, pétrole de Galicie.

Non seulement ce travail a un intérêt scientifique considérable, puisqu'il nous révèle la genèse probable des pétroles, mais encore il nous permet d'espérer que nous ne manquerons jamais de ces produits précieux.

Parmi les applications scientifiques de la catalyse, il faut citer encore celles qui résultent des travaux de l'école Toulousaine.

Les différentes méthodes d'hydrogénation et de dédoublement des procédés Sabatier et Senderens sont d'une fécondité remarquable. Avec les métaux divisés ils ont obtenu des hydrogénations et des déshydrogénations qui, par les méthodes ordinaires, ne s'effectuaient qu'avec des difficultés souvent considérables et des rendements dérisoires.

Avec des oxydes, tels que la silice et l'alumine, et des sels minéraux, tels que le silicate d'alumine, Senderens a réalisé avec facilité la déshydratation d'un grand nombre d'alcools; avec des oxydes il a réalisé le dédoublement moléculaire des acides organiques et il a fourni une méthode précieuse pour la préparation des cétones grasses et aromatiques.

Il n'est pas douteux que ces procédés, qui ont déjà

donné lieu à des applications nombreuses, ne rendent encore à l'industrie des services considérables, car ils permettent l'obtention de tous ces corps avec des rendements surprenants. Or, les faits nous ont appris que des produits auxquels ne semblait dévolue, à première vue, aucune industrialisation, sont devenus l'objet de fabrications importantes, à raison de la facilité avec laquelle on a réussi à les obtenir : je me contente de citer l'acide salicylique de Kolbe et l'anhydride ortho-sulfamine-benzoïque ou saccharine d'Ira Remsen.

P. BRUYLANTS.

LES PARATONNERRES

A L'ASSOCIATION ÉLECTROTECHNIQUE ALLEMANDE (1)

Nulle part, sans doute, autant qu'en Allemagne, on ne s'est préoccupé, dans ces derniers temps, de la question des paratonnerres. Nulle part on n'a poussé cette étude avec plus de compétence, plus de persévérance, avec un sens plus aiguisé des réalisations pratiques.

Chaque année, la foudre tue des hommes et cause des dégâts qui, pour l'Allemagne seule, s'élève à un nombre considérable de millions. C'est un terrible fléau dont il importe de limiter le plus possible les ravages. Depuis plus d'un siècle et demi, Franklin nous a mis entre les mains une arme, le paratonnerre, dont l'efficacité est incontestable, encore que des *détails* de sa construction puissent être sujets à discussion. Il serait grandement à souhaiter pour le bien de l'humanité, que ces appareils protecteurs fussent multipliés à profusion et même universellement répandus.

Malheureusement, telle qu'elle est souvent préconisée par les praticiens ou même encore par des autorités scientifiques insuffisamment informées, la construction des paratonnerres entraîne des frais considérables, tels qu'il faudrait renoncer à espérer une très grande diffusion de ces moyens préservatifs. En effet, chacun en

(1) Prof. Dipl. Ing. S. Ruppel-Frankfurt a. M. *Gebäudeblitzschutz*, dans E. T. Z. 1913. Heft. 23. S. S. 643-647.

particulier est, communément, assez tenté de considérer comme très éloigné le danger que court son habitation d'être frappée par le tonnerre. Et si, pour la protéger, on vient vous conseiller un appareillage d'une installation compliquée, comportant des tiges difficiles à fixer, des pointes de platine très coûteuses — d'un prix presque inabordable aujourd'hui — volontiers on remet la chose à plus tard, si on n'en abandonne pas tout simplement le projet.

Mais ces organes sont-ils bien indispensables, cette complication est-elle si rigoureusement requise pour assurer une sérieuse protection contre le tonnerre ? Les arguments apportés par leurs partisans sont-ils certains, indiscutables ?

A bien des reprises déjà, tout cela a été révoqué en doute. Le problème vaut d'être repris à nouveau : Étudions-le donc, non pas sur la foi de théories plus ou moins légitimement appliquées, ni même à la seule lumière d'expériences de laboratoire exécutées à une échelle forcément microscopique au regard des puissances formidables en jeu dans les orages. Recourons avant tout à l'observation des faits que nous présente la nature. Sans avoir tout le développement désirable, les rapports des sociétés d'assurances contre l'incendie et le tonnerre nous fournissent déjà une ample collection d'accidents suffisamment détaillés pour guider nos recherches et nous livrer d'utiles leçons.

Tel fut, en somme, le raisonnement des savants d'Outre-Rhin. La très active Association électrotechnique allemande (« Verband Deutscher Elektrotechniker » ou encore « Elektrotechnischer Verein », en abrégé E. T. V.) fut saisie de la question, et nomma, en 1885, une sous-commission chargée de son étude. L'année suivante, l'E. T. V. publiait, sous le titre de « Die Blitzgefahr » (= le danger des coups de foudre)

une première brochure où, d'après l'expérience acquise à cette époque, des conseils étaient donnés sur la manière d'établir les paratonnerres sur les bâtiments. Une deuxième brochure suivit en 1891 ; elle traitait du raccordement des paratonnerres aux canalisations de gaz et d'eau.

En vue d'atteindre un public plus étendu, l'E. T. V. rédigea, en 1901, des règles très simples pour la construction des paratonnerres et intitulées : **Leitsätze des Elektrotechnischen Vereins über den Schutz der Gebäude gegen den Blitz.**

Cette publication définit, avec toute l'autorité de la célèbre Association, comment on peut concevoir le paratonnerre ; elle dit clairement le détail de son installation ; et la chose apparaît si simple et si peu coûteuse qu'aucune excuse ne peut s'opposer à son adoption partout et jusque sur les constructions les plus humbles.

L'intérêt que porte l'E. T. V. à cette importante question n'a pas langui après ce vigoureux effort. Périodiquement, elle y consacre des études dont depuis des années le Professeur S. Ruppel de Francfort sur le Main s'est fait une spécialité. Le Professeur Ruppel est devenu, en Allemagne, le grand propagandiste des paratonnerres simplifiés.

Les débuts si orageux de la présente saison nous invitent à attirer l'attention de nos lecteurs sur le rapport qu'il a présenté à la session de l'E. T. V. à Breslau, l'an passé. Nous rattacherons notre analyse à un exposé des *Leitsätze* de l'E. T. V., exposé qui s'inspirera lui-même avant tout des commentaires qu'en a écrits le même auteur (1). Ces règles sont assez peu connues dans nos pays de langue française. Leur diffusion contribuera certainement à détruire de fâcheux préjugés.

(1) Le même, VEREINFACHTE BLITZABLEITER. Berlin, Springer, 2^e éd., 1912.

Nous estimons faire œuvre grandement utile en les donnant ici.

Au préalable, afin de préciser quelques données du problème, soulignons avec le Professeur Ruppel (Rapport de 1913) d'importantes leçons des statistiques allemandes.

Elles montrent que les paratonnerres sont plus répandus dans les villes qu'à la campagne — et pourtant c'est à la campagne que le danger est le plus grand. L'ensemble des dommages causés par la foudre, en Allemagne, au cours de ces dernières années, s'élève à environ 12 millions de marks ; la part des campagnes dans ce total est de 11,4 millions, soit 95 %.

On peut utilement introduire ici une nouvelle précision.

La presque totalité des dommages causés par les coups de foudre est due aux incendies qu'ils allument. Ainsi, en Prusse, de 1885 à 1909, les coups de foudre incendiaires ont causé un dommage de 128,7 millions de marks sur un total de 131,3 millions, soit 98 %. Or, en somme, le danger d'incendie n'est grand que là où se rencontrent des matières facilement inflammables telles que la paille et le foin. Le Professeur Ruppel a montré, en 1912, que précisément ces matières, paille et foin, ont été, dans 80 % des cas, la cause de l'incendie.

D'autre part, des nombreuses observations relatées dans les rapports des sociétés d'assurance se dégage clairement le fait que des pièces métalliques peu nombreuses, même non connectées entre elles, ont exercé une action protectrice. Comme, généralement, dans les installations rurales, on ne trouve à l'intérieur aucune masse métallique importante, un appareillage des plus simples suffirait, nous le verrons, à leur assurer une protection écartant tout dommage notable.

Voici maintenant, avec quelques remarques à l'appui, le texte des *Leitsätze* annoncé ci-dessus. Évidemment nous ne pouvons pas ici entrer dans les détails techniques de l'exécution des paratonnerres. Le lecteur les trouvera tout au long dans la brochure du Professeur Ruppel : VEREINFACHTE BLITZABLEITER, déjà mentionnée.

RÈGLES RELATIVES A LA PROTECTION DES BATIMENTS
CONTRE LA FOUDRE
ÉTABLIES PAR L'ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

Utilité des paratonnerres. — « I. Le paratonnerre protège les bâtiments et leur contenu contre les dégâts et contre l'incendie causés par la foudre. Il y a lieu de s'efforcer de répandre de plus en plus son emploi par la simplification de sa construction et la réduction de ses frais d'établissement. »

Les divers systèmes de paratonnerres se ramènent, en somme, à deux : celui de Gay-Lussac et celui de notre compatriote Melsens (Louvain).

Le système de Gay-Lussac est le paratonnerre à tige de Franklin perfectionné. Gay-Lussac en a décrit en détail la construction dans son rapport agréé par l'Institut de France en 1823 (1).

Melsens a étudié son système en vue de la protection de l'Hôtel-de-Ville de Bruxelles (1863). Écartant le dogme de la zone de protection, le professeur de physique à l'École vétérinaire de Cureghem-Bruxelles, s'est avant tout basé sur le principe de la cage de Faraday qu'il a été le premier à appliquer à la protection des édifices contre la foudre. Ainsi que Faraday l'a montré, les plus fortes décharges électriques que nous

(1) INSTRUCTION SUR LES PARATONNERRES adoptée par l'Académie des Sciences, 1904. Paris, Gauthier-Villars. Pp. 19-70.

sachions produire ne réussissent point à pénétrer dans une cage métallique, ni même à y faire sentir leur influence sur les appareils très délicats qu'on peut y renfermer. Melsens entoure donc le bâtiment à préserver d'une véritable cage, d'un réseau en fils de fer de 4 à 5 mm. de diamètre — à mailles d'ailleurs fort larges — dont il réunit soigneusement à la terre, les conducteurs de descente de chacune des faces. Pour la mise à la terre, il se raccorde volontiers aux canalisations de gaz et d'eau. Tous les sommets de cette cage sont en outre armés d'aigrettes à pointes multiples. A la condition que ces aigrettes soient fort nombreuses, Melsens leur attribue une importance considérable, sans doute, mais secondaire au regard de la protection assurée par la cage soigneusement mise à la terre.

L'œuvre de Melsens a été continuée par plusieurs physiciens, parmi lesquels il faut citer en première ligne Findeisen (Stuttgart, 1897). Ici les aigrettes sont abandonnées, mais le principe de la cage mise à la terre, principe inattaquable aussi bien en fait qu'en théorie, subsiste toujours. Pareille cage met le bâtiment presque certainement à l'abri de tout dommage par la foudre. C'est le paratonnerre idéal. Findeisen s'efforce de réaliser la cage en utilisant au mieux les parties métalliques entrant dans la construction, ce qui simplifie notablement le problème et en rend la solution pratique beaucoup moins coûteuse.

C'est précisément dans ce même ordre d'idées qu'ont été dirigés les travaux de l'E. T. V., c'est ce même esprit qui a dicté ses *Leitsätze*.

Parties essentielles du paratonnerre. — « II. Le paratonnerre comporte :

- » 1. les dispositifs « capteurs » (Auffangevorrichtungen);
- » 2. les conducteurs de descente, et
- » 3. les prises de terre.

» 1. Les *dispositifs capteurs* sont des pièces métalliques qui occupent les parties élevées du bâtiment. Elles peuvent être d'une forme quelconque : blocs massifs, feuilles, barres ou câbles, etc... L'expérience a démontré que la foudre se jette de préférence sur les pointes des tours ou des pignons, les faites des toits, les têtes de hautes cheminées ou autres parties du bâtiment spécialement en saillie au-dessus des objets environnants. Le mieux est de construire ces parties en métal ou de les garnir de métal de façon à les faire servir de dispositifs capteurs. »

Ainsi donc il n'est plus question de tiges plus ou moins hautes, ni de pointes de quelque nature que ce soit.

Ces pointes doivent leur vogue aussi persistante qu'injustifiée à une propriété très réelle, mais dont l'importance est insignifiante dans le fonctionnement des paratonnerres.

Certes, là où il existe des différences de potentiel suffisantes, le classique « pouvoir des pointes » produit un écoulement d'électricité tendant à neutraliser les régions voisines. Sous l'influence d'un nuage orageux, la pointe du paratonnerre des modèles courants donnera de l'électricité et d'autant plus qu'elle sera plus aiguë. Dans l'obscurité, cette décharge pourra même parfois se montrer lumineuse. La quantité en jeu n'en reste pas moins relativement minime et l'effet *préventif* qu'on se plaisait à attribuer à la pointe est illusoire et pratiquement nul.

Dans les débuts, beaucoup de physiciens avaient voué aux pointes acérées ce culte dont, aujourd'hui encore, nous retrouvons trop souvent des restes vivaces et c'était pour assurer la persistance de la finesse des pointes qu'ils exigeaient — que beaucoup exigent encore aujourd'hui — des bouts de tiges en matières inoxydables et très difficilement fusibles comme le platine.

Tous, néanmoins, étaient loin de partager cette superstition. Par exemple, Le Roy, membre de l'Institut, dans son rapport de 1799, souscrivait à l'opinion du Général Aboville qui soutenait, avec preuves à l'appui, que « quoique les pointes soient émoussées, elles ne cessent pas pour cela d'attirer la foudre des nuages et à la déterminer à se jeter sur elle de préférence aux autres objets qui les environnent » (INSTRUCTION etc., p. 11). Gay-Lussac, de son côté, croit à l'avantage marqué des pointes aiguës sur les tours arrondies à leur extrémité. « Cependant, ajoute-t-il, lorsque la pointe d'un paratonnerre aura été émoussée, par la foudre ou par une cause quelconque, il ne faudra pas croire... qu'elle ait aussi perdu son efficacité pour protéger le bâtiment qu'elle est destinée à défendre » (Rapport de 1823, INSTRUCTION etc., p. 69). Pouillet est plus affirmatif encore. « Lorsque, dit-il, un paratonnerre a perdu sa pointe aiguë et que son sommet n'est plus qu'un large bouton de fusion d'or ou de platine, on doit se demander s'il est ou s'il n'est pas hors de service.

« A cette question nous répondons : non, le paratonnerre n'est pas hors de service, pourvu qu'il continue d'ailleurs à remplir les deux conditions essentielles, savoir :

» 1^o Que le conducteur soit sans lacunes ;

» 2^o Que par son extrémité inférieure il communique largement avec la nappe souterraine. » (Rapport de 1867, INSTRUCTION etc., p. 123).

L'Académie des Sciences de Berlin se prononçait dans le même sens par la voix de Helmholtz, Kirchhoff et Siemens : « Nous ne pouvons, écrivent-ils, adopter l'opinion des anciens physiciens sur le pouvoir des pointes. Ce pouvoir est relativement insignifiant. » Et les illustres savants ajoutent cette importante remarque malheureusement trop oubliée : « Nous

crojons devoir insister sur cette question. En effet, les pointes de platine sont d'un prix élevé ; ensuite, d'après la théorie du cône de protection, ces pointes doivent être portées par de hautes tiges, lesquelles, pour être fixées solidement, exigent un travail dispendieux. Autant de considérations qui font obstacle à l'adoption générale des paratonnerres. »

La dernière citation nous amène à la question des tiges et de leur sphère d'action. Arago la posait dans ces termes : « Dans quelle étendue un paratonnerre bien construit exerce-t-il avec efficacité son action préservatrice ? A quelle distance de la tige, *mesurée dans le sens horizontal*, peut-on avoir la presque certitude de n'être point foudroyé ? » Utilisant les relations précises de coups de foudre qu'il possédait, il arrivait à cette conclusion : « On est autorisé par l'ensemble de tous ces faits, à porter l'amplitude de l'action préservatrice des paratonnerres implantés sur les parties culminantes des édifices, *au double de la hauteur des tiges au-dessus de leurs points d'attache*. » (*Notice sur le tonnerre* dans l'ANNUAIRE DU BUREAU DES LONGITUDES POUR L'AN 1838, pp. 570-577.)

Cette règle que répètent encore bon nombre de manuels de physique, l'expérience a montré qu'elle n'est pas exacte. A mesure que l'observation des coups de foudre se faisait plus attentive, la zone de protection dut être restreinte de plus en plus. Preece montra qu'il fallait la définir de telle sorte que, sur un bâtiment de 40 mètres de hauteur, il eût été nécessaire d'établir tous les 5 mètres une tige haute de 10 m. ! Inutile d'insister.

Aussi voyons-nous le rapport du Comité anglais des *Recherches sur la Foudre* (Lightning Research Committee) déclarer, en 1905, qu'il n'apparaît pas que la théorie de la zone de protection ait une valeur pra-

tique. Dès 1888, Sir O. Lodge, une des autorités les plus reconnues en ces matières, la qualifiait d'illusoire.

Du passage d'Arago, cité plus haut relativement à la zone de protection, on conclurait à tort que ce savant considérât ces tiges comme *essentiell*es à l'efficacité d'un paratonnerre. Pour lui les tiges à pointes aiguës sont très avantageuses mais non point indispensables. Son opinion à ce sujet est très nettement formulée dans le passage suivant de sa notice, que nous croyons intéressant de citer en entier : « Toutes choses égales, la foudre, en général, se dirige de préférence sur les parties les plus élevées des édifices. Ainsi, c'est dans ces parties que les moyens préservatifs, quels qu'ils soient, doivent être établis.

« Toutes choses égales, la foudre se porte de préférence sur les métaux. Lorsqu'une masse de métal occupera le point culminant d'une maison, on sera donc à peu près certain que la foudre, si elle tombe, ira la frapper.

« La foudre qui a pénétré dans une masse métallique, ne produit de dégâts qu'au moment de sa sortie et aux points par lesquels cette sortie s'opère. Une maison sera donc garantie, du faite aux fondations, si les pièces métalliques du toit se prolongent *sans solution de continuité* jusqu'à terre.

« La terre *humide* offre à la matière fulminante, dont une barre métallique s'est imprégnée, un écoulement qui s'opère sans effort, sans détonation, sans dégât d'aucune sorte, lorsque cette barre plonge un peu profondément dans la terre. En enfonçant jusqu'au sol *toujours humide*, la barre continue qui avait déjà préservé de tout dégât la portion extérieure d'un édifice, on préservera de même les fondations ou, en général, l'ensemble des parties souterraines de la bâtisse.

« Quand il y a sur le toit, sur le faite d'un édifice,

plusieurs masses métalliques distinctes, complètement séparées les unes des autres, il est difficile et même impossible de dire laquelle de ces masses sera foudroyée de préférence, car le point de départ des nuées orageuses, le sens et la vitesse de leur propagation, ne doivent pas, à beaucoup près, être sans influence. Le seul moyen de sortir d'embarras est d'unir toutes ces masses entre elles par des tringles de fer, de cuivre, ou par des bandes de plomb, de zinc, etc., de manière qu'on ne puisse dire d'aucune d'elles qu'elle ne communique point *métalliquement*, si l'expression m'est permise, avec la barre destinée à transmettre la foudre au sol humide et qui descend le long d'un des murs verticaux de l'édifice.

« Nous voilà arrivés, par la seule observation, sans rien emprunter à la théorie, à un moyen simple, uniforme et rationnel de garantir les bâtiments, grands et petits, des effets de la foudre.

« A quelles distances, des *plaques de métal* distribuées sur le toit d'une maison, doivent-elles être les unes des autres, pour qu'il y ait certitude qu'aucun point intermédiaire ne sera directement foudroyé? Cette question ne saurait recevoir une solution absolue. Il est clair, en effet, que plus ce métal aura de masse ou de surface, et plus sa sphère d'action sera étendue et intense. On peut affirmer, seulement, que si on établit les communications voulues, entre les lames de plomb, de zinc, etc., qui dans les bâtiments construits avec quelque soin reconvrent presque toujours les arêtières; entre les tuyaux métalliques des cheminées; entre les mains courantes et les crampons destinés aux couvreurs; entre les gouttières et les tuyaux de décharge des eaux; que si l'ensemble des pièces se lie, en outre, avec un *conducteur conrenable*, on aura fait tout ce que la prudence la plus timide pouvait commander pour se garantir de la foudre.

« Par *conducteur convenable*, j'entends, d'une part, celui qui s'enfonce dans le sol jusqu'au terrain humide, et de l'autre un conducteur assez massif pour transmettre les plus violents coups de foudre sans se fondre. » (*Notice citée*, pp. 550-552).

Un seul conducteur de descente, une seule terre, certes c'est se montrer parcimonieux — mais, pour le reste, voilà une description qui se rapproche singulièrement de celle du paratonnerre moderne. Et, comme nous l'annoncions, il n'y est question ni de tiges ni de pointes.

Pouillet à son tour n'était pas éloigné de croire à l'efficacité d'un paratonnerre sans tiges (*INSTRUCTION*, etc., p. 149).

Aujourd'hui l'opinion est faite à cet égard : hautes ou basses, les tiges sont inutiles.

Pour conclure : d'après ce qui précède, le pouvoir des pointes étant pratiquement nul et la zone de protection n'existant pas, tiges et aigrettes doivent être considérées comme un luxe sans raison — et d'ailleurs souvent antiesthétique.

Nous sommes communément si habitués à nous représenter la tige de Franklin ou tout au moins les aigrettes de Melsens comme partie essentielle de tout paratonnerre qu'on ne peut trop insister sur leur non nécessité, pour ne pas dire leur inutilité. C'est la raison pour laquelle nous nous sommes attardés sur cette question. Un grand progrès sera réalisé quand on aura réussi à débarrasser la conception du paratonnerre de ce gros *impedimentum*.

II (*suite*). « 2. *Les conducteurs de descente* établissent une connexion métallique continue entre les capteurs et les prises de terre. Ils doivent, aussi complètement que faire se peut, envelopper la construction de tous les côtés et notamment le toit et depuis les capteurs con-

duire aux prises de terre par les chemins praticables les plus courts, mais en évitant, le plus possible, de se courber en angles aigus. »

Voilà, clairement énoncé, le principe fondamental du paratonnerre de Melsens : la cage mise à la terre. Nous n'avons pas à y revenir.

Mais remarquons la recommandation finale : éviter les angles aigus.

Sait-on que, guidé par la seule étude attentive des relations de coups de foudre, Arago indiquait déjà cette précaution ? « Jusqu'ici, dit-il, les physiciens ne paraissent pas avoir attaché aucune importance à la *forme* des inflexions qu'on est obligé de faire subir au conducteur, pour l'amener du comble parallèlement auquel il est descendu, vers le mur vertical de l'édifice. Au bord même du larmier du toit, au bord des corniches, la barre conductrice est pliée de telle manière qu'au lieu de se trouver sur une même droite, la partie du comble et celle qui va rejoindre le mur, font entre elles un angle de 90° et même quelquefois un angle aigu. » Or on connaît des coups de foudre où l'on vit « la foudre suivre régulièrement un conducteur, l'abandonner ensuite dans le point où la barre était ployée de telle sorte que ses parties formaient un angle aigu, pour aller, à travers l'air, frapper des objets situés sur le prolongement du premier côté de l'angle. » (*Notice* citée, p. 594). — On sait à l'heure actuelle que l'objet frappé n'est pas nécessairement situé sur le prolongement du premier côté de l'angle, mais, à part ce détail, on voit que nous avons affaire à une *décharge latérale*.

En pareil cas, nos praticiens ont au sujet de l'insuffisance du paratonnerre une explication toute prête : il *devait y avoir* un mauvais contact dans le paratonnerre, proclament-ils, ou bien une mauvaise terre. Échappa-

toire facile ! Comme si une décharge à haut potentiel, telle la foudre, refusait de suivre un conducteur pour un défaut de contact ou même une brisure nette ! Comme si, d'autre part, on pouvait admettre « que l'électricité quitte à un certain point un bon conducteur, *parce qu'il n'a pas une bonne terre*, pour choisir un conducteur plus mauvais (mur, air, etc.) qui n'a pas une terre meilleure » (1).

Arago était mieux inspiré quand il concluait : « Maintenant que la question est posée, des expériences de cabinet ne manqueront pas de faire promptement justice des considérations précédentes si elles ne sont pas fondées ; en attendant, il ne pourra y avoir que de l'avantage à éviter, dans la forme du conducteur, des angles aigus, à ne passer d'une direction à une autre très différente, qu'à l'aide de courbes de raccord exemptes de tout changement brusque ». (*Notice citée*, p. 595).

Ce sage conseil ne fut pas entendu des praticiens. Du moins les expériences vinrent-elles — moins promptement, il est vrai, qu'Arago ne le souhaitait — expériences non seulement de cabinet mais de technique à grande échelle qui mirent les exploitants de réseaux de distribution d'électricité à haute tension, quasi journellement, en présence d'un phénomène tout à fait analogue. L'électricité atmosphérique risque-t-elle de provoquer sur une ligne de distribution aérienne une décharge qui endommagerait les appareils de l'exploitation, il suffit, à l'entrée des bâtiments qui renferment ces appareils, d'intercaler dans la ligne une bobine de quelques spires. La décharge foudroyante qui suit la ligne, butant contre cet obstacle, sera rejetée, *à travers un intervalle d'air*, vers une branche de parafoudre qui l'éconduit à la terre.

(1) Pescetto : *Note sur l'établissement des paratonnerres* dans BULL. ASSOC. INGÉN. INSTIT. MONTEFIORE, t. II. p. 313.

Ce phénomène, étrange au premier abord, est dû à l'*impédance*. On sait qu'à un courant très bref ou encore à oscillations rapides les conducteurs contournés en bobine ou même simplement repliés en angle prononcé offrent une résistance de réactance, une résistance de refoulement, pourrait-on dire, incomparablement supérieure à la résistance du même conducteur à l'égard d'un courant continu. Cette résistance de refoulement est d'autant plus grande que la courbure est plus forte ou l'angle plus aigu et que la rapidité de variation du courant est plus grande. Or, précisément, la décharge foudroyante peut être à haute fréquence, tout au moins tombe-t-elle très brusquement d'une très haute valeur à zéro. Si donc l'angle formé par le conducteur foudroyé est aigu, sa résistance de refoulement en ce point pourra être énorme et une décharge latérale pourra se produire.

On voit combien est justifiée la recommandation des *Leitsätze*.

Il (*suite*). « 3. *Les prises de terre*, ou simplement, les *terres*, consistent en des conducteurs métalliques connectés aux extrémités inférieures des descentes et pénétrant dans le sol où ils doivent s'étendre le plus loin possible, de préférence à travers les couches humides. »

La nécessité d'une mise à la terre du réseau protecteur est reconnue par tout le monde et il n'y a pas lieu d'y insister. Melsens veut que ces prises de terre soient aussi nombreuses que possible afin d'offrir au flux foudroyant, qui peut être formidable, un grand nombre de chemins et de le subdiviser en un grand nombre de décharges inoffensives. *Divide et impera*, tel est son principe fondamental. Personne ne peut se refuser à en reconnaître le bien fondé.

Mais à quel signe reconnaître que l'on a une « bonne

terre », une « terre suffisante » ? Quelle est la valeur maximum admissible pour la résistance de la « terre », d'un paratonnerre ? Le rapport de Helmholtz, Kirchoff et Siemens déjà cité nous donne la réponse qui, en Allemagne, continue à faire loi en cette matière : « Il n'y a pas lieu de donner ici des chiffres absolus. Le seul point important est que la terre du paratonnerre soit meilleure que celle de tout autre objet conducteur voisin que la foudre pourrait atteindre par décharge latérale. »

Puisque nous avons en vue tout particulièrement l'établissement de paratonnerres simples, mais néanmoins efficaces, résumons d'une manière concrète, la règle que nous commentons en montrant comment le Prof. Ruppel imagine la protection d'une maison de modeste cultivateur. La construction est supposée ne comporter comme pièces métalliques utilisables pour le paratonnerre qu'une gouttière avec tuyau de descente sur chacun des deux versants du toit. Le rôle de capteur est confié à un fil de fer bien galvanisé de 6 mm. de diamètre (Règle V), qui court le long du faite, fixé à même le toit, — par exemple, en contrebas de la tuile faitière ; un conducteur identique, raccordé à celui du faite, monte le long de la cheminée et la dépasse un peu afin d'en être le point le plus élevé. On peut également rattacher ce conducteur soit à une plaque de fonte remplaçant, sur la base supérieure de la cheminée, la dalle de pierre usuelle, soit à un fer cornière appliqué le long d'un côté de cette base ou mieux à un cadre en fer cornière l'entourant tout entière. A une des extrémités du bâtiment, le tuyau de descente sert de conducteur vers la terre. Le long du pignon correspondant le conducteur de faite descend et vient se raccorder à la gouttière et, par suite, au tuyau de descente en question. Le second tuyau de descente sert également de conducteur vers la terre. S'il est placé à l'extrémité diamé-

tralement opposée à celle occupée par le premier tuyau de descente, on le raccorde au faite de la même manière et cela suffit. Sinon, on y établit un second conducteur de descente *ad hoc* que l'on raccorde au capteur du faite. — En général, on met ainsi deux descentes.

Quant aux prises de terre, s'il se trouve dans le voisinage une canalisation souterraine de grande étendue (ce qui, en Belgique, n'est pas rare même à la campagne, et y deviendra de plus en plus commun grâce à la nouvelle Société Nationale des distributions d'eau) une au moins des descentes est raccordée à cette « terre » idéale qu'est pareille canalisation. A son défaut, là où la nappe d'eau souterraine est à peu de profondeur, on dispose dans les couches *toujours humides*, les conducteurs de terre. Ce sont par exemple des tiges ou des tuyaux métalliques qu'on y enfonce, mieux, un treillis métallique. Ces « terres » sont évidemment raccordées à leurs descentes respectives. Il est excellent de les réunir entre elles par un fil de cuivre étamé de 6 mm. de diamètre ou une bande de tôle bien galvanisée enfouie au même niveau et faisant la moitié du tour de la maison à une distance d'un mètre environ des murs. Si ce raccordement des terres fait le tour complet, cela vaut mieux, et mieux encore, si d'un ou de plusieurs points du circuit et normalement à ce circuit, part un conducteur de même nature qui s'étend à quelques mètres de distance. — Les couches toujours humides sont-elles assez profondes, on se contente de disposer les conducteurs de terre dans l'humus, à quelques décimètres de profondeur. Les orages sont généralement accompagnés de pluie, de sorte que rapidement ces couches superficielles sont humidifiées.

Évidemment, pareils dispositifs sont faciles à établir et peu dispendieux. Le Professeur Ruppel donne le devis détaillé d'un paratonnerre de ce genre installé

sur une habitation rurale avec étable : il s'élève à 60 marks, soit 75 francs. Ce n'est pas ruineux — et l'expérience montre que ces paratonnerres sont parfaitement efficaces.

Simplifications éventuelles. — « III. Les pièces métalliques entrant dans la construction du bâtiment, de même que les masses métalliques importantes qu'il renferme ou qui l'avoisinent — particulièrement, celles qui ont de notables surfaces de contact avec la terre, tels les tuyaux d'une canalisation — doivent être connectées métalliquement entre elles et avec le paratonnerre. Cet ensemble de pièces métalliques satisfait-il à lui seul aux prescriptions relatives aux capteurs telles qu'elles sont énoncées dans les règles II, V et VI, on peut se dispenser d'en établir de spéciales. Même remarque au sujet des conducteurs, des descentes et des prises de terre. »

Comme « terres » rien n'égale les canalisations d'eau et de gaz recommandées, nous le savons, par Melsens. Le professeur Neesen, dont la compétence en matière de paratonnerres est reconnue, a, au nom de l'E. T. V., étudié spécialement cette question dans tous ses détails : « Le raccordement du paratonnerre aux canalisations d'eau et de gaz, s'impose, dit-il, non seulement dans l'intérêt de la bâtisse, mais aussi dans l'intérêt des canalisations elles-mêmes. » Et la Commission royale de Saxe est tout à fait du même avis : « Grâce à la section relativement grande de leurs parois métalliques et surtout à cause de leur grande surface de contact avec le sol, les tuyaux de distribution doivent être considérés comme des prises de terre au moins aussi efficaces que celles établies *ad hoc*. Le plus souvent elles valent infiniment mieux que ces dernières. L'expérience prouve en effet que les conduites d'eau et de gaz sont souvent foudroyées. Si une maison n'a pas de

paratonnerre, la foudre tombe sur les parties situées au-dessus des conduites d'eau ou de gaz qu'elle renferme. Si elle a un paratonnerre, mais qui ne soit pas raccordé aux conduites, ou qui n'ait pas une autre excellente terre (équivalente à celle des conduites et nous venons de voir que cela est très rare), la foudre quitte le paratonnerre pour se porter sur la distribution ».

« On ne comprend donc pas, continue le Prof. Ruppel, pourquoi certaines compagnies des eaux ou du gaz s'opposent à ce raccordement ou y font difficulté. N'est-il pas évident que si le paratonnerre est relié métalliquement aux tuyaux, la décharge suivra ceux-ci sans les endommager le moins du monde, tandis que, si elle y saute avec fracas, elle peut aisément la foudre ou la briser en morceaux ? »

Insistons, la question en vaut la peine.

Pour justifier leur conduite, des compagnies objectent que la liaison entre les tuyaux n'est pas, partout, parfaitement métallique; il s'ensuivrait, dit-on, du danger pour les bâtisses et la canalisation. Cette objection est inopérante. Nous lisons en effet dans le mémoire du VERBAND DEUTSCHER ARCHITEKTEN- UND INGENIEUR-VEREINE, rédigé par les Professeurs D^r Kohlrausch, D^r Ulbricht, etc. : « Ce n'est pas parce que la mesure de la résistance au passage à la terre accuse une valeur relativement considérable qu'une canalisation assez étendue perd toute sa valeur comme conducteur de terre. Ni la mince couche isolante constituée par l'asphaltage des tuyaux, ni les raccords de mauvaise conductibilité n'enlèvent au réseau ses qualités excellentes comme conducteur de terre des décharges foudroyantes. Grâce à leur haute tension, celles-ci passent en perçant la mince couche isolante d'une infinité de minuscules étincelles. Si même elle est posée en terrain presque sec, la canalisation d'eau ou de gaz reste une excel-

lente terre pour les paratonnerres : abstraction faite de la conductibilité du sol, même légèrement humide, le réseau par sa capacité électrostatique possède la propriété d'attirer à lui et d'emmagasiner l'électricité de la décharge. »

Ce que nous venons de dire des canalisations d'eau et de gaz s'applique au même titre aux réseaux de centrales électriques qui, aujourd'hui, sillonnent nos villes, nos bourgades et même nos campagnes. Lignes de tramways ou de distribution d'énergie électrique pour la force ou l'éclairage sont à même de collaborer très activement à la diffusion des paratonnerres. En effet, leurs supports de lignes aériennes doivent être mis à la terre. En réunissant à ceux de ces supports qui sont fixés aux bâtiments, les pièces métalliques de ceux-ci, tels que gouttières, tuyaux de descente, canalisations d'eau, etc..., on réaliserait des paratonnerres à immense développement, à multiples conducteurs de descente, à terres extrêmement étendues. Le prix de revient par bâtiment protégé serait des plus réduits.

Ces installations de paratonnerres contribueraient d'ailleurs à la sécurité du réseau de distribution, lequel a presque toujours à souffrir de l'incendie des bâtiments, auxquels sont fixés leurs supports.

Le III^e des *Leitsätze* se continue par une remarque qu'il serait souhaitable de voir les architectes mettre en pratique. Par profession, ils sont tout désignés pour être les promoteurs des paratonnerres. Avec un peu de bonne volonté à suivre la recommandation des *Leitsätze*, leur propagande serait la plus efficace de toutes et, ce faisant, ils rendraient un service signalé à l'humanité.

III (*suite*). « **Pour les bâtiments à édifier**, il y a tout avantage à prévoir, dans le projet même de construction, la meilleure utilisation possible des pièces métalliques, tuyaux de canalisation et autres sem-

blables, en vue de la protection contre les coups de foudre. On pourra réaliser ainsi, à frais très réduits, un paratonnerre parfait. »

C'est le principe de Findeisen justifié par les constatations des compagnies d'assurance.

Degré de sécurité. — « IV. La protection assurée par un paratonnerre est d'autant plus certaine que toutes les parties exposées aux coups de foudre sont plus parfaitement protégées par des capteurs, que le nombre des conducteurs de liaison et de descente sont plus nombreux et que les prises de terre sont plus abondantes et plus étendues. Par elles-mêmes, du reste, les parties métalliques d'étendue notable, celles surtout qui réunissent à la terre les endroits les plus élevés du bâtiment, contribuent, en règle générale, à diminuer les dégâts qu'entraînerait un coup de foudre, alors même qu'aucune préoccupation de ce genre n'aurait servi de guide dans leur mode d'exécution.

» Pour l'ordinaire, il n'y a pas lieu de craindre que les imperfections d'un paratonnerre augmentent le danger. »

Ce dernier alinéa vaut d'être relevé. On affirmait autrefois qu'un paratonnerre défectueux augmentait le danger au lieu de le diminuer. Cette légende se survit à elle-même dans maints ouvrages de physique et on la voit, chaque printemps, au retour des orages, faire le tour des journaux quotidiens, qui se la passent avec une naïveté aussi touchante qu'inconsidérée. Les efforts de l'E. T. V. ont été, jusqu'ici, impuissants à la détruire.

Mais on peut distinguer divers degrés de protection. Prétend-on mettre à l'abri de la foudre jusqu'au moindre coin de cheminée, jusqu'au moindre détail d'une corniche, veut-on fermer l'accès de l'intérieur

du bâtiment à toutes les ondes électromagnétiques que pourrait susciter un coup de tonnerre formidable, lesquelles ondes seraient peut-être susceptibles de faire éclater une étincelle entre deux pièces métalliques trop voisines et enfouies, par un fâcheux hasard, dans un tas de matières inflammables, ou bien noyées dans une fuite de gaz malencontreusement concomitante d'un orage épouvantable... Ah! pour répondre à de pareilles exigences, pour assurer pareille sécurité, il n'y a — et encore? — que la cage métallique hermétiquement fermée, sans la moindre fente. Oui, sans la moindre fente! car si, par malheur, cette fente est parallèle au plan de vibration de ces terribles ondes électromagnétiques, elles en profiteront pour pénétrer à travers le blindage et compromettre la protection absolue qu'on aspirait à se ménager.

Pareilles prétentions sont absurdes, et sous le futile prétexte qu'il n'y peut être satisfait, renoncer à des procédés praticables et peu coûteux, mais vraiment efficaces contre les dangers communs de la foudre, est dépourvu de tout bon sens.

Ces dangers communs et particulièrement pressants en dehors des villes, ce sont l'incendie et les coups mortels — et ceux-là, l'expérience le prouve, ne sont plus à craindre à l'abri d'un paratonnerre simple, tel qu'il a été défini ci-dessus (pp. 151, 152). En vérité, c'est folie que de refuser d'aussi précieux services garantis à si bon compte.

Nature, dimensions et fixage des conducteurs.

— « V. Les conducteurs de liaison ou de descente en fer ne peuvent pas avoir moins de 50 mm. carrés de section (soit 4 mm. de diamètre), s'ils sont ramifiés, ni moins de 100 (soit 5,6 mm. de diamètre), s'ils sont uniques.

« Avec des conducteurs en cuivre, des sections

moindres de moitié sont suffisantes. Pour le zinc, il faut au moins 1 1/2 fois la section indiquée pour le fer et, pour le plomb, 3 fois.

« La forme et le mode de fixation des conducteurs doivent être tels qu'ils puissent résister aux ouragans. »

Après Melsens, est-il nécessaire, en Belgique du moins, de faire remarquer que l'emploi du cuivre, si tentant pour les voleurs, n'est nullement de rigueur dans la construction des paratonnerres? Ci-dessus, du reste, nous avons entendu Arago, recommander indifféremment comme conducteurs de liaison des tringles de fer, de cuivre, des bandes de plomb, de zinc, etc. (p. 146). Les sections seules changent avec les métaux employés, ainsi que le précise la règle V.

Liaisons des conducteurs. — « VI. Les ligatures et connexions doivent être durables, solides, étanches, et présenter les surfaces de contact les plus grandes possible. Là où les conducteurs ne sont ni soudés ni brasés entre eux, ils doivent avoir des surfaces de contact d'au moins 10 cm². »

Certains prospectus de constructeurs proclament avec fierté que leurs paratonnerres sont faits d'une seule pièce. Le coût en sera donc passablement élevé. Voilà tout ce que l'on peut conclure.

L'important, comme, après tant d'autres, ne cesse de le répéter le Professeur Ruppel, l'important, disons-nous, ce n'est pas la perfection de la soudure autogène ou hétérogène : la soudure n'est pas nécessairement requise. Des contacts étendus — 10 cm² au moins — et bien assurés au point de vue mécanique, voilà ce à quoi il faut veiller avec soin.

Vérifications. — « VII. Afin de s'assurer que le paratonnerre reste en bon état, il importe de le faire vérifier assez souvent par des personnes compétentes

et de prendre garde que, si des modifications sont apportées au bâtiment, il peut y avoir lieu de modifier ou de compléter le paratonnerre. »

D'après le Professeur Ruppel, aussi longtemps qu'il ne s'agit pas de bâtiments exigeant une protection particulièrement méticuleuse, tels que les poudrières etc., une inspection tous les cinq ans peut suffire. Elle consistera en une visite attentive des conducteurs et de leurs liaisons ainsi qu'en une mesure de la résistance des « terres », celle-ci interprétée dans le sens précisé au commentaire de la règle II, 3 (p. 151).

Nous avons fini l'exposé des *Leitsätze*.

A considérer la vie intense de l'E. T. V. dont les réunions groupent, chaque année, des centaines de membres, venus de tous les points des pays de langue allemande, étant donnée l'autorité incontestée dont elle jouit universellement, son intervention si catégorique, si précise, en faveur d'appareils si hautement utiles, indispensables même, d'une installation désormais si facile et si peu coûteuse, devait, ce semble, lever tous les doutes et emporter toutes les adhésions.

Malheureusement il n'en est rien. Il y a, tout au plus, de 3 à 5 maisons pour cent protégées contre la foudre.

On pouvait espérer du moins que les administrations gouvernementales et communales, non moins que les sociétés d'assurance intéressées, s'inspireraient des *Leitsätze* pour introduire plus d'unité dans leurs prescriptions et pour en biffer toutes les exigences arbitraires et purement tracassières.

Hélas ! l'enquête à laquelle le Dr Ruppert s'est livré en 1911, a démontré une fois de plus la tyrannie de la routine. Un questionnaire fut envoyé à 362 villes d'Allemagne. Parmi les 280 réponses reçues, on relève les détails suivants : Les règles de l'E. T. V. ne sont

mentionnées que dans 19 cas. La connexion des paratonnerres n'est permise aux canalisations d'eau que dans 201 villes, à celles de gaz que dans 90. Elle est *formellement interdite* (!) aux canalisations d'eau dans 50 villes, à celles de gaz dans 145. Plusieurs administrations la permettent, mais sous des conditions pratiquement prohibitives.

Dans beaucoup de prescriptions les tiges et les pointes sont encore indiquées comme les parties les plus essentielles du paratonnerre. On y lit souvent des passages de ce genre : « Il est interdit de souder les conducteurs à la pointe, afin que celle-ci puisse à tout instant être enlevée aux fins de contrôle ou d'appointage après un coup de foudre ».

Diverses administrations exigent encore des pointes en platine ou en or, etc...

La conséquence naturelle de tout cela est que beaucoup de propriétaires ont renoncé à établir des paratonnerres. Bien mieux, plusieurs installations très convenablement exécutées ont été démontées, parce que les propriétaires ne les transformaient pas au gré des règlements ou refusaient de se soumettre à l'ennui des fréquentes vérifications. Cela doit s'appeler une absurdité et, très justement, un méfait.

Dans son rapport de 1913, le Professeur Ruppel résume l'histoire des débuts du paratonnerre en insistant, et c'est justice, sur le rôle important que jouèrent là les physiciens allemands. Ce coup d'œil rétrospectif est fort intéressant (1).

Le XVIII^e siècle inventa le paratonnerre. Bien plus, il précisa les principes de sa construction avec un tel bonheur que le XIX^e n'y a rien ajouté d'essentiel : des

(1) Le lecteur trouvera une histoire plus détaillée des débuts du paratonnerre dans l'intéressant *Essai sur les paratonnerres* des PP. Thirion et Van Tricht, S. J. Cette REVUE, 1891, livraison de janvier.

détails, beaucoup de vains détails de construction de tiges et de pointes, voilà tout.

Quelques dates suffiront à nous en convaincre.

En 1752, Franklin érige le premier paratonnerre sur sa maison. Dès ce début, il considère que le fer en raison de son bon marché et de son point de fusion élevé est le métal le plus convenable à employer. Pour les conducteurs, il admet un diamètre de un quart de pouce (environ 6,4 mm.), tout en indiquant qu'on serait vraisemblablement amené à prendre des diamètres plus forts, d'après les leçons de l'expérience. — Cette prévision ne s'est pas réalisée, nous l'avons vu (Règle V).

En 1758, Franklin signale que, sur les maisons de grande longueur, il faut élever deux paratonnerres, vers les extrémités, et les réunir entre eux par un fil courant le long de la crête.

En 1762, il se déclare d'accord avec Russel qui propose d'employer comme conducteurs les *tuyaux de descente des eaux de pluie* (il s'agissait de tuyaux en plomb).

En 1772, dans son avis au sujet de la protection du magasin à poudre de Purfleet, il insiste sur l'importance de la bonne liaison à établir entre les deux tiges de paratonnerre en *garnissant de métal la faite intermédiaire*.

En Amérique, dès 1752, on établit un grand nombre de paratonnerres et, en 1760, on citait déjà trois coups de foudre atteignant des paratonnerres qui les conduisaient correctement à la terre sans subir d'autre dommage que la fusion de leurs pointes.

L'Europe mit quelque retard à adopter le nouveau mode de protection. En 1760, le phare d'Eddystone, près de Plymouth, reçut un paratonnerre et le médecin

Watson en établit un, en 1762, sur sa maison de campagne près de Londres.

L'année 1769 fut marquée par un terrible accident. La foudre fit sauter le magasin à poudre de Brescia : le sixième de la ville fut détruit et 3000 personnes furent tuées. C'est à partir de cette date que les magasins à poudre du continent furent armés de paratonnerres.

En Europe, l'Allemagne, la première, suivit l'exemple de l'Angleterre dans l'établissement des paratonnerres et bientôt dépassa sa devancière.

Le premier paratonnerre y fut placé, en 1769, sur la tour de l'église St-Jacques à Hambourg, d'après les indications du médecin Reimarus et un autre sur la tour de l'église abbatiale de Sagan, en Silésie, par ordre de l'abbé von Felbinger.

Toute une série de savants allemands, parmi lesquels le même Reimarus et Hemmer, s'occupèrent dès lors de faire établir des paratonnerres et, par leurs écrits (1768-1785), contribuèrent puissamment à les faire adopter de divers côtés. Il est intéressant de remarquer que les installations de cette époque sont d'une construction tout à fait semblable à celle que nous recommandons actuellement.

A preuve quelques extraits des premières publications sur ce sujet :

Reimarus 1768 : « Une bande métallique continue écarte du bois et de la pierre, les dégâts de la foudre à la condition que cette bande atteigne le sol. Pourvu qu'elle couvre toutes les parties élevées et qu'elle soit conduite jusqu'à la terre sans solution de continuité, elle protège l'ensemble du bâtiment, *sans même qu'on ait besoin d'y élever de tige métallique*. Parfaitement abrité, *sans dispositif spécial*, serait aussi un bâtiment dont le toit serait couvert de métal d'où des

tuyaux métalliques de descente ou des bandes de métal atteindraient jusqu'à terre.

» C'est un préjugé à combattre que de croire que le métal dont est fait un paratonnerre doit subir une *préparation spéciale*, ou, en particulier, qu'il y faut employer des tiges de fer. On a montré ci-dessus que *toute pièce métallique* y est propre et, par conséquent, les endroits où il s'en trouve déjà ou bien s'en place facilement n'ont pas besoin de recevoir une autre protection.

» Les feuilles de plomb ou de cuivre qui ne doivent pas être bien épaisses, ou encore des feuilles de tôle étamées de trois pouces à un demi-pied de largeur, sont, pour la plupart des cas, beaucoup plus à recommander que des tiges. La foudre s'écoule plus facilement *sur la grande surface* de pareilles lames métalliques : elles sont plus faciles à réunir entre elles et plus aisées à fixer à la toiture que les tiges. Sur le toit elles peuvent être commodément employées *pour couvrir la tuile faîtière* ou encore la *tuile cornière* à l'intersection de deux combles.

» Trouve-t-on sur la surface extérieure du bâtiment des pièces métalliques descendantes reliées entre elles, y a-t-il en particulier des toits à couverture métallique, des gouttières ou des tuyaux en cuivre, plomb ou fer, tout cela peut, très facilement, être utilisé pour la constitution du paratonnerre.

» Pareilles surfaces métalliques, gouttières ou descentes en plomb, lames de plomb ou de cuivre, tiges, etc., ont *souvent joué à la perfection le rôle de paratonnerres*. Si parfois elles ont été endommagées, ce ne fut qu'aux extrémités où la foudre les a frappées ou bien les a quittées — nous l'avons montré plus haut. Aussi, à la seule condition de les réunir soigneusement, par le haut et par le bas, avec le reste de l'armature protectrice, pourrait-on s'épargner le soin de munir ces endroits

de dispositifs spéciaux. Pour l'ordinaire, les tuyaux de descente peuvent être commodément utilisés comme conducteurs de descente.

» Il existe des relations dignes de foi et très instructives d'où il ressort que des coups de foudre ont été, au grand profit du bâtiment, *conduits à la terre* même par des *armatures métalliques défectueuses*.

» Quiconque voudra donc réfléchir attentivement à la question, reconnaîtra qu'un *paratonnerre imparfait vaut tout de même mieux que l'absence de tout paratonnerre*.

» Le fait pour un bâtiment de se trouver en terrain dégagé à la campagne l'expose particulièrement aux accidents orageux. Si son toit est en chaume, il a énormément à craindre de la foudre dont une décharge le mettra communément tout en flammes. Aussi les habitants des campagnes devraient-ils *plus encore que les citadins* se préoccuper de préserver les bâtiments contre les coups de foudre. »

Il est certes profondément regrettable que des recommandations si utiles, si précises, si simples à suivre soient tombées dans l'oubli. Le problème des paratonnerres était dès lors résolu dans ce qu'il a d'essentiel. A observer les prescriptions de Reimarus, d'innombrables accidents, des pertes immenses eussent été évités.

J. D. LUCAS, S. J.,

Collège N.-D. de la Paix, Namur (Belgique).

L'ÉLÉMENT NERVEUX (1)

ARTICLE SECOND

PHYSIOLOGIE DE L'ÉLÉMENT NERVEUX

Nous avons, dans deux articles précédents, considéré la cellule nerveuse soit en elle-même, soit dans les rapports qu'elle contracte avec d'autres éléments de même type histologique, pour constituer les voies de projection et d'association du système nerveux, et nous avons tâché de résumer les principales données *anatomiques* de la neurologie sur ces questions.

Autant que la nature du sujet nous l'a permis, nous avons laissé de côté le point de vue fonctionnel, dans le dessein de le traiter à part : c'est ce que nous faisons aujourd'hui.

§ I. — Courant électrique nerveux et ébranlement physiologique nerveux

A. — COURANT ÉLECTRIQUE NERVEUX

Le vocabulaire de la physiologie, quand il s'agit d'exprimer la nature et les lois de l'activité nerveuse, donne presque à penser que le fonctionnement du système nerveux n'est pas autre chose qu'un simple chapitre d'électricité physique : on parle de courant

(1) Voir REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES, livraisons de janvier 1914, pp. 5-63, et d'avril 1914, pp. 532-581.

nerveux, d'influx nerveux, de transmetteur et de récepteur nerveux, de décharge nerveuse, de polarisation nerveuse, etc...

Il faut avouer que l'allure des phénomènes, aussi bien que le dispositif structural lui-même, semblent se prêter, au premier abord, à cette assimilation. Il existe, en effet, des postes de départ : les appareils de sensorialité et certaines cellules corticales ; des lignes conductrices : les voies nerveuses ; des postes de réception : certaines cellules nerveuses centrales et beaucoup d'appareils non nerveux, périphériques (superficiels ou profonds : muscles, glandes, etc.). Quand tout cela est intact, il suffit, comme dans une installation électrique, d'établir un contact efficace, en un point quelconque du circuit, pour que le courant arrive au bout de la ligne et y provoque des phénomènes en rapport avec la nature des appareils terminaux : phénomènes thermiques, phénomènes lumineux, phénomènes mécaniques, phénomènes chimiques, phénomènes physiologiques, etc.

Et il faut, en effet, admettre l'existence, dans le système nerveux, d'une véritable énergie électrique ; mais c'est là une question qui exige d'être immédiatement précisée.

Si l'on réunit, par l'intermédiaire d'un fil métallique, les deux extrémités d'une pile de Volta, il se produit un courant qu'on peut mettre en évidence en intercalant dans le circuit un galvanomètre ou un électroscope condensateur. On dit que les corps mis ainsi en relation, zinc d'une part et cuivre de l'autre (en négligeant les disques intermédiaires), ne possèdent pas le même potentiel, la même tension, ou, pour employer une comparaison à laquelle on a souvent recours, ne sont pas au même niveau électrique. Il doit donc s'établir un flux d'électricité allant du corps dont le niveau est le plus élevé à celui dont le niveau est le plus bas,

tout comme il s'établit un écoulement de liquide entre deux vases communicants, tant que persiste, entre les liquides de ces deux vases, une inégalité de niveau. Or il n'est pas nécessaire, pour réaliser ce phénomène, d'avoir recours à un *système* hétérogène. On conçoit, en effet, que deux régions d'un seul et même corps peuvent se trouver, à un moment donné, dans des conditions différentes, déterminant des états de tension différents eux aussi, et qu'en les reliant l'une à l'autre par un conducteur approprié, il peut s'établir un courant entre les deux, jusqu'à constitution d'un potentiel uniforme. On comprend aussi que si la conductibilité du corps lui-même était parfaite, un courant semblable interne, allant d'une région à l'autre, devrait se produire toutes les fois qu'une cause quelconque mettrait ces deux régions en déséquilibre, et persister jusqu'au moment où, après un certain nombre d'oscillations l'équilibre s'établirait à nouveau. *Tout courant*, disait déjà Galvani en 1791, *a pour but le rétablissement de l'équilibre électrique préalablement rompu*. Or, la substance organisée étant, plus que toute autre, soumise à de nombreux changements, par suite des incessantes réactions qui se passent dans son sein, si bien que l'instabilité physico-chimique est un des caractères les plus apparents de tout substratum vital, il n'est pas étonnant que cette substance soit le siège de constantes ruptures d'équilibre, et qu'il existe, par conséquent, une électricité organique, animale et végétale. L'observation prouve d'ailleurs qu'il en est bien ainsi.

L'électricité animale est connue depuis longtemps. Avant même que Galvani publiât son grand ouvrage : *De viribus electricitatis in motu musculari commentarius* (1791), l'idée était déjà venue à certains naturalistes d'expliquer par une circulation d'électricité à travers l'organisme toutes les fonctions du vivant. Si

les recherches de l'illustre professeur de Bologne ne confirmèrent pas ces vues, par trop générales et imprécises, elles mirent cependant hors de doute l'existence d'une énergie électrique intrinsèque à certains tissus. Ces recherches, et les controverses auxquelles elles donnèrent lieu, méritent d'être rappelées. Galvani, au début, semble avoir borné sa curiosité scientifique à « *étudier l'influence de l'électricité sur les nerfs des animaux* », comme il le raconte lui-même. Ce fut au cours d'une expérience de cette nature qu'un de ses élèves ayant approché accidentellement la lame d'un scalpel des nerfs cruraux d'une grenouille, au moment où une étincelle jaillissait d'une machine électrique, les muscles se contractèrent, entraînant le déplacement du membre inférieur : « *phénomène extraordinaire et inconnu jusque-là* ». Le fait, pris en lui-même, ne semblait pourtant pas comporter d'autre explication que celle déjà connue de l'influence sur le système nerveux d'une force électrique étrangère à ce système. C'était un simple phénomène de choc en retour. Galvani pensait-il alors que l'efficacité du choc sur le système neuro-musculaire nécessitait l'existence dans ce système d'un flux électrique propre?... Nous l'ignorons, mais peut-être faut-il expliquer par quelque idée de ce genre l'intérêt qu'il porta, à partir de ce jour, à l'étude du phénomène en question. Dès l'année suivante (1781), il jugea que ses expériences lui permettaient d'affirmer la réalité d'une électricité organique « *agent très mobile, préexistant dans le nerf et excitant la force nerveo-musculaire* ». Durant cinq années encore, Galvani devait se livrer avec passion à l'étude de cet agent mystérieux, jusqu'au jour où une nouvelle circonstance accidentelle vint fixer définitivement son opinion. On sait comment, le 20 septembre 1786, ayant déposé sur la balustrade en fer de la terrasse du palais Zambeccari une grenouille fraîchement

disséquée, retenue par un crochet de fer passé à travers la moelle, et ennuyé de ne voir se produire aucune contraction, il mit le crochet en contact avec la balustrade, et détermina immédiatement, par cette intervention, une secousse musculaire. Les conditions de l'expérience ne permettant de mettre en cause aucune décharge électrique extérieure, Galvani se crut en mesure de pouvoir conclure à « *l'existence d'une électricité inhérente à l'animal : au moment de la contraction, il s'établissait un courant du fluide nerveux des nerfs aux muscles, semblable au courant électrique de la bouteille de Leyde* ».

L'expérience pouvait cependant, au premier abord, supporter une autre interprétation. Galvani avait en effet remarqué que les contractions étaient beaucoup plus énergiques quand l'arc métallique reliant les nerfs aux muscles n'était pas homogène, mais constitué de deux métaux différents (par exemple zinc et cuivre). L'arc avait donc dans la production du phénomène une influence directe, tenant à sa nature même, et qu'il ne fallait point négliger. Peut-être même était-ce lui, au fond, qui était la vraie source électrique, les nerfs et les muscles faisant simplement office de conducteur indifférent, pour relier deux corps hétérogènes, c'est-à-dire pour mettre en communication deux substances à un potentiel différent. Le fait que le phénomène se produisait essentiellement avec un conducteur métallique homogène ne tranchait pas la difficulté, car on pouvait objecter, comme le fit Volta, qu'il y avait toujours hétérogénéité — qu'on employât soit un conducteur métallique, soit une simple ficelle mouillée — au point où ce conducteur entrait en contact avec l'organisme. La préexistence dans le nerf *d'une électricité inhérente à l'animal*, n'était donc pas péremptoirement démontrée. Galvani répondit à cette objection en réalisant

l'expérience après suppression de tout conducteur étranger, par le seul contact de parties organiques.

Aucun des deux adversaires ne réussit cependant à convaincre son contradicteur, et ils eurent tort tous les deux : le physiologiste Galvani en ne voulant admettre que l'électricité animale, et le physicien Volta en tenant exclusivement pour l'électricité de contact.

Mais s'il est établi aujourd'hui que dans les substances organisées, tant qu'elles sont vivantes, se développe une force électrique propre, particulièrement remarquable chez certains animaux, comme les poissons électriques, il ne suit point de là que tous les phénomènes nerveux soient réductibles à de purs phénomènes électriques. Tout ce que l'on peut conclure des nombreuses recherches auxquelles cette question a donné lieu depuis Galvani, c'est que le tissu nerveux, comme tous les autres tissus vivants, animaux ou végétaux, en plus de l'action spécifique qu'il exerce dans l'organisme, en présente une autre, commune à tous les éléments : celle de pouvoir manifester, dans certaines conditions, une énergie qu'on est en droit d'assimiler, de par ses caractères essentiels, à l'énergie électrique dégagée par la matière brute. Comme l'organisme vivant, par celui de ses constituants qui est en lui le support matériel de ses opérations, peut être le siège de véritables réactions chimiques, ainsi peut-il devenir, sans qu'il y ait autrement lieu de s'en étonner, une source très active de phénomènes purement physiques.

C'est à la physico-chimie qu'il appartient de prononcer sur le bien fondé de la théorie actuelle qui veut que tout atome de corps simple soit constitué « *par un agrégat de particules matérielles positives, unies entre elles électrostatiquement par l'interposition d'électrons, agissant à la manière d'un véritable ciment* » (1).

(1) Achalme, *Électronique et Biologie*, Paris, 1913 ; p. 55.

Les électrons sont des atomes d'électricité négative (ions négatifs), doués de masse et existant comme tels (p. 8). Quant aux particules matérielles posi-

C'est à cette science qu'il convient aussi d'établir si le courant électrique doit être regardé comme un véritable transport, à travers les conducteurs, d'électrons, ou atomes d'électricité négative, libérés de leurs associations intra- et interatomiques (1). Ces théories une fois bien assises, il restera à en faire l'application aux phénomènes électriques du tissu nerveux. Beaucoup de points, sans doute, présenteront des difficultés dont la solution se fera longtemps attendre, mais on sera du moins fort à l'aise tant qu'il ne s'agira que d'assigner des causes suffisantes de désagrégation atomique, de libération d'électrons, et, par suite, de constitution de champs électriques et magnétiques (2). Les phénomènes physiologiques et psycho-physiologiques, et les phénomènes purement spirituels eux-mêmes, qui supposent l'exercice préalable de l'activité du substratum organique, s'accompagnent en effet, nécessairement, de modifications physiques et chimiques susceptibles de réaliser les conditions ordinaires de l'établissement d'un courant. Mais le fait, par exemple, qu'une contraction volontaire détermine dans les nerfs et les muscles des réactions intra-moléculaires d'où résultent, soit la production d'un flux d'électricité, soit des variations plus ou moins accentuées dans des courants électriques préexistants, ne prouve nullement que le phénomène de contraction, consécutif au phénomène de volition, soit adéquatement explicable par une simple influence électrique ; pas plus d'ailleurs qu'une influence de ce genre n'explique à elle seule l'apparition

tives, spécifiques de l'atome du corps considéré, on peut se demander si leur caractère électrique positif est dû à « une propriété même du support matériel », ou « à un corpuscule particulier très adhérent à l'atome et qui serait l'électron positif » (p. 36) ; et dans le cas où il résulterait d'une propriété de la matière, on peut se demander encore s'il s'agit d'une propriété électrique à part, ou simplement d'« une propriété de la matière ayant perdu des électrons négatifs » (p. 8).

(1) *Ibid.*, pp. 72, 249.

(2) *Ibid.*, pp. 8, 255.

d'un phénomène sensoriel, bien qu'une excitation électrique puisse être le point de départ de processus psychophysiologiques.

Notre dessein n'est pas de nous arrêter longtemps sur les raisons qui interdisent d'assimiler tous les phénomènes nerveux du vivant à de simples transformations de l'énergie électrique. A cette question pourraient s'appliquer certains jugements fort judicieux d'Armand Gautier dans son article : *Les manifestations de la vie dérivent-elles toutes des forces matérielles ?* (1) Les découvertes récentes n'ont rien fait perdre de leur à-propos à ces réflexions vieilles de dix-sept ans, car elles s'appuient sur un principe qui n'est pas plus discuté de nos jours qu'il ne l'était alors : « *Les forces matérielles se reconnaissent donc à ce qu'elles communiquent à la matière de l'énergie, mais avec expresse condition qu'une des formes : chimique, élastique, calorifique, mécanique, etc., de cette énergie venant à apparaître, la forme précédente disparaîtra en quantité équivalente* ». Le problème qui se pose est donc celui-ci : « *Les forces que manifestent les êtres vivants ont-elles toutes ces deux caractères essentiels des forces matérielles ?* » L'examen des faits amène Arm. Gautier à formuler une réponse négative. Les phénomènes vitaux s'accompagnent bien de réactions mécaniques, physiques, chimiques, qui ne sont que des transformations équivalentes de quelque énergie matérielle mise en œuvre pour les produire, mais à ces réactions se superposent ce que l'auteur appelle ailleurs des *formes*, c'est-à-dire un *ordre*, un *plan*, une *direction*, qui n'a pas son équivalent dans la force matérielle initiale, celle-ci s'étant dépensée tout entière à la production des phénomènes concomitants physiques,

(1) REVUE GÉNÉRALE DES SCIENCES PURES ET APPLIQUÉES, 1897, pp. 291-298.

chimiques, mécaniques (1). Mais si les faits parlent en faveur de cette interprétation, c'est surtout quand il s'agit d'expliquer les phénomènes supérieurs de la vie, *la pensée, la volonté, le sens esthétique, le sens moral* (2).

Or, le fonctionnement nerveux manifeste, comme tout fonctionnement vital, un ordre immanent, un plan, une direction ; il n'est donc pas un phénomène, ou un ensemble de phénomènes purement physiques. Et d'autre part, il est dans de telles relations avec nos facultés psychiques, par les neurones auxquels notre volonté commande, et par ceux aussi où s'accomplissent les phénomènes sensoriels, qu'il faut nécessairement le regarder comme tout autre chose qu'un simple flux d'électricité circulant le long d'un conducteur organique.

Mais si le dynamisme nerveux suppose l'action intrinsèque d'une force que des savants consciencieux se refusent à identifier avec des *forces matérielles*, il serait pourtant illégitime d'en conclure qu'aucune force matérielle n'intervient dans le fonctionnement de nos neurones.

Les conditions anatomiques, physiques, chimiques, mécaniques, dont la réalisation est nécessaire pour que le phénomène nerveux se produise, attestent que la

(1) A. Gautier, *Leçons de Chimie biologique*. Paris, 1897, p. 2, en note.

(2) « Qu'un animal, qui consomme durant les vingt-quatre heures une quantité constante d'aliments, pense ou non, qu'il se détermine à agir ou non (pourvu qu'il n'agisse pas), qu'il soit amibe, chien ou homme, pour une même quantité d'aliments et d'oxygène consommée, il produira la même quantité de chaleur et de travail, ou d'énergie totale équivalente. Il n'y a donc pas eu, pour créer la pensée ou la détermination d'agir, détournement d'une partie des forces mécaniques ou chimiques, transformation de l'énergie matérielle en énergie de raisonnement, de délibération, de pensée. Ces actes exclusivement propres aux êtres doués de vie n'ont pas d'équivalent mécanique. « Les actes psychiques, conclut avec nous M. Chauveau, ne peuvent rien détourner de l'énergie que fait naître le travail physiologique et qui est intégralement restitué sous forme de chaleur sensible. » Arm. Gautier, *art. cité*, REV. GÉN. DES SC., p. 294.

force supra-matérielle, quelle qu'elle soit, à laquelle il faut recourir pour l'explication adéquate des faits, ne se suffit pas. Nous pouvons même aller plus loin, et affirmer que ces conditions matérielles ne sont pas de pures circonstances, requises sans doute, mais n'entrant pas dans la constitution essentielle du phénomène. Partout où nous avons affaire, en effet, à des processus intrinsèquement organiques, qu'ils soient purement physiologiques comme une élaboration glandulaire, ou psychiques comme un acte de sensorialité ou de motricité volontaire, l'organisme intervient essentiellement dans ces processus par des énergies matérielles. Mais ce qui, *matériellement*, constitue le courant nerveux, ce n'est pas un courant électrique, bien qu'il soit indéniable qu'un courant électrique existe ou puisse exister.

« *On a longtemps*, écrivait déjà Mathias Duval, *non seulement comparé, mais même identifié ce qui se passe alors dans les nerfs avec un courant électrique; aujourd'hui il est prouvé que l'influx nerveux n'a rien de commun avec l'électricité* » (1).

En effet, à l'état de repos physiologique spécifique, on peut constater l'existence, dans le nerf, d'un courant électrique; or quand le nerf fonctionne, c'est-à-dire quand le courant physiologique s'établit ou s'accroît, ce courant électrique s'affaiblit ou disparaît. Courant physiologique (nerveux) et courant électrique ne se confondent donc pas. De plus, si l'on sectionne un nerf, et qu'on rapproche ensuite au contact les deux surfaces de section, le courant nerveux ne passe plus; or un courant électrique peut toujours circuler dans un conducteur, même quand ce conducteur a été coupé, pourvu que les deux bouts soient mis en relation de

(1) *Cours de Physiologie*, p. 33. 6^e édition, 1887 (la première édition est de 1872).

contiguïté. Une simple ligature, d'ailleurs, sur le trajet du nerf, supprime la conductibilité nerveuse, en laissant subsister la conductibilité électrique (1). Enfin, le flux électrique s'écoule dans un sens défini : d'un point appelé pôle positif, à un autre point appelé pôle négatif (2), et l'observation a démontré que ce sens, pour le courant électrique nerveux axial, était normalement centrifuge dans les nerfs centripètes, et centripète dans les nerfs centrifuges (3). Or, dans un nerf excité en un point quelconque de son parcours, il se produit un influx nerveux qui se propage à la fois dans le sens centripète et le sens centrifuge. Cela n'est vrai pourtant que dans un neurone pris à part ; si l'on considère une association de deux neurones, l'influx nerveux, comme nous l'avons déjà signalé, s'il passe du neurone *A* au neurone *B*, ne passe jamais du neurone *B* au neurone *A* : il y a *irréversibilité* du sens du courant nerveux. Mais précisément le sens dans lequel un courant électrique parcourt un conducteur composé d'autant de segments que l'on voudra, est toujours expérimentalement réversible.

Beaucoup d'autres considérations encore nous permettraient d'établir entre le flux électrique et l'influx nerveux, des oppositions qui excluent l'identification des deux genres de courants.

Nous n'avons d'ailleurs à nous occuper ici que du courant ou ébranlement physiologique nerveux.

(1) Expérience du pistolet électrique de Du Bois-Reymond.

(2) Ceux qui admettent que le flux électrique est constitué par un transport, non pas d'électricité positive, mais d'ions négatifs ou électrons, doivent inverser le sens du courant ; le déplacement, dans ce cas, se fait donc du pôle négatif au pôle positif (de la cathode à l'anode).

(3) Ici encore la théorie électronique introduit une modification : le courant devient centripète dans les nerfs centripètes et centrifuge dans les nerfs centrifuges.

B. — ÉBRANLEMENT PHYSIOLOGIQUE NERVEUX

I. — *Nature de l'ébranlement physiologique nerveux*

Tout protoplasme est doué d'*irritabilité*, et nous entendons par irritabilité une propriété générale, qui consiste dans une aptitude à réagir *vitalement* à une excitation proportionnée.

L'irritabilité se manifeste par des *réactions communes* et par des *réactions spécifiques*.

Les premières, qui pourvoient aux besoins fondamentaux de toute substance vivante, se retrouvent, par le fait, dans tous les éléments de n'importe quel tissu : telles les réactions qui assurent la nutrition cellulaire.

Les réactions spécifiques sont particulières à certaines cellules. Ainsi, les cellules musculaires jouissent de la propriété de répondre par des phénomènes de contraction active à des excitations de nature diverse : leur irritabilité se traduit spécifiquement par de la *contractilité*. De même, dans les éléments nerveux, aux manifestations communes de l'irritabilité s'en superpose une qui est spécifique : la *neurilité*.

A la propriété de contractilité répond, comme effet physiologique, la *contraction*. La neurilité, elle, se traduit, physiologiquement, par des phénomènes d'*innervation* : mais la signification de ce dernier terme est un peu plus complexe que celle du précédent. La contraction est l'état particulier du muscle qui résulte de la fusion d'une série de secousses très rapprochées ; elle consiste, au point de vue morphologique, en un raccourcissement transitoire ou persistant de la fibre. Il ne s'agit donc là que d'un seul mode d'action physiologique aboutissant à un effet toujours essentiellement

le même. L'innervation, au contraire, comprend tout un ensemble d'actions à résultats fort divers.

Définissons-la en nous aidant de quelques exemples.

Considérons la cellule nerveuse périphérique 1, affectée au service de la sensorialité tactile, fig. 1. Un de ses prolongements aboutit dans l'épaisseur de la peau S; l'autre gagne la moelle épinière dans laquelle il se termine, soit en *a*, soit en *b*, après s'être bifurqué en *c*. On dit de cette cellule qu'elle *innerve* la surface cutanée. Cela veut dire que la cellule nerveuse en question est apte à subir l'influence des excitations qui tombent

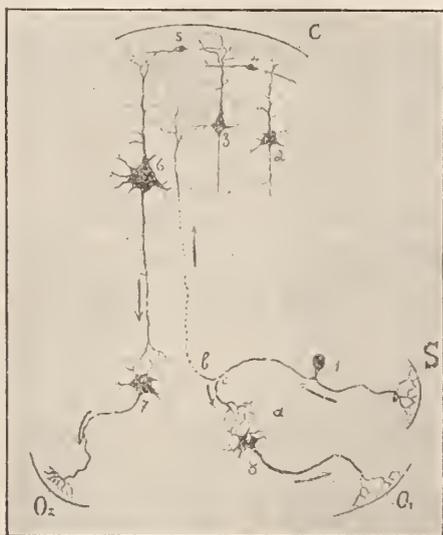


FIG. 1

sur cette surface, et à la transmettre aux centres sous une certaine forme.

Mais la cellule 1, par l'une de ses branches de bifurcation s'articule, en *a*, avec la cellule 8, dont le prolongement cellulifuge va s'épuiser dans un organe terminal périphérique *O*₁, soit directement, soit par l'intermé-

diaire du système sympathique que nous avons négligé de schématiser dans notre figure. Cet organe terminal peut être un muscle, une glande, un appareil photogène ou électrogène, etc... Le neurone 8 *innerve* cet organe, et cela veut dire qu'il lui communique une excitation qu'il a lui-même reçue, et qui va mettre en jeu son activité propre. L'ébranlement parti de *S*, et qui aboutit en *O*₁, après avoir franchi en *a* l'articulation interneuronienne, a parcouru une sorte d'arc anatomique, l'*arc réflexe*, et il a déterminé un phénomène, réflexe lui aussi, dépendant de la fonction d'innervation qu'on a appelée *excito-motricité*. Mais on voit, d'abord, que le terme de *motricité* est assez mal choisi, l'organe *O*₁ n'étant pas nécessairement un muscle; puis, que l'expression elle-même tout entière peut prêter à confusion. En effet, en empruntant la voie des neurones 6 et 7, qui va du cerveau *C* à l'organe *O*₂, je puis, *volontairement*, déterminer dans cet organe, que je suppose être un muscle, un phénomène d'*excito-motricité*. Cette expression, employée sans correctif qui la spécifie, ne peut donc, d'elle-même, désigner un processus nécessairement réflexe. On se rend compte aussi que l'innervation, dans ces cas, n'est pas différente de ce qu'elle était dans le neurone 1. Tous ces neurones, en effet : 8, 6, 7, ne manifestent d'autres propriétés que celles que nous avons constatées dans le neurone en relation avec la surface *S*. Le phénomène terminal : contraction musculaire, élaboration et excrétion glandulaires, production de lumière, d'électricité, etc..., n'est pas, en effet, un phénomène du neurone, mais un phénomène propre à l'organe où le nerf se termine. Le neurone n'a fait que recevoir, conduire et émettre une excitation.

Jusqu'ici, donc, l'innervation nous apparaît comme caractérisée par trois ordres de réactions : la réception,

la conduction et l'émission : *réceptivité, conductivité, émissivité.*

Mais les manifestations de la neurilité peuvent affecter d'autres formes encore. Ainsi les excitations cutanées, dont nous parlions tout à l'heure, déterminent dans le neurone *l* des modifications qui, de proche en proche, par la branche de bifurcation *b*, et par les chaînons médullaires, cérébelleux et thalamiques (remplacés par un pointillé dans notre schéma), gagnent les centres encéphaliques corticaux. Là, elles produisent à leur tour, dans des cellules spéciales, *3*, par exemple, des transformations particulières d'où procède l'état conscient que nous appelons *sensation*. De même que l'on dit que les muscles sont innervés, que les glandes sont innervées, on doit dire que ces cellules corticales sont innervées : elles reçoivent normalement, des neurones sous-jacents, des excitations qui mettent en activité leur aptitude à des réactions spéciales, réactions qui les caractérisent comme organes proprement dits de la sensation. A ce titre, les cellules sensorielles de l'écorce sont comparables aux muscles, aux glandes, à tous les organes terminaux où aboutissent des incitations nerveuses, et cela n'ajoute rien à ce que nous savions déjà. Mais il faut observer que l'innervation, qui provoque ailleurs un phénomène moteur, un phénomène sécrétoire, etc..., détermine ici un phénomène *nerveux*, et différent des autres phénomènes nerveux dont nous venons de parler. Le neurone cortical en question n'est pas seulement récepteur et transmetteur : il est sensoriel. La *sensorialité*, propriété organique comme la réceptivité et la transmissivité, est une nouvelle manifestation de la neurilité.

A cette même propriété de l'élément nerveux se rattache encore directement une autre manifestation psychique essentiellement organique : la *propriété sensorio-mnésique*. On sait que notre écorce cérébrale

est apte à conserver, sous une forme dont la connaissance intime nous échappe, le souvenir de nos perceptions sensorielles. On sait aussi que les centres de souvenirs de sensations sont d'ordinaire distincts des centres de perception sensorielle actuelle, si bien que ces derniers venant à être mis hors de fonction, toute sensation, spécifique de ces centres, cesse, alors que persistent les souvenirs de sensations de même ordre autrefois éprouvées. En schématisant fortement les dispositifs, nous pourrions représenter le centre mnésique par une de ses cellules, 2, la cellule 4 figurant un élément d'association interposé entre ce centre mnésique et le centre de perception actuelle, cellule 3. La cellule 2, comme la cellule 3, est apte à recevoir et à transmettre, mais à ces propriétés nerveuses communes s'en ajoute une autre, qui lui est propre : celle de garder des traces de certains processus psycho-physiologiques. Comme l'étude de ces traces est difficilement abordable à l'observation directe, ainsi d'ailleurs que celle des modifications organiques qui accompagnent la perception sensorielle actuelle et la conditionnent intrinsèquement, de toutes les manifestations de la neurilité, la réceptivité et la conductivité sont les seules qui paraissent intéresser les physiologistes.

Un autre phénomène mériterait cependant de retenir leur attention. L'élément nerveux n'est pas seulement *réceptif* et *conductif*, il est encore *émissif*, comme nous l'avons signalé tantôt. L'excitation qu'il a reçue et qu'il conduit, il est apte à la passer à d'autres éléments, que ces éléments soient, comme lui, des neurones, ou qu'ils soient des cellules de nature et de fonctions diverses : cellules musculaires, cellules glandulaires, etc... Ce pouvoir d'émission, il est vrai, n'est pas, absolument parlant, exclusivement propre à l'élément nerveux, pas plus d'ailleurs que le pouvoir

de recevoir et de conduire ; tout protoplasme, en effet, est excitable, et tout protoplasme est conducteur de l'excitation qu'il a reçue ; mais dans la cellule nerveuse ces fonctions sont devenues prépondérantes, et il est manifeste que c'est en vue de leur accomplissement que cette cellule s'est différenciée. De plus, les cellules non nerveuses ne sont excitables et conductrices que pour leur propre compte : leur excitabilité et leur conductivité ne regardent qu'elles et se terminent en elles ; si l'ébranlement dont elles sont le siège se communique parfois aux éléments voisins, ce n'est point en raison d'une fonction spéciale, mais par le fait d'une transmission toute mécanique tenant au fait de la contiguïté des éléments, tout comme un corps brut communique le choc qu'il a reçu au corps brut qui le touche. La cellule nerveuse, au contraire, de par les relations qu'elle contracte, soit avec les éléments de même nature, pour constituer les voies d'innervation, soit avec les organes terminaux, se présente comme spécialement construite pour assurer le transport aux divers appareils de l'organisme des incitations dont ils ont besoin pour entrer en activité physiologique ou psychique. Mais nos connaissances sur l'émissivité, considérée dans ses rapports avec cette activité spécifique des appareils, sont encore entourées de beaucoup trop de mystère pour que nous soyons tentés de nous y attarder.

Nous n'aurons donc en vue, en parlant de l'ébranlement nerveux, que les deux fonctions de réception et de conduction.

Nous entendons par *ébranlement nerveux*, en nous plaçant au point de vue des seuls constitutifs matériels de cet ébranlement, une *perturbation* dans les relations mutuelles des molécules qui constituent le protoplasme nerveux. Le courant nerveux, l'influx nerveux, l'onde

nerveuse, ne sont pas autre chose que la propagation, de proche en proche, à travers tout le neurone, et d'un neurone à l'autre dans un sens prédéterminé, d'une sorte de *vibration moléculaire* (1). Il n'y a pas transport de particules comme dans l'électricité (transport d'électrons). La molécule qu'une excitation mécanique, chimique ou autre, portée en *S*, figure 1, fait vibrer, ne se déplace pas le long des neurones 1, ..., 3, 4, 2, mais elle communique son mouvement aux molécules adjacentes, qui le transmettent à leur tour à d'autres molécules. Pendant que la vibration moléculaire progresse ainsi à la manière d'une onde lumineuse ou sonore, les premières molécules tirées de leur position d'équilibre, reviennent au repos après une série d'oscillations de durée variable. On a constaté qu'une seconde excitation ne produit aucun résultat quand elle suit la première de trop près. Le temps qui doit s'écouler entre deux excitations, pour qu'elles soient efficaces, est peut-être mesuré précisément par celui que les molécules ébranlées mettent à retrouver l'équilibre : « *en mesurant la période réfractaire*, dit F. Bottazzi, *on mesure probablement le temps dont la substance vivante du tissu a besoin pour revenir à la position d'équilibre troublée par le changement qui constitue la base de la propagation et qui doit être normalement réversible* » (2).

Cela n'est pourtant pas absolument sûr, et peut-être une sérieuse raison d'en douter nous est-elle fournie par le fait que là où une seconde excitation, de même intensité que la première, n'obtient aucune réponse, une excitation plus forte provoque une réaction immé-

(1) Nous ne prétendons pas, en employant cette expression, affirmer que la perturbation dont il s'agit est strictement assimilable, et dans tous les cas, à une vibration proprement dite; nous ne voulons cependant pas davantage nier la possibilité de cette assimilation.

(2) *Les activités physiologiques fondamentales*. SCIENTIA, 1-V-1914, p. 172.

diatè. Si les molécules, à cet instant, avaient retrouvé leur position relative d'équilibre, l'état réfractaire ne s'explique donc pas par la persistance de la vibration moléculaire ; et si les molécules vibraient encore, on ne comprend pas pourquoi une excitation de même intensité que celle qui les avait mises en mouvement, ne réussit pas à les y maintenir ; il semble même, dans cette hypothèse, que la seconde excitation, bénéficiant de ce qui persiste de l'impulsion moléculaire donnée par la première, n'aurait pas besoin d'être aussi intense qu'elle. Mais on peut concevoir que le travail accompli par les molécules, durant leur déplacement, ayant amené une dépense d'énergie, l'aptitude à la réaction s'en trouve affaiblie, et qu'un temps, d'ailleurs très court, soit indispensable à la réparation de ces pertes, pour que le neurone puisse réagir de nouveau dans les mêmes conditions.

D'ailleurs, même à l'état d'équilibre de ses molécules, le neurone est réfractaire à l'égard de certaines excitations : celles qui n'atteignent pas le *seuil* : et on entend par seuil le degré minimum d'intensité d'une excitation, au-dessous duquel il ne se produit plus de réaction. Mais en faisant agir à intervalles suffisamment rapprochés des excitations dont chacune est inférieure au seuil, on finit par déterminer l'ébranlement nerveux. « *On croit, remarque Bottazzi, que cela dépend de la propriété inhérente à la substance vivante de garder des traces même des stimuli inefficaces lesquels, en s'additionnant, atteignent la valeur du seuil et excitent le processus doué de la propriété de se propager le long des fibres nerveuses* » (1). Bien que vitaliste très convaincu, nous ne pensons pas qu'il soit nécessaire de faire appel ici à une propriété caractéristique de la substance vivante. Une intervention

(1) *Les activités physiologiques fondamentales*. SCIENTIA, 1-v-1914, p. 171.

physique, mécanique ou autre, trop faible pour produire le déséquilibre complet, peut cependant l'amorcer, en réalisant déjà un déplacement relatif que les interventions ultérieures n'auront qu'à accentuer pour venir à bout de la liaison inter-moléculaire.

Quant à l'opinion de K. Lucas, rapportée au même endroit par Bottazzi, à savoir que « *comme il a été démontré que des processus excitatoires locaux inefficaces aucune trace, pas même la plus minime, ne se propage au delà du point où ils ont été engendrés, il est permis de conclure que processus excitatoire local et perturbation propagée ne sont pas la même chose* », il nous semble qu'il n'y a peut-être là qu'une simple question de mots. Ce qui se propage le long du système nerveux, c'est l'effet produit par le processus excitatoire local. Localement, ce processus provoque une perturbation moléculaire, et c'est cette perturbation qui, se transmettant de molécule à molécule, gagne ainsi, de proche en proche, l'extrémité opposée de la voie nerveuse.

Que les phénomènes nerveux d'excitation et de conduction comportent des réactions réductibles à des changements dans les relations mutuelles des molécules de la substance intéressée, cela ne fait aucun doute, si nous considérons ceux de ces phénomènes que nous produisons artificiellement ; or nous n'avons aucune raison de croire que nous n'obtenons pas, dans ce cas, des manifestations neurales essentiellement semblables à celles que détermine le fonctionnement naturel de nos facultés, d'autant que les procédés d'expérimentation psycho-physiologique ne mettent en œuvre aucun excitant qui ne soit capable d'agir sur nos organes dans le cours de la vie normale, en dehors de toute recherche expérimentale.

Ces excitants sont nombreux. Les uns relèvent d'une influence purement *mécanique* : tractions, chocs,

piqûres, compressions, écrasements, etc... Il est bien évident que l'intervention de pareils agents d'excitation ne peut d'elle-même déterminer autre chose, dans les éléments nerveux qu'ils atteignent, qu'une perturbation plus ou moins brutale des relations inter-moléculaires tant de leur substance structurée que de leur substance amorphe. Or, que ce soit cette perturbation, communiquée de proche en proche, qui arrive à l'organe innervé et provoque l'exercice de son activité spécifique, nous en avons pour preuve le fait que le même résultat peut être obtenu en appliquant directement l'excitant sur l'organe terminal (cellules sensorielles encéphaliques, muscles, etc.), en portant immédiatement, en d'autres termes, dans cet organe, la perturbation que nous lui faisons normalement transmettre par la voie nerveuse.

L'effet produit dans le tissu nerveux par les excitants *chimiques* est essentiellement le même que celui produit par les excitants mécaniques, bien que les modalités d'action de ces deux genres d'excitants soient sans doute fort différentes. L'application, sur le parcours d'un nerf, d'une solution de chlorure de sodium ou d'une solution de sucre, d'éther, de chloroforme, etc..., ne peut produire autre chose, en effet, qu'une action inter- ou intra-moléculaire, troublant l'équilibre atomique de la substance organisée. Tel est aussi, sans aucun doute, mais réalisé beaucoup plus massivement, le résultat de l'action sur le nerf des vibrations moléculaires *thermiques*. Il faut enfin concevoir de la même façon toutes les perturbations nerveuses succédant à l'application d'un irritant *physique* quelconque.

Tous ces agents mécaniques, physiques et chimiques, peuvent être qualifiés de *généraux* : leur action est efficace sur tous les éléments nerveux. Il en est au contraire de *spéciaux*, dans ce sens que leur application n'est efficace que si elle est portée sur certaines

voies, et, dans ces voies elles-mêmes, en certains points : leur extrémité périphérique. Ainsi la lumière excite les terminaisons rétinienne de la voie optique, à l'exclusion du reste de la voie, et à l'exclusion de tout autre appareil de sensorialité. De même les ondes aériennes (et les vibrations solidiennes), par l'intermédiaire des milieux otiques, excitent les seules cellules de Corti: les particules sapides, les seules cellules du goût, et les émanations odorantes, les seules cellules olfactives. Mais cette spécification de l'excitant ne comporte pas nécessairement la spécificité de l'ébranlement. Dans ces cas comme dans les autres, tout le processus se réduit à une perturbation transmissible de l'équilibre moléculaire, perturbation d'origine mécanique dans l'audition, d'origine chimique dans la gustation et l'olfaction, d'origine physique dans la vision.

Pouvons-nous aller plus loin dans l'étude de l'ébranlement nerveux et nous rendre compte, d'une façon plus précise, de la nature du déséquilibre provoqué par l'action de l'excitant ?..

Bottazzi, dans le travail que nous avons déjà cité, propose à ce sujet l'opinion de Brailsford Robertson comme la plus probable des hypothèses formulées jusqu'ici. Tâchons d'en saisir les principales idées.

Quand nous excitons le prolongement cellulipète d'un neurone périphérique, par exemple le prolongement *cp* du neurone *I*, en un point *a*, figure 2, il se produit en ce point une modification d'ordre chimique, une rupture d'équilibre moléculaire, destinée à envahir progressivement toute la voie. La question qui se pose est de savoir dans quelles conditions se fait cet envahissement.

On regarde comme vraisemblable que la réaction provoquée au point *a* s'accompagne de production de substances acides. Celles-ci joueraient le rôle de cata-

lyseurs, activant la réaction d'où elles dérivent, c'est-à-dire accentuant le déséquilibre moléculaire initial, par son extension rapide aux groupements moléculaires voisins. D'ailleurs, à mesure que cette réaction s'active, l'auto-catalyse devient plus intense, d'où une suractivité de plus en plus grande des processus d'ébranlement. Cela expliquerait précisément pourquoi les phénomènes nerveux présentent au début une phase d'exaltation. S'il n'intervenait, en effet, d'autre énergie que celle mise en œuvre au point *a* par le stimulus

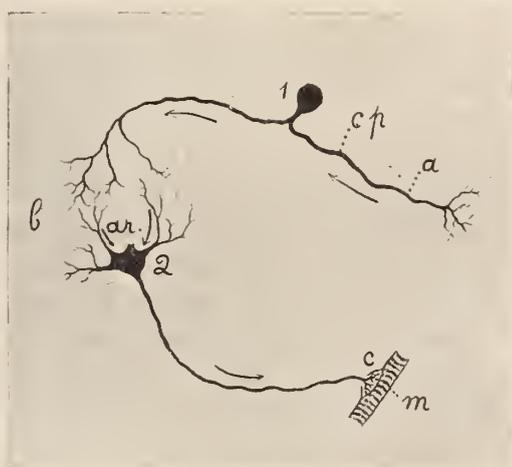


FIG. 2.

excitatoire, la réaction devrait présenter, à partir de son début et au fur et à mesure qu'elle se déploie, une décroissance continue et progressive.

Les mêmes phénomènes se passent au niveau des jonctions soit inter-neurales, *b*, soit inter-organiques, *c* (neuro-musculaires, neuro-glandulaires, etc.). L'ébranlement nerveux qui arrive en *b*, à l'extrémité des ramifications du prolongement cellulifuge du neurone 1, excite à ce niveau l'arborisation cellulipète *ar.* du neurone 2. La perturbation moléculaire qui en

résulte s'accompagne, comme en *a*, de phénomènes auto-catalytiques, et les mêmes processus de réaction mutuelle se déroulent entre catalyseurs et substance nerveuse réagissante. Quand l'ébranlement apporté par le neurone *Z* arrive à l'organe innervé, par exemple au muscle *m*, des phénomènes identiques doivent se passer dans cet organe, d'où l'augmentation progressive d'intensité de la réaction (par exemple de la contraction musculaire), dans la première phase de la réponse à l'excitation.

Si les choses se passent réellement ainsi, on peut prévoir l'allure que vont prendre les phénomènes dans une phase ultérieure. A mesure, en effet, que la perturbation gagne du terrain, la quantité de substance nerveuse demeurée intacte, et qui persiste dans son équilibre moléculaire, diminue. On conçoit donc qu'un moment doit venir où, faute de matière réagissante, l'intensité des processus nerveux, cessant de croître, entrera dans une phase de régression aboutissant à l'état réfractaire. Peut-être même ne sera-t-il pas nécessaire, pour en arriver là, que toute la substance ait été modifiée, ce qui en reste pouvant être mis dans une sorte d'« *incapacité fonctionnelle* » par l'influence des acides catalyseurs en excès (?). Les voies nerveuses seront ainsi comme bloquées, jusqu'à reconstitution de la substance des neurones dans son premier état, sous l'action énergique d'enzymes oxydants. Si cette restauration ne peut s'accomplir, les éléments nerveux resteront épuisés, incapables, par conséquent, de réactions nouvelles.

La théorie de l'auto-catalyse, dont nous venons d'exposer le mécanisme, prétend expliquer aussi certains autres phénomènes assez surprenants, tels que la canalisation centrale des ébranlements nerveux et les dissociations fonctionnelles du sommeil, des états hypnotiques, etc.

Si intéressantes que soient de pareilles hypothèses, elles nous semblent se heurter à des difficultés qui en diminuent, croyons-nous, singulièrement la valeur.

D'abord, elles ne nous apprennent rien sur la nature de la réaction initiale qui précède la production des acides catalytiques, et qui est déterminée directement par l'action de l'excitant. Or c'est cette réaction qui se propage le long des voies : les catalyseurs ne font qu'en accélérer la marche au début, pour l'entraver ensuite ; et c'est elle aussi qui, se communiquant aux appareils terminaux, les incite à l'action : c'est donc la connaissance intime de cette réaction qui intéresse au premier chef le neurologue. Nous en sommes encore à la concevoir comme une rupture d'équilibre au sein de l'édifice moléculaire. Et sans doute cette conception est exacte, mais nous voudrions bien savoir encore quels changements de propriétés, s'il s'en produit, accompagnent la perturbation dans la position locale relative des dernières particules de la substance nerveuse. Peut-être, d'ailleurs, avons-nous tort de demander à quelque théorie que ce soit une explication de cette nature, sans doute impossible à donner.

La théorie auto-catalytique nous paraît présenter quelques difficultés beaucoup plus graves que cette lacune inévitable. La première est l'accumulation des réactions chimiques qu'elle suppose. Appliquons ses données à un exemple concret. Un léger frottement ou une piqûre de la plante des pieds est suivie de la contraction d'un certain nombre de muscles du membre inférieur, mais surtout des fléchisseurs des orteils. Or on sait que les prolongements nerveux excités ont leurs corps cellulaires dans les ganglions rachidiens de la région sacrée : fibres sensorielles cutanées plantaires du nerf tibial, ou sciatique poplitée interne ; et on sait aussi que les fibres motrices qui président à la flexion des orteils, sont des branches terminales centrifuges du même nerf tibial.

L'ébranlement nerveux doit donc parcourir un arc réflexe dont les deux branches mesurent, chez un homme de taille moyenne, une longueur d'environ 2^m,40. Or ce parcours s'accomplit avec une telle rapidité que la réaction paraît se produire à l'instant précis où est posée l'excitation. En réalité, une fraction de seconde sépare les deux phénomènes, un dixième approximativement, en tenant compte des 0^o03 qui mesurent le temps perdu de la transmission du neurone centripète au neurone centrifuge. On sait, d'autre part, que la phase réfractaire, c'est-à-dire le temps employé par la substance nerveuse pour revenir à l'état d'équilibre, est excessivement réduite. Le nombre des *stimuli* efficaces d'égale intensité pouvant être, dans certains cas, de 500 par seconde, il faut que l'équilibre, à chaque excitation, se rétablisse en 0^o002. Il serait donc nécessaire qu'en 0^o102, sur une longueur de 2^m,40, se produisissent toutes les réactions dont nous avons parlé : déséquilibre excitatoire initial, production de substances acides catalytiques, extension des processus réactionnels à toute la substance du neurone centripète et du neurone centrifuge, production d'enzymes, intervention de réactions oxydatives aboutissant à la destruction des substances acides des réactions antérieures, enfin restauration de la substance nerveuse dans son premier état tout le long de la voie qui va de la plante du pied à la moelle lombaire et revient de la moelle lombaire à la plante du pied (1).

Sans doute, le monde inorganique nous offre des exemples de phénomènes s'accomplissant avec une extraordinaire rapidité : ainsi, tandis que la vitesse de l'ébranlement nerveux n'est que de 30 à 35 mètres en moyenne par seconde, chez l'homme, elle est de plus de

(1) Pour se faire une idée complète du phénomène que nous avons pris comme exemple, il faudrait faire intervenir l'action des neurones corticaux, le réflexe plantaire étant un réflexe cutané supérieur.

300 mètres pour les vibrations de l'air, et de près de 300 000 kilomètres pour celles de l'éther (1), et l'on comprend que si l'ébranlement nerveux consiste en un simple mouvement vibratoire, un dixième de seconde puisse lui suffire pour parcourir l'arc réflexe dont nous avons parlé. Mais si l'on fait intervenir toutes les réactions chimiques exigées par l'hypothèse auto-catalytique, on se demande comment ces opérations si complexes peuvent se réaliser dans un intervalle de temps si restreint. On dira peut-être, comme l'écrit Bottazzi interprétant Brailsford Robertson, que « *cette réaction chimique qui s'effectue d'abord d'autant plus (de plus en plus) rapidement, à la suite de son déroulement antérieur, mais qui, à une période ultérieure, se trouve inhibée, du fait même de ses progrès... ne peut être que la réaction auto-catalytique, c'est-à-dire celle qui est accélérée par un de ses propres produits ; aucune autre espèce de réactions chimiques ne présente d'accélération positive pendant la période de son développement* » (2). Mais une théorie n'offre pas grand avantage, qui soulève des difficultés aussi irréductibles que celles qu'elle prétend résoudre. A la prendre absolument, d'ailleurs, et en dehors de la question de temps, il paraîtra toujours un peu contradictoire qu'une réaction abandonnée à ses propres forces s'exalte à la suite d'une auto-production de substances qui augmenteraient son avoir énergétique par un apport tiré d'elle-même (3).

Si le fait de l'exaltation est inexplicable par des rai-

(1) 300 000 kilomètres à la seconde est aussi la vitesse de propagation de l'ébranlement électrique, ce qui est une preuve de plus que cet ébranlement électrique ne peut être assimilé à l'ébranlement nerveux.

(2) SCIENTIA, *loc. cit.*, p. 181.

(3) L'explication donnée par G. Bohn, de cette réaction « qui commence spontanément » et « se renforce elle-même », n'est guère faite pour tranquilliser un chimiste tant soit peu scrupuleux. REVUE PHILOSOPHIQUE, juin 1914 : *L'Activité chimique du cerveau*, p. 565.

sons d'ordre physico-chimique, n'est-ce pas une preuve que l'influx nerveux, en plus de la rupture d'équilibre moléculaire, comporte l'action d'un coefficient d'ordre vital ? Ce fait n'est pas d'ailleurs le seul qui justifie cette façon de voir. Nous avons déjà fait plus haut une semblable remarque. Notons, dans le même ordre d'idées, quelques autres caractères propres à la nature de l'ébranlement nerveux.

Une excitation arrivant au muscle par l'intermédiaire du neurone qui l'innerve, et juste assez forte pour déterminer une contraction de ce muscle, est inefficace quand elle lui est appliquée directement. Le muscle est cependant directement excitable par les mêmes agents qui excitent le neurone, et en fait, si l'on fait agir sur lui le même excitant, tout à l'heure inefficace, mais en augmentant l'intensité de son action, la contraction se produit. Or cette anomalie ne peut pas s'expliquer par l'hypothèse que l'excitation lancée dans le neurone a augmenté d'intensité pendant qu'elle le traversait, et qu'elle arrive, par suite, considérablement renforcée dans la plaque motrice du muscle. La théorie de l'avalanche (1) de Pflüger, en effet, a été démontrée fautive : s'il est vrai que l'intensité de l'ébranlement, comme aussi sa vitesse, croissent au début, elles s'atténuent progressivement en se rapprochant de l'organe terminal. A moins, donc, que l'excitation ne porte en un point très voisin de cet organe, l'ébranle-

(1) Cette théorie soutient que l'ébranlement nerveux devient de plus en plus intense à mesure qu'il progresse le long des nerfs : il fait *boule de neige*. D'après cette conception, plus le point d'excitation est éloigné de la terminaison du nerf dans l'organe, plus le chemin à parcourir est long, et plus, par conséquent, l'ébranlement communiqué à l'organe doit être énergique. C'est en effet ce qu'on avait observé, et ce qui avait été précisément l'origine de la théorie de l'avalanche. Des observations mieux conduites ont prouvé le contraire, et on suppose que dans les expériences où le maximum de contraction d'un muscle correspondait au maximum d'éloignement du point d'excitation, l'activité du nerf avait été exaltée par les manipulations qui avaient accompagné la préparation du dispositif neuro-musculaire.

ment, quand il arrive au bout de sa course, par exemple dans les terminaisons intra-musculaires, a beaucoup perdu de son énergie initiale, si bien que la distance peut être telle que l'excitation neurale expérimentale ne produise aucune réaction appréciable dans le muscle. Dans le cas où l'ébranlement nerveux, avec une énergie physique moindre, détermine une contraction qu'une excitation musculaire directe plus forte (égale à celle qui a provoqué l'ébranlement nerveux initial), ne réussit pas à produire, il faut donc admettre l'intervention d'une énergie spéciale, et conclure que « *la conductibilité nerveuse n'est... nullement comparable aux conductibilités physiques* » (1). L'auto-catalyse, ici, n'explique évidemment rien.

Elle n'explique pas davantage le fait de la marche pour ainsi dire *spécifique*, de l'ébranlement nerveux dans les centres. Pour comprendre la difficulté du problème, il faut se représenter l'inextricable enchevêtrement des terminaisons des neurones à tous les niveaux de l'axe cérébro-spinal. Comment l'ébranlement arrive-t-il, non pas à se frayer un chemin dans cette sorte de maquis nerveux, mais *tel* chemin, destiné à assurer infailliblement les communications entre *tel* point de la périphérie ou de la profondeur, et *telle* zone de la substance corticale ? Brailsford Robertson trouve tout simple d'expliquer le phénomène par la formation d'une plus grande quantité de catalyseur sur certains trajets que sur certains autres. Mais d'où procède la détermination du trajet sur lequel les substances catalytiques s'accumuleront en quantité prépondérante ? Et d'où vient que ce trajet est toujours le même pour une fonction donnée ? Qu'est-ce qui fait, par exemple, qu'à une excitation portée sur la rétine correspondra toujours la formation d'une plus grande quantité de catalyseur

(1) M. Arthus, *Éléments de Physiologie*, p. 648, Paris, 1902.

sur le chemin qui va du fond de l'œil à la fissure calcarine, en passant par le corps genouillé externe de la couche optique? Et quand plusieurs excitations périphériques se produisent à la fois et que, par suite, il y a accumulation de catalyseurs sur plusieurs voies nerveuses, quelle est l'influence qui aiguille l'ébranlement sur l'une, de préférence à l'autre, et toujours d'ailleurs sur celle exigée par l'accomplissement de la fonction? Si la quantité de catalyseur est la même sur toutes les voies intéressées en même temps par des phénomènes sensoriels spécifiquement différents, à quoi tient le choix du trajet? Et si la quantité est plus considérable sur une voie, pourquoi tous les ébranlements ne passent-ils point par celle-là? D'ailleurs, la théorie suppose que la production du catalyseur est un des résultats de la rupture d'équilibre déterminée dans la voie nerveuse par l'excitation : le catalyseur ne se forme que là où il y a ébranlement; c'est donc la direction prise par l'ébranlement qui explique la présence du catalyseur sur tel trajet, et non l'inverse.

Ici encore il faut renoncer à vouloir tout expliquer par la physique et la chimie, et admettre l'existence, dans les processus nerveux, d'une énergie d'un autre ordre. Et de même, ce n'est point par l'hypothèse de la production de substances catalytiques ou autres, qu'on éclairera d'un jour bien lumineux la question si obscure de l'*irréciprocité* de la conduction nerveuse au niveau des jonctions inter-neurales et neuro-organiques, pas plus que celle de la nature de l'action exercée par la volonté sur les neurones corticaux de nos voies motrices.

II. — *Caractères généraux de l'ébranlement physiologique nerveux*

En traitant de la nature de l'ébranlement nerveux, nous avons été forcément amenés à parler de certains

des caractères généraux de cet ébranlement, et même du plus important de tous au point de vue anatomique et physico-chimique, à savoir que tout ébranlement nerveux, quel qu'il soit, a pour point de départ un phénomène toujours le même, malgré la diversité des causes qui peuvent le provoquer : un changement dans l'état d'équilibre relatif des molécules constitutives de la substance nerveuse.

On voit immédiatement les conséquences de ce fait. Tout excitant, soit mécanique, soit physique, soit chimique, soit physiologique, soit psychique, quand il aborde le système nerveux, doit se réduire à n'être qu'un simple producteur d'ébranlement moléculaire. Il serait sans doute intéressant de connaître la nature intime de cet excitant, c'est-à-dire, la nature intime soit de la cause externe dont l'action ébranle nos appareils de sensorialité, soit de la cause interne qui agit sur nos dispositifs centrifuges : mais cela, pour le neurophysiologiste, est secondaire. Je sais bien, par exemple, que ce n'est pas du vert, du rouge, du bleu... qui se propagent le long de mes voies optiques, et je sais bien aussi, quelle que soit la nature de ce vert, de ce rouge, de ce bleu... qu'ils sont assujétis, comme tous les autres agents excitateurs, à ne déterminer autre chose dans mes organes sensoriels, qu'une rupture d'équilibre apte à provoquer l'activité de mes cellules corticales : cela, pour moi, est l'essentiel, au point de vue de la connaissance de mes processus nerveux. Je sais que la couleur, propriété physique, n'est pas, *comme telle*, en moi, et que seule la modification moléculaire dont elle est la cause la représente dans mes appareils de perception. Qu'est-elle hors de moi ?.. C'est aux sciences physico-chimiques à trancher la question.

Les divers ébranlements nerveux ne peuvent donc être conçus comme spécifiques. Considéré en lui-même, un ébranlement nerveux non seulement n'est ni vert,

ni bleu, ni rouge..., mais il n'est ni lumineux, ni sonore, ni gustatif..., ni même sensoriel ou moteur. S'il détermine des phénomènes moteurs ou des phénomènes sensoriels, et tels ou tels phénomènes sensoriels, cela tient à la nature des dispositifs terminaux dont il excite l'activité. C'est là ce que la physiologie entend dire quand elle parle de l'*indifférence* de l'ébranlement nerveux. Une preuve de cette indifférence est la *transposition fonctionnelle* expérimentale des neurones.

Si on rattache en *s*, figure 3, le bout central *l* du grand hypoglosse *g. h.* (moteur), au bout périphérique

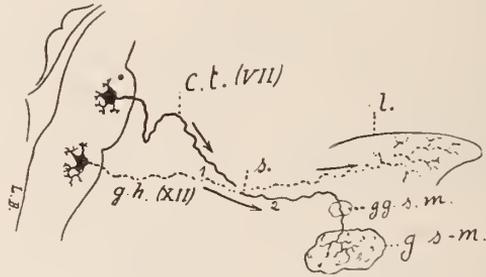


FIG. 3

2 de la corde du tympan *c. t.* (sécrétrice) par l'intermédiaire du lingual (sensoriel) avec lequel cette corde se fusionne peu après sa sortie de la boîte crânienne (1), les fibres de l'hypoglosse prennent, en bourgeonnant, la place laissée libre par les fibres dégénérées de la corde du tympan, et se rendent, par conséquent, soit dans le ganglion sous-maxillaire, *gg. s.-m.*, soit dans la glande sous-maxillaire *g. s.-m.* Dès lors, tout ébranlement lancé dans le grand hypoglosse, au lieu de déterminer comme auparavant la contraction des muscles

(1) Le lingual n'est pas figuré dans notre schéma, et nous avons supposé que les fibres de la corde du tympan viennent du facial (VII) et ont leurs cellules d'origine dans la protubérance annulaire.

de la langue *l.*, provoque une abondante sécrétion de la glande sous-maxillaire *g. s.-m.* C'est donc l'organe terminal, glande ou muscle, qui spécifie le résultat des ébranlements qui se propagent dans l'hypoglosse.

On a même tenté un autre genre de transposition, destiné à montrer qu'un ébranlement sensoriel est capable de présider à des fonctions de motricité, pourvu qu'on puisse le dériver dans des organes moteurs. On a réalisé l'expérience en rattachant en *s*, figure 4, le bout central *1* du lingual *li.*, au bout périphérique *2* du grand hypoglosse *g. h.* Quand les fibres du lingual ont

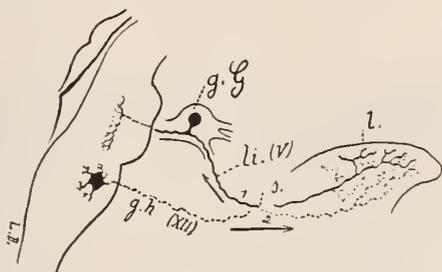


FIG. 4

bourgeonné et remplacé les fibres disparues du tronçon périphérique de l'hypoglosse. l'excitation, par exemple, en *1*, du nerf nouveau ainsi constitué, donne une contraction des muscles de la langue *l.*, par le bout périphérique, et une sensation par le bout central, dont les connexions corticipètes ne sont pas indiquées dans le schéma.

Le résultat de cette expérience de Philippeaux et Vulpian est, il est vrai, fort contesté, à cause des fibres d'origine étrangère qui sont mêlées aux fibres du lingual : les fibres constitutives de la corde du tympan. Le schéma de la figure 5 rend compte de cette complication (1). Les fibres de la corde du tympan,

(1) Nous avons négligé de représenter dans ce schéma les ramifications qui se rendent aux organes glandulaires.

c. t., sont de deux sortes : sécrétrices et gustatives. Les premières, *f. s.*, ou bien viennent d'un ganglion sympathique en rapport avec le facial *F. (VII)*, ou bien ont leurs cellules d'origine parmi celles du facial lui-même, dans la protubérance annulaire, *p. a.* Quant aux fibres gustatives, *f. g.*, elles dépendent du nerf intermédiaire de Wrisberg, *n. W.*, Celui-ci, accolé au facial presque au sortir du tronc cérébral, présente sur son parcours un renflement triangulaire, véritable ganglion (ganglion géniculé *g. g.*) où se trouvent précisément les corps cellulaires d'origine des fibres gustatives de la corde du tympan. L'ensemble du nerf

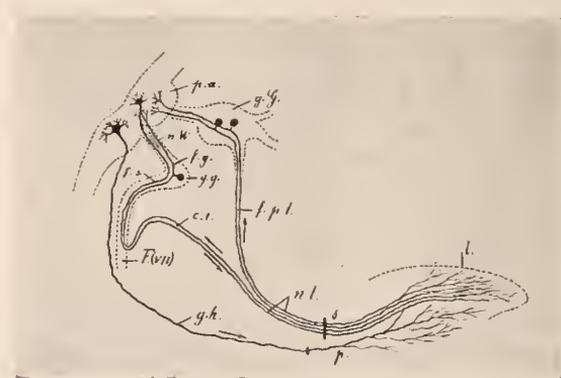


FIG. 5

lingual *n. l.* comprend donc : 1° des fibres gustatives et des fibres de sensibilité générale propres, *f. p. l.*, dont le corps cellulaire est dans le ganglion de Gasser *g. G.*, ou ganglion de la racine sensitive du trijumeau ; 2° des fibres amenées par la corde du tympan, et qui sont, les unes à fonction sécrétrice, les autres à fonction gustative. Lorsque le tronçon du lingual coupé en *s*, envoie ses fibres régénérées dans les gaines myéliniques du tronçon périphérique *p.* auparavant occupé par les fibres (motrices) du grand hypoglosse *g. h.*, ce

ne sont pas seulement des prolongements sensoriels qui envahissent ces gaines, mais aussi des prolongements sécréteurs. Ne seraient-ce pas précisément ces derniers qui détermineraient la contraction des muscles de la langue, à la suite d'une excitation du lingual ? Dans ce cas, nous aurions encore affaire à une transposition fonctionnelle, inverse de celle de la figure 3, où c'est un ébranlement moteur qui devient sécréteur. Mais rien ne prouve que la contraction des muscles de la langue n'est pas due aux fibres gustatives, soit du lingual, soit de la corde du tympan. Le fait que cette contraction ne se produit plus quand on a sectionné la corde de manière à empêcher la régénération de ses fibres sur le trajet de l'hypoglosse, même s'il est constant, tient peut-être à ce que parmi ces fibres, certaines, d'origine sympathique, sont *trophiquement* indispensables pour que les fibres du lingual puissent bourgeonner dans le tronçon p , de manière à assurer l'innervation motrice des muscles commandés par ce tronçon.

Lors même d'ailleurs qu'il serait prouvé que dans le cas de la suture sensorio-motrice en question ce sont les fibres de la corde du tympan qui remplacent fonctionnellement les fibres de l'hypoglosse, il n'en résulterait pas que le même ébranlement nerveux est essentiellement incapable de présider à la fois à des fonctions motrices et à des fonctions sensorielles. Nous avons eu déjà l'occasion d'observer, en traitant d'autres sujets, que l'argument selon nous le plus propre à démontrer péremptoirement la possibilité d'un pareil cumul fonctionnel, et, par suite, l'indifférence essentielle de l'ébranlement, est celui que nous semble pouvoir fournir la simple inspection de ce qui se passe normalement toutes les fois qu'une seule et même excitation, par exemple une piqûre de la plante du pied, détermine en même temps un phénomène réflexe, comme la flexion

en dedans des orteils, et un phénomène psychique, comme une sensation de tact. L'ébranlement qui parcourt alors le neurone périphérique est bien réellement indifférent, puisqu'il va être la cause prochaine de réactions si diverses. Or, il n'est pas plus spécifié dans les autres neurones de la voie, qu'il ne l'est dans le premier. Le fait est surtout frappant pour ceux de ces neurones qui sont chargés de relier à l'écorce cérébrale les appareils périphériques de la sensorialité. Ainsi,

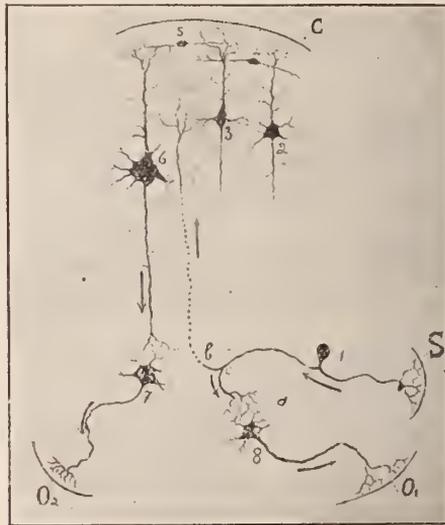


FIG. 6

dans le schéma que nous avons déjà donné, figure 1, et que nous reproduisons figure 6, l'ébranlement déterminé en *S*, en se communiquant au neurone 8, par la branche de bifurcation *C. a*, du neurone 1, détermine un réflexe dont la nature dépend de la nature même de l'organe terminal *O₁*. Le même ébranlement, par la branche *c. b*, se communique aux neurones centraux ascendants, sans subir encore aucune spécification

fonctionnelle. La preuve en est que cet ébranlement, en excitant une cellule corticale sensorielle, 3, provoquera une sensation, et en s'articulant par les dernières ramifications cellulifuges du neurone corticipète, à quelques-unes des fines arborisations descendantes de la cellule nerveuse horizontale, 5, déterminera en même temps, par la voie 5, 6, 7, un phénomène en rapport avec la différenciation de l'organe périphérique O_2 . Du reste les cellules sensorielles elles-mêmes, après avoir réagi spécifiquement, sont capables de communiquer l'ébranlement qu'elles ont reçu à d'autres éléments dont la réaction sera toute différente.

Rien ne nous paraît donc mieux établi que le caractère neutre de l'ébranlement nerveux, au point de vue fonctionnel, et la dévolution aux organes terminaux de la fonction de spécification de l'activité nerveuse. Cela permet précisément de comprendre pourquoi il est possible d'obtenir le phénomène spécifique sans utiliser le fonctionnement de la voie neurale. Au lieu, par exemple, de porter au point S, figure 6, une excitation qui se propagera jusqu'en O_1 , par la voie neurale 1 et 8, ou jusqu'en 3 par la voie 1, ..., ou jusqu'en O_2 par la voie 1, ..., 5, 6, 7, je puis exciter directement O_1 , 3, O_2 , et obtenir, dans ses caractères essentiels, un phénomène identique à celui qu'aurait déterminé l'excitation transmise par les divers chaînons nerveux. C'est dans le muscle O_1 , par exemple, que réside la propriété de contractilité, dans la cellule 3, que réside la faculté de sensorialité, etc... Pour que le phénomène propre à ces éléments puisse se produire, il faut et il suffit que leur activité soit mise en jeu par une excitation convenable. Cette excitation, je puis la leur fournir directement, et alors le muscle se contracte, la cellule sensorielle réagit suivant le mode sensoriel (lumineux, sonore, etc.), qui lui est particulier, la glande sécrète, etc. Dans les conditions de fonctionnement normal,

c'est par la voie nerveuse que cette excitation leur arrive ; et c'est là toute la fonction de la voie nerveuse, depuis son chaînon le plus périphérique jusqu'au point le plus éloigné, où se trouve l'organe terminal auquel elle est chargée de faire passer l'ébranlement : elle *conduit*, et dans le fonctionnement complexe auquel elle prend part, elle n'est différenciée que pour cela.

Parmi les conclusions à tirer de ces faits fondamentaux, signalons seulement la suivante : puisque c'est l'organe terminal qui réagit spécifiquement, et puisque la voie nerveuse ne fait que conduire un ébranlement indifférent de sa nature, il est absolument évident que la sensation s'opère dans les seules cellules corticales adaptées à cette fonction, et non point dans ce qu'on appelle les organes des sens, en entendant par là le dispositif périphérique des voies dites sensorielles. A prendre les choses en rigueur, comme nous devons le faire ici, dire, par exemple, que mon œil voit, que mon oreille entend, serait affirmer un véritable non-sens physiologique et témoigner d'une ignorance absolue des notions les plus élémentaires et les plus fermement établies de la neurologie.

Mais si l'acte sensoriel se pose dans l'écorce cérébrale, et s'il y est déterminé par l'influence sur des cellules spéciales d'une modification d'équilibre moléculaire transmise de la périphérie, on voit ce qu'il faut penser de la théorie de la perception immédiate des qualités de la cause externe de nos sensations, et ce qu'il faut penser aussi de la nature même de ces qualités en dehors de nos facultés sensorielles. Ce sont là des questions fort discutées dans certains milieux ; dans le monde des physiologistes on leur permet à peine de se poser. Les excitants des voies neurales étant astreints, comme nous l'avons dit, à réduire leur action à un ébranlement de la substance nerveuse, il est clair qu'ils ne se présentent pas, pour ainsi dire,

en nature, à nos cellules corticales de sensorialité, et, par conséquent, ce ne sont pas ces excitants eux-mêmes, et directement, que nos facultés sensorielles peuvent saisir ; tout au plus serait-ce l'ébranlement que ces excitants ont provoqué. Mais cet ébranlement, lui non plus, ne peut être atteint immédiatement, car il appartient à la voie, et la voie est extérieure à l'organe (cellule ou groupe cellulaire) qui perçoit sensoriellement. De même que l'excitant n'est représenté dans nos voies nerveuses que par la modification, ou ébranlement, qu'il y a produit, de même cet ébranlement n'est représenté dans l'organe sensoriel cortical terminal que par la modification qu'il y produit à son tour, et c'est cette modification, de nature inconnue, qui provoque l'entrée en activité de l'organe. Or l'activité de l'organe terminal sensoriel provoque, non une contraction, comme l'activité de l'organe terminal de la voie motrice, ni une sécrétion, comme l'activité de l'organe terminal de la voie glandulaire, mais un état conscient spécial que nous appelons *sensation* ; état spécial variable suivant la diversité des organes (visuels, auditifs, etc.), et variable aussi pour chaque organe, soit suivant l'intensité, soit suivant quelque autre modalité de la modification produite par l'ébranlement venu de la périphérie ou produit sur place. Ainsi, à l'état conscient spécial que j'exprime en disant que je vois du rouge, correspond un caractère de l'activité de l'organe cortical, différent de celui qui est réalisé quand j'éprouve ce quelque chose, d'inconnu en soi, autre état conscient spécial, que je traduis en disant que je vois du bleu. A chacun de ces caractères particuliers d'activité visuelle corticale correspond aussi un caractère différent de l'ébranlement amené par les neurones corticipètes ; et enfin à ce caractère spécial de l'ébranlement qui a pris naissance dans mes cellules rétiniennees doit correspondre un mode d'exci-

tation spécial aussi de la part de l'agent (éther en vibration) qui a influencé mon dispositif oculaire récepteur.

Une théorie qui refuserait d'admettre ce processus de nos perceptions sensorielles ne serait pas recevable à discussion, et pour toute théorie qui l'admet, la question de l'immédiatisme de la perception est jugée, tout comme celle de la projection dans la réalité extérieure au moi, des caractères *tels quels* de nos sensations (1).

Il est trop évident, en effet, que si les déterminants extérieurs de nos sensations ne sont représentés en fin de compte dans nos cellules corticales que par les excitations qu'ils leur ont envoyées sous forme de rupture d'équilibre moléculaire vital, et si la sensation n'est pas autre chose que l'état conscient où ces excitations mettent nos facultés, — ces déterminants ne sauraient être directement appréhendés par nos perceptions sensorielles.

Il n'est pas moins évident que les qualités de ces déterminants ne se transmettent pas telles quelles, pour y être directement perçues, dans nos facultés encéphaliques de sensorialité, puisqu'elles ne peuvent même pénétrer telles quelles dans nos organes périphériques de réception et de transmission centripète. Par suite nous ne pouvons pas, renversant les termes, affirmer que les qualités de nos sensations correspondent telles quelles à celles des objets qui ont ébranlé nos terminaisons nerveuses périphériques.

(1) Nous entendons ici par *immédiatisme* la théorie d'après laquelle nos sensations saisiraient, appréhenderaient *immédiatement* une réalité qui leur serait extérieure. L'*immédiationisme* qu'a proposé dans cette même REVUE (avril, octobre 1913) notre collègue le P. de Sinéty, s'accorde parfaitement avec les idées que nous exposons nous-même ici. Sans y attacher, croyons-nous, beaucoup d'importance, le P. de Sinéty propose simplement de réserver la *dénomination d'objet de la perception externe* à la réalité extérieure que le vulgaire désigne ainsi. La couleur formelle, qui est identique à la sensation visuelle, ne devrait donc plus être dénommée objet de la vision. De l'aveu de l'auteur, il y a là une pure question de terminologie.

Qui oserait, par exemple, soutenir que l'*amertume* est une qualité inhérente, telle quelle, à certaines particules sapides, de telle sorte que ces particules soient amères en elles-mêmes, indépendamment de toute action sur nos facultés sensorielles gustatives ?.. Il est clair que l'amertume, modalité de la sensation du goût, a sa cause dans une qualité, d'ailleurs complètement inconnue, des particules sapides, mais elle n'est pas elle-même cette qualité.

Qui oserait soutenir encore que la qualité *aiguë* ou *grave* existe, telle quelle, dans l'endolymphe qui ébranle les cils de nos cellules de Corti ?.. Sans doute, au caractère grave ou aigu de l'audition correspond une cause qui réside dans l'excitant de nos voies acoustiques, mais cette cause n'est assurément pas l'aigu ou le grave, existant sous cette formalité dans le liquide de l'oreille interne.

De même, il serait par trop naïf de soutenir que la qualité *douloureuse* ou *agréable* de la sensation tactile existe, telle quelle, dans l'objet même qui entre en contact avec notre surface cutanée, et avant toute action sur mes appareils sensoriels. Assurément, il y a dans cet objet une qualité spéciale qui fait que son application sur nos téguments détermine une sensation de tact agréable ou douloureux, mais cette qualité ne s'identifie pas, dans son être formel, avec la qualité de nos perceptions tactiles.

Il en est absolument de même dans le domaine de nos sensations olfactives.

Pourquoi les sensations visuelles seules feraient-elles exception ?.. A priori on ne le voit pas, et de très nombreuses observations prouvent en effet qu'elles se comportent comme toutes les autres. Il n'est pas douteux, par exemple, que la sensation de *rouge*, tout comme la sensation d'*amer*, s'explique causalement par l'existence, hors de nos organes, dans les excitants rétinien-

eux-mêmes, comme dans les excitants de la cellule neuro-épithéliale du bourgeon gustatif, de quelque chose qui nous donne l'impression de rouge ou l'impression d'amer, mais la qualité sensorielle de rouge, pas plus que la qualité sensorielle d'amer, ne se confond formellement avec ce quelque chose qui la produit.

§ 2. — FONCTIONS NERVEUSES

Ce que nous venons de dire de la nature et des caractères généraux de l'ébranlement nerveux nous dispense de nous étendre longuement sur les fonctions spéciales assurées par cet ébranlement. Sauf, en effet, certaines variantes anatomiques, sans intérêt pour nous au point de vue où nous nous sommes placés dans ce travail, l'étude des fonctions nerveuses nous mettrait toujours en présence de dispositifs essentiellement les mêmes et de processus physiologiques se développant suivant les mêmes lois. Aussi notre intention est-elle de surcharger le moins possible notre description et de nous en tenir aux grandes lignes du sujet en disant quelques mots du fonctionnement physiologique et du fonctionnement psychique de l'élément nerveux.

A. — FONCTIONNEMENT NEURO-PHYSIOLOGIQUE

A la physiologie seule appartiennent tous les phénomènes vitaux qui n'atteignent pas le seuil de la conscience. On les appelle encore phénomènes de la vie végétative, parce qu'ils sont caractéristiques du fonctionnement vital des végétaux : il n'y a pas de vie psychique chez la plante. Or, si nous enlevons de l'ensemble des phénomènes nerveux tous ceux qui s'accompagnent essentiellement de conscience, c'est-à-dire tous les phénomènes de sensorialité et tous les phénomènes qui sont sous la dépendance immédiate de la

volonté, il nous reste, comme manifestations neuro-physiologiques, le groupe, de beaucoup le plus riche, des *réflexes*.

Nous devons entendre par réflexe l'ensemble des phénomènes vitaux nerveux qui assurent, en réponse à une excitation donnée, la production d'une réaction spéciale, sans intervention, à titre essentiel, ni de la conscience, ni de la volonté.

Prenons quelques exemples pour bien dégager cette notion.

Quand un faisceau lumineux qui tombe sur ma rétine diminue d'intensité, l'ouverture pupillaire de mon iris se dilate ; elle se rétrécit, au contraire, si l'éclairement devient plus intense : cette accommodation est le résultat d'un mécanisme neuro-physiologique pur, dans lequel ni ma conscience, ni ma volonté ne sont intervenues à aucun titre.

Nombreux sont les dispositifs qui peuvent fonctionner ainsi automatiquement, sans que j'en aie aucune connaissance, sans qu'il soit nécessaire que j'en règle la marche par une influence volontaire directe : c'est de la sorte que s'exécutent les mouvements péristaltiques de l'intestin, que s'accomplissent les phénomènes de vaso-motricité, que le cœur bat, que le rythme respiratoire s'entretient, que les glandes élaborent et excrètent, que toutes les cellules reçoivent du système nerveux les excitations qui les maintiennent dans un degré d'activité suffisant, pour assurer leur nutrition (1), etc...

Sans doute, certains de ces phénomènes peuvent

(1) A moins que la nutrition ne soit sous la dépendance de nerfs spéciaux, appelés *nerfs trophiques*, comme certains physiologistes l'ont soutenu, ou que, plus simplement, elle n'ait avec le système nerveux que des relations indirectes, celui-ci étant chargé, en gouvernant la vaso-motricité, de fournir aux éléments anatomiques, en temps opportun, les matériaux dont ils ont besoin pour se refaire. Dans tous ces cas, d'ailleurs, ce seraient encore des fonctions réflexes qui pourvoiraient directement ou indirectement à la nutrition.

tomber, indirectement du moins, sous l'influence de la volonté. Je puis, par exemple, volontairement, m'entretenir dans des idées, me procurer des émotions, qui modifieront le rythme cardiaque et l'amplitude du pouls, qui amèneront la dilatation ou la constriction des vaisseaux sanguins, qui pourront même influencer énergiquement sur l'activité des organes glandulaires ; mais l'intervention volontaire n'est pas essentiellement requise pour que ces phénomènes se produisent normalement, et, pour l'ordinaire, tout leur processus est automatique et fatal, purement réflexe.

De même, si on effleure sur un homme sain certaines régions de prédilection de la peau, cette excitation amènera la contraction instantanée d'un certain nombre de muscles, et le sujet aura parfaitement conscience et de l'application de l'excitant et de la réaction musculaire qui en résulte. Mais si une lésion accidentelle vient à séparer anatomiquement la moelle des centres encéphaliques, ou si ces centres sont mis psychiquement hors de fonction, comme dans le sommeil profond naturel ou provoqué, la même excitation déterminera les mêmes mouvements, ou même des mouvements plus énergiques et plus étendus, sans que le sujet ait la moindre conscience de ce qui s'est produit.

En résumé, il existe des phénomènes nerveux sur lesquels la volonté ne peut avoir aucune influence directe, et qui échappent toujours à notre conscience : ce sont de purs réflexes. Il en est d'autres, dont au contraire l'exécution peut être initialement volontaire, et dont la conscience peut s'emparer ; mais ces phénomènes peuvent se produire aussi, les mêmes dans leur marche et leur résultat, en dehors de toute intervention volontaire et consciente, aussi les traite-t-on comme de véritables réflexes.

On conçoit, théoriquement, la possibilité de la réalisation d'un dispositif réflexe par un seul neurone ; dans

ce cas, l'excitation, partie d'un organe où se termine un prolongement neuronien cellulipète, par exemple, la peau, traverserait ce prolongement, puis le corps cellulaire, et s'engagerait dans le prolongement cellulifuge pour gagner l'organe, par exemple, un muscle, innervé par ce prolongement. Peut-être un pareil dispositif est-il réalisé chez certains organismes, inférieurs dans l'échelle zoologique, mais assez développés toutefois pour posséder un système nerveux différencié. En fait, l'appareil réflexe le plus simple que l'on ait observé,

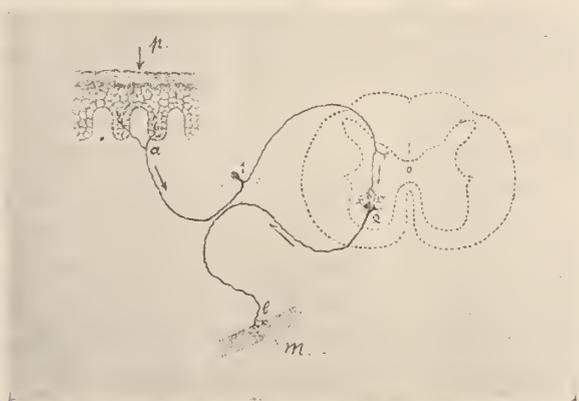


FIG. 7

est celui qui est constitué par un arc anatomique comportant deux neurones, 1 et 2, figure 7. On peut du moins, par des sections méthodiques de la moelle, parvenir à isoler les éléments de ce réflexe simple (1). L'excitation portée en *p.*, sur la surface de la peau,

(1) On comprend d'ailleurs qu'on n'opère jamais sur deux seuls neurones, comme nous l'avons schématisé dans notre figure, mais sur des nerfs, et par conséquent sur des groupes neuroniens; mais ces groupes étant constitués par des éléments de même nature physiologique, ou du moins ceux qui seraient de nature différente ayant été mis expérimentalement hors de fonction, on peut ne considérer, dans chacune des branches de l'arc, qu'une seule de ses unités anatomiques.

détermine un ébranlement qui finit, après passage par la moelle épinière, par aboutir à un organe terminal, par exemple un muscle, *m*.

On pourrait d'ailleurs simplifier encore ce dispositif en supprimant l'organe de départ, la peau, et l'organe d'arrivée, le muscle. Alors le neurone 1 serait excité directement en *a*, par exemple, et l'ébranlement, suivant la voie réflexe, arriverait en *b*, où il ne produirait évidemment rien, l'organe percepteur ayant disparu ; mais on pourrait constater qu'il arrive bien au terme, en le dérivant, par exemple, dans un galvanomètre.

Les complications qui pratiquement surchargent toujours ce dispositif élémentaire sont fort nombreuses, surtout dans certains cas de passage par la voie sympathique. On peut toutefois les grouper sous deux chefs principaux. Ou bien le réflexe reste simple à son point d'arrivée comme à son point de départ, mais nécessite, pour pouvoir produire dans l'organe terminal la réaction spécifique, l'intervention d'autres éléments dont l'action est d'ailleurs assez obscure. Ainsi les réflexes tendineux exigent, en plus d'un dispositif médullaire semblable à celui de la figure 7, l'intégrité des fibres rubro-spinales, des fibres vestibulo-spinales et des fibres du faisceau longitudinal postérieur. Les réflexes cutanés des cliniciens (réflexes cutanés supérieurs, ou réflexes cutanés corticaux) sont abolis par la mise hors de service des fibres des cellules pyramidales de l'écorce cérébrale. — Ou bien le réflexe, simple à son point de départ, s'exprime à l'arrivée par une réaction intéressant un nombre d'organes plus ou moins grand. C'est que l'ébranlement qui a parcouru le neurone 1, ne se communique pas seulement au neurone 2, le seul que nous ayons schématisé, mais à plusieurs autres, qui le conduisent directement dans leurs organes terminaux respectifs, ou le transportent à d'autres niveaux

des centres, d'où il peut s'irradier sur des neurones encore plus nombreux.

B. — FONCTIONNEMENT NEURO-PSYCHIQUE

L'exercice des fonctions purement physiologiques ne nécessite pas, à considérer ces fonctions dans leurs seuls caractères essentiels, la présence d'un système nerveux. Ce sont bien, en effet, des fonctions de cette nature qui s'accomplissent, par exemple, dans les cellules de n'importe quel tissu animal séparées de l'organisme et maintenues vivantes en milieu artificiel, sans aucune excitation d'ordre nerveux (1). D'ailleurs, chez le végétal lui-même, toutes les fonctions vitales sont des fonctions physiologiques, et certaines se présentent même avec les caractères essentiels de véritables réflexes : le végétal ne possède pourtant pas de système nerveux.

Poussant plus loin l'observation, il faut même admettre que le système nerveux n'est pas absolument nécessaire à l'exercice de toute fonction physiologico-psychique. En fait, le seul caractère qui puisse être universellement invoqué quand il s'agit d'établir, entre animaux et végétaux, une ligne de démarcation valable pour tous les cas, est celui de la sensation : partout où il y a vie animale il y a capacité radicale de sentir, c'est-à-dire d'être établi dans des états conscients déterminés par des modifications subjectives à cause externe ou interne. Or, il existe des organismes inférieurs légitimement classés, semble-t-il, parmi les animaux, à qui par conséquent il faut reconnaître une certaine

(1) Ce fait nous semble appuyer l'opinion de ceux qui pensent que les neurones n'ont qu'une influence indirecte sur l'activité trophique, dans ce sens qu'ils ne feraient que régler l'apport des matériaux nutritifs, par l'intermédiaire des phénomènes vaso-moteurs.

vie psychique, la vie de sensation, et qui, pourtant, sont dépourvus de système nerveux, tout au moins de système nerveux constitué par l'agencement spécial de cellules différenciées en neurones. Cela est de toute évidence pour ceux de ces organismes qui sont unicellulaires. Quant aux autres, parmi les cellules qui les constituent, et qui nous paraissent toutes, à peu de chose près, du même type morphologique, peut-être certaines, par une adaptation délicate que nous ne pouvons saisir, sont-elles aptes à exercer, à l'exclusion des autres, les fonctions de réception, de transport, d'émission, de perception, etc., dévolues, chez les êtres plus hautement différenciés, aux cellules nerveuses telles que nous les avons décrites. Peut-être aussi, chez l'animal unicellulaire, une adaptation plus délicate encore a-t-elle spécialisé certaines régions du cytoplasme ou du noyau en vue de l'exercice des différents modes de sensibilité consciente.

De cela, nous ne saurons probablement jamais rien, et nous devons ici, pour ne pas nous engager en des hypothèses sans fondement expérimental suffisant, nous en tenir aux manifestations de la vie physiologico-psychique telles qu'elles nous apparaissent dans les organismes supérieurs, où leur étude est plus facilement abordable.

Quelques idées générales dominent la question. Nous nous bornerons à les indiquer très sommairement.

D'abord, la fonction neuro-psychique, ou fonction sensorielle, est une fonction cellulaire, et c'est pourquoi la biologie regarde son étude comme faisant partie de son domaine propre, alors qu'elle se désintéresse complètement des phénomènes purement psychiques, ou spirituels, dans lesquels l'activité cellulaire n'intervient qu'à titre de phase préparatoire.

Il faut concevoir, ensuite, que c'est le même prin-

cipe de vie, chez nous l'âme raisonnable, qui informe toutes nos cellules, quelle que soit leur fonction; mais si c'est la même âme que nous retrouvons partout dans l'organisme, dans la totalité de son essence et de son essentielle perfection, elle n'est pas présente dans chacun de nos éléments anatomiques selon tous ses modes d'activité. C'est à peu près la formule dont se servait saint Thomas, sauf que l'illustre docteur parlait de *parties* là où nous parlons de *cellules*, la constitution cellulaire de l'organisme étant alors inconnue (1).

Nous devons, en tenant compte de ces principes incontestables, nous faire de la marche du phénomène sensoriel l'idée suivante : dans les terminaisons périphériques des voies centripètes se produit un ébranlement qui n'est, anatomiquement, qu'une rupture de l'équilibre moléculaire de la substance nerveuse. Cette substance, toutefois, est vivante, et c'est pourquoi nous observons, dans la façon dont se comporte la rupture d'équilibre, des caractères spéciaux dont on ne rend compte qu'en admettant l'existence d'un principe de vie, l'âme, essentiellement différent des principes physico-chimiques. La production de l'ébranlement, la propagation de l'ébranlement, relèvent donc d'une activité au moins physiologique. Cette activité n'est d'ailleurs que cela, car aucune des modifications vitales qui la caractérisent ne comporte encore de phénomène de conscience; il faut, pour que ce phénomène se produise, que l'ébranlement, arrivé au terminus de la voie centripète, se communique à un organe informé, comme tous les autres éléments de la voie, par un principe vital, mais dont l'activité se manifeste différemment.

(1) « Anima tota est in qualibet parte corporis secundum totalitatem perfectionis, et essentialis, non autem secundum totalitatem virtutis : quia non secundum quamlibet suam potentiam est in qualibet parte corporis ». *Sum. theol.*, p. I^a, q. LXXVI. art. 8.

Si l'âme est, là comme ailleurs, unie d'une union substantielle à l'élément matériel du composé, elle y déploie cependant une « vertu » qu'elle ne déploie point ailleurs, et c'est pourquoi la modification cellulaire, au lieu d'être, ici, une simple réaction physiologique, sera d'emblée une réaction psychique, nous entendons une réaction essentiellement consciente : une sensation. Ce serait donc se tromper étrangement que de se représenter le phénomène sensoriel comme constitué par deux actes vitaux distincts : d'abord un acte physiologique, la modification de l'organe terminal, puis un acte psychique, la prise de conscience vague de cette modification. L'ébranlement venu de la périphérie, en modifiant un organe encéphalique constitué de manière à s'adapter à une activité spéciale de l'âme, l'activité sensorielle ou neuro-psychique, fait entrer en exercice cette activité qui pose là, du coup, son acte propre, spécifique de l'organe en question : cet acte propre n'est pas autre chose que la perception sensorielle elle-même, ou état conscient particulier répondant à la modification particulière de l'organe.

Du fait que l'âme, bien qu'elle soit partout quant à la totalité de son essence, n'est que dans certains organes déterminés quant à certains modes de son activité, il suit nécessairement que cette activité ne pourra poser son acte que là où se trouve l'organe qui lui est spécialement adapté. Il y a donc une localisation des actes sensoriels : ce n'est pas partout, ni n'importe où, dans l'organisme, que se constitue l'état conscient que nous appelons sensation auditive, ou autre, mais là même et là seulement où se trouve la faculté sensorielle affectée à ces phénomènes spécifiques.

Cette dernière observation ouvrirait tout naturellement la voie à une étude sur les régions corticales des localisations sensorielles perceptrices et des localisations

sensorielles mnésiques, où une grande place devrait être faite à la psycho-physiologie et à la neurologie pathologique. Mais, outre que la discussion des faits sur lesquels ces questions sont fondées demanderait des développements trop considérables, nous avons déjà, à plusieurs reprises, dans cette REVUE même, exposé sur ces différents sujets quelques idées auxquelles nous nous permettons de renvoyer nos lecteurs.

L. BOULE, S. J.

VARIÉTÉS

I

A PROPOS

D'UN OUVRAGE RÉCENT SUR L'ASTRONOMIE NAUTIQUE AU PORTUGAL

A L'ÉPOQUE DES GRANDS VOYAGES DE DÉCOUVERTE (1)

—

M. Bensaude est portugais et édite, dans la Suisse allemande, un ouvrage écrit en français. Ceci suffit amplement pour excuser quelques négligences d'impression et de style, d'ailleurs sans importance réelle.

La lecture de l'*Astronomie nautique* est pleine d'intérêt, mais laisse une impression complexe et étrange. L'auteur fait preuve de talent. Chercheur érudit, il exhume du fond des bibliothèques nombre de volumes rares, et se plaît à appeler notre attention sur des textes curieux peu connus. Malheureusement le sujet traité appartient à l'astronomie et M. Bensaude n'est ni astronome ni mathématicien. Il nous en prévient loyalement, je me plais à le dire ; mais, cet aveu suffit-il ? Oni, si l'on se place au point de vue de l'honnêteté scientifique ; non, si l'on se met à celui de la valeur des raisonnements. Un astronome les eût conduits autrement.

M. Bensaude plaide un procès. La partie dont il prend en

(1) *L'Astronomie nautique au Portugal à l'époque des grandes découvertes*, par Joaquim Bensaude. Bern, Akademische Buchhandlung von Max Drechsel, 1912. Un vol. in-4° de 293 pages.

mais les intérêts a peut-être raison ; quelques-unes de ses preuves à l'appui sont en tous cas excellentes : mais après avoir entendu le plaidoyer de l'avocat, le juge, je veux dire le lecteur, ne sait pas à quoi s'en tenir.

L'objet du procès porte sur le problème de la détermination de la latitude en mer. Les grands navigateurs portugais de la fin du xv^e siècle savaient-ils le résoudre ? Jadis on le niait, mais à tort. La vérité est que la *Junta dos mathematicos*, espèce de Bureau des Longitudes qui fonctionnait à Lisbonne, tenait secrètes ses tables nautiques et la manière de s'en servir. De ce qu'on ne connaissait pas les règles formulées par la *Junta* pour ses marins, on concluait que ces règles n'existaient pas. Plus personne ne le soutiendrait sérieusement aujourd'hui.

Mais sur quelles données la *Junta* calculait-elle ses tables nautiques ? Voilà la question précise qui forme l'objet du litige.

« La *Junta* puisait à des sources allemandes, disent la plupart des historiens ; c'étaient les *Éphémérides* de Regiomontanus et d'autres documents analogues que lui fournissait un savant allemand, membre lui-même de la *Junta*, Martin Behaim de Nuremberg. »

M. Bensaude conteste cette allégation. Je crois qu'il a raison, mais un des arguments auxquels il attache le plus d'importance est peu concluant. Présenté autrement, c'est-à-dire débarrassé des erreurs d'astronomie sphérique qui l'énervent, il pourrait devenir décisif, soit pour, soit contre la thèse de l'auteur. Nous y reviendrons.

L'*Astronomie nautique* se divise en trois parties bien distinctes, assez indépendantes l'une de l'autre : une étude sur un volume rare de la Bibliothèque d'Evora ; un projet de préface destiné à servir d'introduction à la reproduction en fac-similé d'un incunable de la Bibliothèque Royale de Munich ; un choix de pièces rares et de documents relatifs à l'histoire de la marine portugaise.

Le mémoire, consacré au volume de la Bibliothèque d'Evora, porte la date de Berne, décembre 1912.

« Il est fort difficile de savoir, dit l'auteur, quelles étaient au juste les connaissances scientifiques et astronomiques des grands marins portugais de la fin du xv^e siècle. »

D'accord, et c'est la conséquence naturelle du soin jaloux avec lequel la *Junta dos mathematicos* tenait secrètes ses tables nautiques. Aussi l'ai-je déjà dit, on a pu soutenir longtemps, avec

grande vraisemblance, que, la *Junta* n'ayant pas de tables propres, les marins portugais se servaient des *Éphémérides* de Regiomontanus.

Or, en 1883, M. Lucien Cordeiro publiait dans le *BOLLETIM DA SOCIEDADE DE GEOGRAPHIA DE LISBOA*, un article intitulé un peu pompeusement : *De como navegaram os Portuguezes no começo do seculo XVI* (pp. 163-188). La solennité du titre se justifiait assez bien par l'importance de la découverte que M. Cordeiro venait de faire à la Bibliothèque d'Évora. C'était un volume renfermant plusieurs ouvrages paraissant indépendants les uns des autres, notamment : *Le Règlement de l'Astrolabe et du Quadrant*, et une traduction portugaise du *Traité de la Sphère* de Sacro Bosco, traduction antérieure à celle que publia en 1537 Pedro Nunes. Dès 1883, M. Cordeiro émettait une conjecture, qui, aujourd'hui, touche presque à la certitude ; c'est que le volume d'Évora était un exemplaire rarissime des instructions nautiques données jadis par la *Junta* aux amiraux portugais. Il contient en effet toutes les connaissances astronomiques alors indispensables à un marin : la théorie, dans le *Traité de la Sphère* ; la pratique, dans le *Règlement de l'Astrolabe et du Quadrant*. Publié en portugais, le mémoire de M. Cordeiro passa beaucoup trop inaperçu ; s'il avait été écrit dans une des grandes langues européennes, anglais, allemand ou français, il eût fait sensation.

Dans la première partie de l'*Astronomie nautique*, M. Bensaude reprend le travail de M. Cordeiro et groupe ses considérations sous quatre titres : 1° Introduction, 2° Les tables nautiques, 3° Les instruments astronomiques, 4° L'astronomie péninsulaire. Ces titres ne sont pas très adéquats aux sujets traités. L'auteur nous donne, tantôt plus, tantôt moins que ce que le titre annonce. Le plan n'est pas toujours nettement tracé et les matières des chapitres empiètent parfois les unes sur les autres. Pour ne pas me répéter en suivant M. Bensaude, chapitre par chapitre, je me contenterai de quelques observations générales, qui s'appliquent d'ailleurs aussi pour la plupart au second mémoire.

M. Bensaude est un habitué des bibliothèques. On doit lui reconnaître le flair et le coup d'œil qui font faire les trouvailles. L'histoire de la géographie lui est familière. Que n'en puis-je dire autant de celle de la trigonométrie et de l'astronomie ! S'il a lu l'*Histoire de l'Astronomie* de Delambre et les *Vorlesungen über Geschichte der Trigonometrie* de von Braunmühl, c'est en tout cas d'une façon bien distraite. M. Bensaude nous avertit,

je le répète, qu'il n'est pas astronome. Mais, cette déclaration faite, pourquoi ne pas se tenir en garde? Pourquoi quitter aussitôt les terrains de la bibliographie et de la géographie qu'il connaît, pour s'aventurer sur celui de l'astronomie, qui est, pour lui, singulièrement glissant?

Les raisonnements de M. Bensaude sont, en effet, parfois bien étranges. En voici un exemple pris au hasard. Peut-être a-t-il cependant, plus que d'autres, appelé mon attention, parce que M. Bensaude a pris soin lui-même d'en imprimer en caractères gras les passages les plus surprenants. Qu'on en juge. Il s'agit des tables nautiques. Les marins portugais employaient-ils les *Éphémérides* de Regiomontanus? Cela paraît peu vraisemblable. Le *Règlement de l'astrolabe* semble avoir été calculé à leur intention. Puis, il était évidemment plus commode de faire usage du *Règlement*, et de ses tables de déclinaisons solaires toutes calculées, que de se servir des *Éphémérides* et de leur table des longitudes. Je dis plus commode et, intentionnellement, je ne dis rien de plus. Mais M. Bensaude va beaucoup plus loin. Il soutient que l'emploi des *Éphémérides* était impossible. Voici, en effet, en quels termes il parle des tables de ce recueil (p. 19) :

« Ces tables, dit-il, contenaient les positions du soleil, de la lune, (le Caput) des 5 planètes (Saturne, Jupiter, Mars, Vénus et Mercure) dans les signes du zodiaque, calculées jour par jour, pour 32 ans. Chaque mois occupe une page. La page opposée contient une indication sur les dates des éclipses, conjonctions, oppositions, etc. par rapport à ces mêmes mois. Cette deuxième page porte comme titre : *Aspectus lunae ad solem et planetas ; solis et planetarum inter se.*

» On trouve dans les *Éphémérides* la position journalière de chacune des 7 planètes par rapport aux 12 signes du zodiaque où à leurs maisons astrologiques.

» On n'y trouve aucune indication sur le problème des latitudes ; bien plus *on ne trouve pas les éléments indispensables à ce calcul. Un élément important y manque : les tables de déclinaisons.* »

Les phrases sont soulignées dans le texte et ne l'ont pas été par moi. Mais M. Bensaude ne semble pas se douter, que même pour un marin de la fin du xv^e siècle, une fois la longitude solaire donnée, déterminer la déclinaison de l'astre n'était qu'un jeu. L'angle de l'écliptique et de l'équateur était connu. M. Bensaude nous apprend lui-même que les astronomes portugais l'estimaient, les uns à 23°30', les autres à 23°33'. C'est là, en effet,

la valeur qu'ils attribuaient à l'angle de la déclinaison solaire maxima, par lequel les astronomes ont, de tout temps, déterminé l'angle de l'équateur et de l'écliptique. Ceci posé, soit d , la déclinaison cherchée du soleil; l , sa longitude; m , la déclinaison solaire maxima ou l'angle de l'écliptique et de l'équateur: Regiomontanus et tous les astronomes et les astrologues de son temps calculaient d , par la formule alors déjà très ancienne

$$\frac{\sin d}{\sin m} = \frac{\sin l}{\sin 90^\circ}$$

Les tables de sinus circulaient en manuscrit et n'étaient pas rares. L'imprimerie venait d'être inventée; mais ce serait la plus grossière des erreurs historiques, que de limiter déjà aux volumes imprimés les ouvrages d'un usage courant à cette époque.

On se servait alors de tables de sinns naturels, telles celles de Regiomontanus et de bien d'autres. Tous ceux qui s'occupaient d'astronomie possédaient cet instrument de travail indispensable; ce n'est pas à M. Bensaude que je dois l'apprendre. Pour ma part, j'ens admis sans difficulté, que des expéditions aussi bien organisées que celle d'un Vasco de Gama, par exemple, avaient à bord quelques tables de sinus et des officiers capables de s'en servir. Les tables astronomiques donnaient tout au plus la minute des longitudes solaires, et les déclinaisons ne se calculaient pas avec une approximation plus grande. Dans ces limites, les tables de sinns pouvaient s'employer sans interpolations, ce qui rendait leur maniement tout à fait simple et élémentaire. Le calcul d'une déclinaison ne supposait guère d'autre pratique des mathématiques que celle de la multiplication des nombres entiers, par un nombre entier toujours le même, le sinus de $23^\circ 30'$ (ou $23^\circ 33'$). Le produit obtenu devait se diviser ensuite par $\sin 90^\circ$, c'est-à-dire par le nombre très simple qui mesurait le rayon des tables $10'$ ou $6.10''$ (1). Pareille

(1) On le sait, les plus anciennes tables *imprimées* de sinus naturels sont celles de Regiomontanus qui parurent à Augsbourg, en 1490, dans son *Opus Tabularum directionum perfectionumque*. Les sinus sont calculés au rayon 60 000 et les tangentes naturelles au rayon 100 000. Les premières tables de sinus naturels *imprimées*, qui soient indépendantes de la division sexagésimale du rayon, se trouvent dans l'*Instrumentum primi mobilis a Petro Apiano nunc primum inventum et in lucem editum...* Norimbergae, apud Ioannem Petreium, MDXXXIII. Encore une fois, il ne s'agit là bien

division mérite-t-elle vraiment le nom de calcul ? Même pour un mathématicien du xv^e siècle, toutes ces opérations étaient des plus faciles. Aussi n'est-ce pas moi, c'est M. Bensaude, qui semble les regarder comme au dessus de la portée d'un Vasco de Gama ou de ses officiers.

N'insistons pas, car, je l'accorde, il eût mieux valu mettre entre les mains, des marins, des tables de déclinaisons toutes calculées. La *Junta* s'en rendait compte. La construction de ces tables rentrant dans ses attributions, est-ce aux sources allemandes qu'elle en puisa les éléments ? Voilà un second point à éclaircir.

Et tout d'abord la *Junta* pouvait-elle ignorer que les meilleures tables de longitudes, portugaises, arabes, juives ou allemandes, qu'importe ? — que les meilleures tables de longitudes, dis-je, lui donneraient les meilleures tables de déclinaisons ? Ce serait lui faire injure. A moins de preuves positives, je ne l'admettrai pas. Quand Pedro Nunes, dont M. Bensaude nous parle avec raison en termes si élogieux, quand Nunes écrivit son admirable algèbre, il prit son bien partout où il le trouva, chez Jordan de Némore, chez Cardan, chez Paccivolo ; ce n'étaient ni des Portugais, ni des Juifs, mais peu lui importait. S'il s'était laissé dominer par quelques-unes des préoccupations qui hantent, par moments, M. Bensaude, jamais Nunes n'eût écrit le petit chef-d'œuvre qu'est le *Libro de Algebra*. J'ai trop d'estime de la *Junta* pour ne pas croire qu'elle agit comme Nunes. Mais, en fait, à quelles tables de longitudes donna-t-elle la préférence ? En réalité, jusqu'ici on n'en sait rien ; car voilà ce que les raisonnements de M. Bensaude continuent à laisser obscur ; j'allais ajouter, ne font parfois qu'embrouiller davantage. Qu'on me comprenne bien, je veux dire que si M. Bensaude avait été astronome, il eût raisonné autrement. En effet, une expérience, d'ailleurs aisée à faire, eût été ici probablement décisive. Les tables de déclinaisons adoptées par la *Junta* existent. M. Bensaude prouve fort bien qu'on les trouve dans l'incunable de Munich, objet principal de son étude actuelle. Que le savant

entendu que de tables *imprimées*. Ptolémée lui-même a déjà des tables de cordes qui se transformèrent peu à peu, chez les Arabes, en tables de sinus naturels. M. Nallino a publié les tables de sinus naturels d'Albategnius dans son édition d'*Al-Battāni, sive Atbalenii Opus Astronomicum...* t. 2... Mediolani Insubrum. Prostant apud Ulrichum Hoepli, 1907 ; pp. 55-56 ; volume qui forme la 2^e partie du n^o 40 des PUBBLICAZIONI DEL REALE OSSERVATORIO DI BRERA IN MILANO.

auteur fasse donc le travail inverse de celui qui fut ordonné par la *Junta* ; qu'il parte des déclinaisons pour déterminer les longitudes. Il serait bien surprenant que le résultat de ses calculs ne lui apprenne pas à coup sûr quelles tables de longitudes servirent jadis de point de départ aux travaux de la *Junta*. Et que M. Bensaude ne m'objecte pas la longueur d'une pareille épreuve. Il ne s'agit pas de reconstruire toute une table des longitudes. En choisissant bien quelques exemples ; en s'arrêtant notamment à ceux où les données numériques des diverses tables de longitudes diffèrent entre elles, il saurait, fort vite, selon toute apparence, à quoi s'en tenir.

Voici des remarques d'un autre genre. A propos du *Roteiro* de don Joao de Castro, M. Bensaude écrit ces lignes très intéressantes (p. 33) :

« Dans ce Routier de 1538, don Joao de Castro parle des sabliers (relogios d'areia) utilisés pour observer l'heure des éclipses ainsi que des cadrans solaires (relogios do sol) tous faits en Flandre et en Allemagne, mais il ne mentionne même pas la balestrilha, sur laquelle on ne tardera probablement pas à réunir de nombreux éléments historiques, dans une série d'ouvrages portugais du XVI^e et du XVII^e siècles, qui n'ont pas encore été consultés. »

Ces horloges flamandes à sablier utilisées par les Portugais pour déterminer l'heure des éclipses et par conséquent très probablement aussi les longitudes géographiques ; ces horloges les marins portugais les employaient-ils aussi pour calculer, en mer, la longitude du vaisseau ? La chose vaudrait la peine d'être examinée. Les Portugais auraient alors l'honneur d'avoir les premiers appliqué la méthode de Gemma Frisius. On sait, en effet, que le célèbre professeur de l'Université de Louvain l'avait publiée huit ans auparavant, en 1530, dans son petit traité *De Usu globi* imprimé en annexe à son ouvrage *De Principiis Astronomiae et Cosmographiae*.

Le même passage de M. Bensaude me permet, en outre, de signaler une difficulté à laquelle l'auteur n'a pas, à mon avis, prêté toute l'attention qu'elle mérite. A l'époque des grandes découvertes, l'arbalestrille (balestrilha) et l'astrolabe étaient simultanément employées, dans la Péninsule hispanique. Ce fait est admis, je crois, depuis longtemps par les historiens de l'Astronomie ; mais M. Bensaude met une certaine insistance à le démontrer aux géographes, dont plusieurs, paraît-il, doutent encore. Il est d'autre part incontestable que la *Junta* préféra

l'astrolabe à l'arbalestrille. La raison mériterait d'en être recherchée. Car, au premier abord, la *Junta* pourrait sembler avoir rejeté un instrument simplement médiocre, l'arballestrille, pour en adopter un franchement incommode, l'astrolabe. Voici, en effet, comment la première autorité de France, feu le colonel Laussedat, directeur du Conservatoire des Arts et Métiers, membre de l'Institut, appréciait, en 1898, la valeur relative des deux instruments (1).

« L'arbalestrille, très populaire autrefois jusque chez les maçons et les charpentiers, a été pendant longtemps employée par les marins, souvent même de préférence à l'astrolabe, quand l'horizon était bien net, parce que en visant simultanément à cet horizon et à l'étoile on évitait les mouvements d'oscillation du disque suspendu de l'astrolabe.

» On comprend aussi, que dans les reconnaissances topographiques, cet instrument très portatif et facile à improviser, ait dû être souvent utile aux voyageurs et aux militaires, pour évaluer rapidement les distances et les hauteurs. »

Je me contente d'énoncer le problème, sans la moindre idée préconçue sur le sens dans lequel il faut le résoudre ; mais, il vaudrait la peine de le discuter à fond. Pour préférer l'astrolabe à l'arballestrille, la *Junta* dut avoir ses raisons.

Avant de quitter le premier mémoire de M. Bensaude, voici, à regret, une dernière réflexion. A l'improviste et sans y être naturellement amené par le sujet, l'auteur a des hors d'œuvres en l'honneur de la science juive et d'autres où il s'élève en anathèmes contre l'ignorance des jésuites. Ces tirades déclamatoires, compréhensibles et de mise peut-être dans un pamphlet politique nuisent toujours aux ouvrages de critique scientifique. Elles font croire au parti pris chez l'auteur et mettent le lecteur impartial en défiance. Aussi bien, énoncées dans les termes vagues et généraux de M. Bensaude, les deux thèses sont également fausses. Juifs et Jésuites eurent les uns et les autres quel-

(1) *Recherches sur les Instruments, les Méthodes et le Dessin topographiques*. T. I, Paris, Gauthier-Villars, pp. 59 et 60.

Maître Joao, pilote de la flotte de Cabral se servait de l'Astrolabe pour prendre les hauteurs. Or voici en quels termes il se plaint de l'influence du roulis sur l'emploi de l'Astrolabe :

« Il me semble presque impossible de prendre la hauteur des étoiles en mer, parce que, pour peu que le navire roule, on fait des erreurs de $\frac{1}{4}$ à $\frac{1}{5}$ degrés de façon qu'on ne peut la prendre qu'à terre. » *Astronomie Navale*, p. 112.

ques astronomes et quelques mathématiciens marquants, de très grande valeur; ils eurent en plus grand nombre des savants distingués, parfaitement au courant de la science de leur temps; ils eurent aussi, les uns et les autres, quelques hommes qui eussent mieux fait de ne pas écrire. Soyons sérieux! que peuvent bien faire les convictions religieuses de l'auteur, quand il s'agit d'une démonstration d'astronomie ou de géométrie? Pour moi, j'avoue admirer également les travaux scientifiques du païen Archimède, du mahométan Albatégnius, du luthérien Stifel, du chanoine Copernic et du jésuite Grégoire de Saint-Vincent. J'ajoute : du juif Pedro Nunes. D'ailleurs, fut-il vraiment juif? ou plutôt juif converti? ou même simplement issu de parents juifs? Quand, à deux reprises déjà, j'ai essayé d'appeler l'attention sur son *Algèbre*, ces questions m'ont paru oiseuses. Je puis me rendre le témoignage d'avoir jugé cet ouvrage remarquable, sans me préoccuper de la religion de l'auteur.

M. Bensaude eût tout gagné à en faire de même.

Pedro Nunes apparaît dans l'histoire de la science portugaise, comme un brillant météore que rien n'annonçait et qui ne laissa aucune trace derrière lui. M. Maurice Cantor a remarqué, dans ses *Vorlesungen*, combien un pareil fait était rare.

J'ai toujours cru que Nunes avait eu des précurseurs. Je vois avec plaisir M. Bensaude partager la même idée. Il nous promet en outre de montrer chez les mathématiciens juifs les précurseurs de Nunes. C'est fort bien. Jadis Steinschneider, avec moins de langue, plus de critique, plus de connaissance des manuscrits que M. Bensaude, a mis en pleine lumière l'influence très appréciable des juifs du moyen âge sur le développement de la science. Mais, nous sommes en Espagne et en Portugal; l'influence arabe doit y avoir été bien plus grande que celle des Juifs. Enfin il me paraît infiniment probable que Juifs et Arabes ne furent pour Nunes que des précurseurs éloignés, et que celui-ci puisa immédiatement sa science, dans des sources chrétiennes. Puisse M. Bensaude, libre de préjugés, nous donner un travail documenté, impartial et bien raisonné qui soit définitif!

Le second mémoire de l'*Astronomie nautique*, est une préface écrite en guise d'introduction à la reproduction en facsimilé d'un incunable de la Bibliothèque Royale de Munich. A plusieurs reprises déjà, l'attention avait été appelée sur ce précieux volume; mais c'est par un article publié, en 1908, dans son *Historisches Jahrbuch* (pp. 304-333) que M. Grauert

en signala toute l'importance. Cet article intitulé : *Die Entdeckung eines Verstorbenen zur Geschichte der grossen Ländereutdeckungen* était suivi d'une note de M. Hartig consacrée principalement à la description bibliographique de l'incunable (pp. 334-337).

A la suite de ce double travail, la reproduction en fac-similé du volume de Munich a été décidée. Il contient trois traités : Le *Règlement de l'Astrolabe et du Quadrant* ; une traduction portugaise de la *Sphère* de Sacro Bosco ; une *Lettre de Jérôme Münzer* (Hieronymus Monetarius) au roi don Joao II, pour lui recommander Martin Behaim. Cette dernière pièce a déjà soulevé, à plusieurs reprises, d'assez vives polémiques.

Le volume d'Evora peut être regardé comme une réédition revue de l'incunable de Munich. Les tables numériques d'Evora sont moins rudimentaires que celles de l'incunable ; par contre, les règles de leur emploi sont plus concises et les exemples des calculs moins multipliés.

L'introduction à la reproduction de l'incunable écrite par M. Bensaude peut se diviser en quatre parties, auxquelles, pour la clarté, l'auteur eût bien fait de joindre un numérotage : 1° Introduction et généralités ; 2° *Le Règlement de l'Astrolabe et du Quadrant* ; 3° La *Sphère* de Sacro Bosco ; 4° La lettre de Münzer.

Les réflexions suggérées ci-dessus par le premier mémoire reviennent spontanément à l'esprit quand on lit le second. J'ai hâte d'ajouter cependant que ce second mémoire est supérieur au premier. D'abord, les chapitres où l'auteur se cantonne dans l'histoire de la géographie sans toucher à celle de l'astronomie sont plus étendus. Or, en nous faisant l'histoire de la géographie M. Bensaude nous parle de choses qu'il connaît. Il a mis la main sur des documents curieux et les commente de manière à en mettre bien le prix en relief.

Ensuite, l'auteur a recouru parfois à l'aide d'un astronome. Quand même M. Bensaude ne nous en eût pas avertis, on eût immédiatement reconnu dans quelques pages la plume d'un homme du métier. Ce n'est pas lui qui eût écrit certaines des naïvetés qu'on lit à regret dans le premier mémoire. Qu'il nous soit donc permis de reprocher à M. Bensaude de ne pas lui avoir confié la revision de son manuscrit entier. Combien le travail y eût gagné !

Les passages intéressants ne manquent pas. Voici, par exemple, d'après le *Règlement de l'Astrolabe et du Quadrant*,

comment le marin connaît la longueur de la route parcourue par le vaisseau, lorsque celui-ci s'est déplacé d'un degré de latitude. Les Portugais attribuaient à l'arc de méridien d'un degré une longueur de 17,5 lieues portugaises.

Ceci posé, imaginons que cet arc de 17,5 lieues soit le côté de l'angle droit d'un triangle rectangle. Le *Règlement* donne le tableau de la longueur de toutes les hypoténuses formant avec ce côté un angle qui soit multiple de $11^{\circ}15'$ tout en restant inférieur à un droit. Pour évaluer la longueur du chemin parcouru, il suffisait d'observer l'angle sous lequel le vaisseau coupait le méridien. A l'aide de la boussole ce n'était pas fort difficile puisqu'on opérait par multiples entiers d'un angle suffisamment grand. Plus tard les nombres fournis par le *Règlement* furent corrigés par Pedro Nunes.

« Pedro Nunes, dit à ce propos M. Bensaude (p. 151), écrit dans le *Tvadado em defeusau* que les nombres de la table sont des valeurs approximatives, étant des racines carrées qui ne sont pas calculables exactement. Cependant, les erreurs n'étant pas considérables, il n'y a pas lieu de s'en inquiéter. »

M. Bensaude passe ici, sans paraître s'en douter, à côté du problème le plus intéressant de l'astronomie nautique portugaise. Quand le vaisseau coupe tous les méridiens sous le même angle, il ne parcourt, ni une ligne droite, ni un arc de grand cercle, mais une loxodromie. Or, cette découverte Nunes l'a faite ; c'est le plus beau titre de gloire du grand géomètre et le moins discuté. Comment Nunes corrigea-t-il les nombres du *Règlement* ? Comment calculait-il la longueur d'un arc de loxodromie ?

Il est temps de terminer cette étude ; quoique la troisième partie de l'*Astronomie Nautique* soit peut-être pour nous la plus utile, je ne m'y arrêterai pas ; mais je suis heureux de n'avoir, cette fois, que des félicitations à adresser à l'auteur. Une énumération des pièces rares rééditées serait sans intérêt ; je préfère engager le lecteur à prendre directement connaissance des documents, dans l'*Astronomie Nautique* elle-même. Je veux cependant lui signaler les deux textes du *Règlement de l'Astrolabe et du Quadrant* réédités d'après les exemplaires d'Evora et de Munich. Toutefois les tables numériques ne sont pas reproduites en entier.

Résumons. La lecture de l'*Astronomie Nautique* offre de l'intérêt, et beaucoup. On y trouve des documents importants relatifs à l'histoire de la navigation et de l'astronomie portugaises. Il faut savoir gré à M. Bensaude de nous les avoir rendus aisé-

ment accessibles. Trop perdus jusqu'ici dans des ouvrages portugais souvent rares, ils n'avaient pas attiré l'attention qu'ils méritent.

M. Bensaude, dans deux mémoires, met ces documents en œuvre. Ce n'est pas toujours avec le même bonheur ; il n'est pas assez resté sur les terrains qu'il connaît, l'histoire des navigateurs portugais et celle de la géographie. Pour traiter avec sûreté le sujet sur le plan très large qu'il s'était tracé, M. Bensaude ignorait trop les mathématiques, l'astronomie et surtout leur histoire. La suppression de quelques raisonnements erronés, loin de nuire à l'*Astronomie Nautique*, en eût plutôt corroboré les conclusions générales que je crois exactes.

H. BOSMANS, S. J.

II

ROGER BACON

SEPTIÈME CENTENAIRE DE SA NAISSANCE

I

On n'est point fixé de façon certaine sur la date de la naissance du célèbre Franciscain, Roger Bacon ; on s'accorde toutefois, assez généralement, à la placer vers l'an 1214. La date de sa mort semble plus solidement établie : Roger Bacon mourut à Oxford, en 1292, et fut enterré le 11 juin, dans l'enceinte du monastère de son ordre.

C'est à Oxford qu'il fit ses premières études universitaires. Il les poursuivit à l'Université de Paris, où il séjourna à plusieurs reprises ; c'est là que son brillant enseignement lui mérita le titre de *doctor admirabilis*. Après son retour définitif en Angleterre, c'est à Oxford qu'il poursuivit ses travaux.

C'est assez pour justifier la date du 10 juin 1914, choisie par l'Université d'Oxford (1), pour l'inauguration dans l'*University*

(1) *The Commemoration of Roger Bacon at Oxford*. NATURE. June 18, 1914, p. 405.

Museum de la statue de l'illustre moine et la célébration d'une cérémonie que l'on appela son « septième centenaire ».

De nombreux représentants de différentes nations s'y trouvèrent réunis pour rendre hommage au grand travailleur, à l'écrivain fécond, au vaillant promoteur de la science expérimentale dont M. Duhem inscrivait, au frontispice de son ouvrage sur *Le système du monde*, cette judicieuse sentence : *nunquam in aliqua aetate inventa fuit aliqua scientia, sed a principio Mundi paulatim crevit sapientia, et adhuc non est completa in hac vita* (1).

On n'a conservé, semble-t-il, aucun trait caractéristique de la physionomie physique de Bacon; dans la statue inaugurée le 10 juin, écrit la NATURE, l'artiste, M. Hope Pinker, s'est efforcé de traduire, dans les traits du visage, une expression de vivacité, de finesse, de combativité, qualités qu'il serait difficile de dénier au héros de la fête. Un sourire discret anime la figure et provoque l'impression d'une bonhomie un peu dédaigneuse : elle sied à l'homme qui prétendait enseigner le grec à n'importe qui, en trois jours, et qui volontiers « eût jeté au feu toutes les traductions d'Aristote » très médiocres d'ailleurs et fort incomplètes à cette époque : « Si enim haberem potestatem super libros Aristotelis, ego facerem omnes cremari ». Ce n'est pas au philosophe qu'il en veut ; si, ne l'ayant pas toujours compris, il n'a cessé de lui vouer grande estime et d'invoquer son autorité. C'est le latin dont on l'a affublé qui l'horripile.

Dans le discours qui précéda l'inauguration de la statue, Sir Archibald Geikie, P. R. S. célébra en Roger Bacon le pionnier de la méthode scientifique expérimentale. Abandonnant, dit-il, les subtilités dialectiques de l'École de son temps, il s'efforça de concentrer toute son attention sur les choses plutôt que sur les mots. Il ouvrit la voie à cette conception nouvelle de la science qui en fait l'étude inductive de la Nature basée sur l'expérience et contrôlée par elle. — Il serait, sans doute, plus exact de dire que les abords de cette voie étaient ouverts et fréquentés ; et que le très réel mérite de Bacon fut d'y entrer avec une belle ardeur, qui eût pu être moins belliqueuse. Mais un discours académique n'a pas toujours toute la rigueur d'une page d'histoire.

(1) *Compendium studii*, cap. V.

Ce qui en est le contre-pied, ce sont ces déclamations creuses d'écrivains en mal de copie, qui nous montrent Roger Bacon proclamant, en vain et à ses dépens, les droits et les vrais principes de la Science, dans le désert de l'ignorance générale.

Bacon a disserté sur les sources de l'ignorance de ses contemporains : ils s'appuient, dit-il, sur des autorités insuffisantes ; ils cèdent à la routine ; ils se confient à l'opinion aveugle des masses ; ils prétendent savoir quand ils ignorent. — Ces sources d'erreur ont coulé dans tous les temps ; ceux-là dont nous parlons s'y abreuvent aujourd'hui. Elles n'ont pas empêché le XIII^e siècle d'être l'un des plus glorieux, des plus intellectuellement actifs, des plus féconds en grands hommes. C'est assez, pour la gloire de Bacon, de prendre rang parmi eux, bien qu'il les ait traités trop souvent en parents pauvres.

L'importance qu'il attachait aux études positives, son culte pour la science, la direction expérimentale qu'il préconisa en philosophie, son zèle pour l'observation, son érudition, que sa connaissance des langues lui permit d'étendre aux auteurs grecs et arabes, en ont fait l'un de ces savants que les recherches historiques de M. Duhem nous ont révélés, au XIII^e et au XIV^e siècle, comme les précurseurs de la science moderne : il se trouve là en excellente compagnie (1).

Ses contemporains lui furent-ils véritablement hostiles ? — Nous n'avons d'autres raisons de le penser que ce qu'en dit Bacon lui-même dans des passages de ces écrits où il juge de très haut les institutions et les hommes de son temps, et que gâtent manifestement ses intempérances de langage. Il est très possible qu'il n'ait pas compté beaucoup d'amis ; mais faut-il en incriminer ses travaux scientifiques ? Il est certain qu'ils lui

(1) Dans l'*Opus tertium*, Bacon nous donne un aperçu de ce que lui ont coûté, depuis 20 ans, ses études expérimentales et ses observations, « *in studio sapientiae* » : citons ceci : « ... Oportuit plus quam sexaginta libras Parisienses effundi pro hoc negotio » Cap. III ; « plus quam duo milia librarum ego posui in his », et il spécifie : « propter libros secretos et experientias varias et linguas et instrumenta et tabulas, et alia, tum ad inquirendum amicitias sapientum, tum propter instruendos adjutores in linguis, in figuris, in numeris, et tabulis et instrumentis et multis aliis. » Cap. XVII. Bacon écrivait cela en 1267, alors que, au dire des écrivains dont nous parlons, il venait d'être soustrait, par Clément IV, aux persécutions de ses supérieurs qui, depuis 10 ans, l'empêchaient d'écrire, d'enseigner, d'entretenir des relations au dehors. Pour un moine mendiant et reclus, le budget était de taille et les occupations nombreuses.

valurent au moins l'amitié et la protection de Clément IV; nous en parlerons plus loin.

Mais que dire de ses supérieurs? N'est-il pas établi par le témoignage même de Bacon qu'ils furent imbus à son égard des préjugés les plus malveillants qui lui ont valu, de leur part, d'innombrables persécutions?

Il est certain qu'à deux époques de sa vie, vers 1257 et en 1278, Bacon eut, avec ses supérieurs, de graves conflits. Il rappelle le premier, et avec amertume, dans l'*Opus tertium*, mais il ne nous dit rien de précis sur les causes de ces conflits. La *Constitutio gravis* dont il parle au chapitre II de l'*Opus tertium* était une défense portée par un chapitre général de son ordre et à un fin générale, visant en gros « les écrits sur la physique ou les sciences naturelles et, en particulier, les écrits sur la magie, l'astrologie judiciaire, l'alchimie, superstitions ou erreurs grossières qui étaient alors trop en faveur. Il était donc interdit de communiquer, en dehors de l'ordre, les livres traitant de ces matières et dus à des plumes franciscaines, et la peine qui devait frapper la désobéissance était la confiscation de l'écrit et le jeûne au pain et à l'eau pendant plusieurs jours (1) ».

Bacon aurait donc enfreint deux fois cette Constitution. Mais rien ne prouve que l'*homme de science* fût ici en cause; au moins, en 1278, c'est l'*astrologue* convaincu et impétueux qu'était Bacon que la vraisemblance accuse.

Si le *Speculum astronomie*, longtemps attribué à Albert le grand, est bien de Bacon, c'est dans ce pamphlet, écrit pour la défense de l'astrologie et opposé à la condamnation portée par l'évêque de Paris, Étienne Tempier, en collaboration avec divers membres de la Faculté de Théologie, le 7 mars 1277, qu'il faut chercher la cause du conflit (2).

Encore la *Constitutio gravis* lui fut-elle, les deux fois, rigoureusement appliquée? Bien plus, Bacon n'ent-il pas, par deux fois, et pendant dix ans et douze ans, à subir l'emprisonnement, l'interdiction d'écrire, d'enseigner, de communiquer avec ses amis?

On l'a dit et très souvent répété. M. P. Feret (3) a étudié cette

(1) P. Feret, *Les emprisonnements de Roger Bacon*; dans la REVUE DES QUESTIONS HISTORIQUES, 26^e année, nouvelle série, t. VI, t. I de la collection, pp. 124-125.

(2) Le P. Mandonnet, *Roger Bacon et le Speculum Astronomie (1277)*; dans la REVUE NÉO-SCOLASTIQUE, dix-septième année, 1910, pp. 312-395.

(3) *Art. cité* de la REVUE DES QUESTIONS HISTORIQUES, t. I de la collection, pp. 119-142.

question des emprisonnements de Bacon, de leur durée et de leur rigueur, du point de vue strictement historique, avec une loyauté, une érudition et une compétence qui dispensent d'y revenir ; voici sa conclusion : « Chateaubriand a parlé quelque part de « vieux mensonges historiques qui deviennent des vérités à force d'être redits (1) ». Les fameux emprisonnements de Roger Bacon nous paraissent rentrer, l'un complètement, l'autre en très grande partie, dans cette catégorie de mensonges historiques. Mais il appartient à l'étude sincère des faits et des documents de les contraindre à cesser d'être des vérités ».

Et c'est ainsi que Bacon est devenu « un martyr de la science » ; c'est à cela qu'il doit pas mal d'articles passionnés, dont les auteurs ne se soucieraient ni de sa personne, ni de ses travaux, s'ils ne trouvaient là l'occasion d'alimenter leurs polémiques.

Après le discours de sir Archibald Geikie, Lord Curzon, en sa qualité de Chancelier, reçut la statue au nom de l'Université d'Oxford. Son discours met en un relief un peu poussé, les traits caractéristiques du génie de son héros. Il énumère les diverses branches du savoir étudiées par Bacon, énumération qui embrasse non seulement tout ce que nous entendons aujourd'hui par sciences physiques et beaucoup d'autres, mais aussi la philosophie morale, l'économie politique, etc. Le Chancelier fit voir que Bacon ne les avait pas parcourues en simple dilettante, en guise de passe-temps aux jours de fête ; mais qu'elles furent de sa part l'objet d'une étude approfondie. C'est avec un accent d'ardente conviction, dit-il, qu'il mit en lumière les liens essentiels de dépendance qui les unissent entre elles.

Après la cérémonie de l'inauguration de la statue, l'orateur public de l'Université, M. A. D. Godley, de Magdalen College, lut une adresse où, en d'élégantes périodes latines, il rendit hommage à l'activité intrépide que mit Bacon à accomplir son œuvre. Se tournant vers la statue : Soyez le bienvenu, Frère Bacon, à votre retour à Oxford, dit-il, vous voyez ici le fruit de vos labeurs. Votre effigie avait sa place marquée dans ce sanctuaire de la science où se trouve réalisé aujourd'hui l'objet de vos aspirations. Que votre esprit demeure en nous toujours et partout ; qu'il garde nos intelligences de l'erreur, qu'il nous fortifie et nous confirme dans la poursuite de la vérité.

La cérémonie s'acheva par la lecture de deux adresses, l'une

(1) *Étude hist.*

du Professeur James Ward, au nom de l'Université de Cambridge, l'autre du R. P. David Fleming, représentant le Ministre-Général de l'Ordre des Franciscains.

Au lunch qui fut donné par Merton College, sous la présidence du Warden, le bibliothécaire de la Bodléienne rappela les encouragements que Roger Bacon reçut du Pape Clément IV.

C'est peut-être, pendant qu'il était légat du Saint-Siège, en Angleterre, de 1263 à 1265, que le Cardinal Guy de Foulques, d'origine française et grand ami des sciences, connut Bacon, apprécia ses travaux et s'intéressa aux réformes qu'il préconisait dans les études ecclésiastiques, l'enseignement de l'écriture sainte et la prédication.

Devenu pape sous le nom de Clément IV, en 1265, l'ancien légat fit remettre à son protégé une lettre datée du 23 juin 1266, dans laquelle se lisent ces lignes : « Nous vous mandons et enjoignons — telle est notre volonté — par rescrit apostolique, de nous adresser le plus tôt possible, nonobstant toute défense de n'importe quel prélat et toute Constitution de votre ordre, l'ouvrage que, établi dans un moindre office, nous vous avons prié de remettre à notre cher fils Raymond de Laon. Vous n'oublierez pas de nous indiquer par une missive les moyens à employer pour remédier à cette triste situation que vous nous avez fait connaître, et cela sans retard et en tenant la chose aussi secrète que vous pourrez ».

Bacon s'était donc recommandé à la bienveillance du pape. Cette lettre si amicale et si pressante lui donna de nouvelles ardeurs au travail.

Pour y satisfaire, il écrivit l'*Opus majus*, son œuvre principale, qui fut portée au Saint Père par Jean de Paris ou Jean de Londres, le disciple préféré de l'auteur. Bientôt après, craignant que les graves occupations du Pontife ne lui laissent pas le temps de lire un aussi fort volume, il lui en adresse une sorte de résumé, l'*Opus minus* et, la même année, l'*Opus tertium* qui devait être, pour les deux ouvrages précédents, ce que le second avait été pour le premier, à la fois un résumé et un complément. C'est dans l'*Opus tertium* qu'il faut chercher les plus précieux renseignements sur la biographie de Bacon.

Clément IV mourut le 29 novembre 1268. Trois années seulement d'un règne très encombré d'affaires politiques ne lui ont pas permis de tirer parti des idées de Bacon sur la réforme des

études ecclésiastiques ; mais il n'est pas interdit de penser qu'on s'en soit inspiré plus tard (1).

Après le discours de M. F. Madan, le bibliothécaire de la Bodléienne, M. G. Picavet prit la parole au nom de l'Université de Paris ; et le Chancelier de l'Université salua les délégués étrangers. Ce fut M^{re} Ratti, délégué de la bibliothèque du Vatican, qui répondit le premier. Dans son discours, qu'il fit en latin, il annonça la découverte récente d'un nouveau manuscrit de Bacon.

Le Comte d'Haussonville et M. Henneguy, membres et représentants de l'Institut et du Collège de France, le R. P. David Fleming, au nom de l'Ordre Franciscain, et le Professeur James Ward pour l'Université de Cambridge, parlèrent ensuite. Enfin, Sir Osler remercia, au nom des invités, le Warden et les Fellows de Merton College.

Parmi les visiteurs, les uns assistèrent aux *Romanes lectures* sur la *théorie atomique*, données par Sir J. J. Thompson ; d'autres se rendirent à la Bodléienne où le bibliothécaire avait exposé les ouvrages imprimés ou manuscrits de Bacon ; ceux-ci comprenaient le manuscrit de l'*Opus majus*, de *Opus tertium* des fragments de l'*Opus minus*, ainsi que d'autres pièces fort intéressantes, entre autres le curieux traité *De retardandis senectutis accidentibus*.

La fête prit fin par une *garden-party*, dans les jardins du Wadham College.

La *Clarendon Press* a publié le *memorial* de ce septième centenaire. Parmi les études qu'il contient, nous signalons celle, sur la Vulgate latine, due à S. É. le Cardinal Gasquet.

Nous souhaitons que ces fêtes d'Oxford stimulent les chercheurs à compléter, par de nouvelles trouvailles, ce que nous possédons déjà des œuvres de Bacon, à en tirer parti pour l'histoire des sciences au XIII^e siècle, et à éclaircir les points encore obscurs de sa vie tourmentée. Puissent-elles se couronner, comme on nous le fait espérer, par une édition des *Opera omnia* digne de leur auteur.

(1) Voir *Catholic Encyclopædia*, New-York, t. XIII. article *Roger Bacon* (P. Witzel).

II

Nous ne parlerons pas de la *philosophie* de Roger Bacon ; nous renvoyons le lecteur à un maître, M. M. De Wulf, dans son *Histoire de la philosophie médiévale* (1).

Le grand public ne connaît guère Roger Bacon que pour avoir vu son nom accolé à quelques découvertes retentissantes. Les pages qui vont suivre n'ont d'autre but que de rappeler ces rapprochements et la valeur que leur attribuent ceux qui les ont pesés.

Le nom du moine anglais est souvent mis en parallèle avec celui du moine allemand, Berthold Schwartz, quand on parle de l'invention de la poudre à canon.

Il serait vraisemblablement oiseux de rechercher le nom du personnage qui aurait réalisé le premier, d'un seul coup et de toutes pièces, cette découverte. Elle est l'œuvre collective de nombreux chercheurs de compositions incendiaires, et le résultat de multiples tâtonnements. Ce qui est intéressant, et ce qui fut parfois mis en question, c'est de savoir si Roger Bacon a connu la composition de la poudre à canon.

On n'a pas fixé avec certitude l'époque à laquelle vivait Schwartz. L'année 1354 est souvent donnée comme date de son invention ; mais il paraît certain que l'Angleterre fabriquait la poudre dès 1344, et qu'on usait du canon en France, en 1338, à Florence en 1326, etc. ; on parle d'un manuscrit de 1325, *De officiis regum*, où l'on pourrait voir la représentation d'un canon. On avait donc, avant 1354, non seulement inventé la poudre, mais reconnu sa force d'expansion et le moyen de l'utiliser pour lancer un projectile. C'est de cette dernière invention que certains érudits ont fait honneur à Schwartz. Il est vraisemblable, en effet, que ces deux découvertes, celle de la poudre et celle du canon, soient distinctes et même très distantes l'une de l'autre ; il conviendrait en tous cas de reculer la date de 1354, attribuée à l'invention quelle qu'elle soit, du moine allemand.

Une chose est certaine, c'est que cette invention de Schwartz n'est pas celle de la poudre. Une communication de

(1) Volume VI du *Cours de philosophie* publié par l'Institut philosophique de l'Université de Louvain, quatrième édition, 1913, pp. 487-496.

M. Duhem à l'Académie des Sciences (1), a tranché la question : un siècle avant Berthold Schwartz, Roger Bacon connaissait la composition de la poudre à canon.

On nous permettra de reproduire ici cette communication de M. Duhem ; elle encouragera les chercheurs, auxquels les écrits de Bacon réservent sans doute plus d'une trouvaille intéressante.

« Le beau manuscrit conservé à la Bibliothèque Nationale sous le n° 40246 (fonds latin) provient de la bibliothèque de Louis XIV. Il contient une série de pièces sur diverses Sciences, toutes copiées à Naples, en la seconde moitié du xv^e siècle, par Arnaud de Bruxelles.

» L'une de ces pièces a été transcrite par le copiste, comme il nous l'apprend lui-même, d'après un manuscrit en mauvais état et dont la fin manquait. Terminée le 14 décembre 1476, cette copie s'étend du fol. 186 recto au fol. 226 recto ; elle occupe donc 81 grandes pages.

» L'Ouvrage qu'elle reproduit porte le titre : *Liber tertius Alpetragii. In quo tractat de perspectiva. De comparatione scientiæ ad sapientiam. De motibus corporum celestium secundum ptolemeum. De opinione Alpetragii contra opinionem ptolemei et aliorum. De scientia experientorum naturalium. De scientia morali. De articulis fidei. De Alkimia.*

» Ce titre, qui est en même temps un sommaire, est fort exact, sauf en ce qui concerne le nom de l'auteur. L'écrit en question n'est nullement de l'astronome arabe Al Bitrogi (Alpetragius) ; une bonne partie de cet écrit est consacrée à une comparaison entre le système astronomique d'Al Bitrogi et le système de Ptolémée. Une lecture, même superficielle, de l'Ouvrage révèle aussitôt qu'il est de Roger Bacon ; les indications que l'auteur donne lui-même, à maintes reprises, nous apprennent en outre qu'il est un fragment de l'*Opus tertium*.

» Ce fragment n'a aucune partie commune avec le fragment considérable de l'*Opus tertium* que L.-S. Brewer a publié à Londres, en 1859, dans le volume intitulé : *Fr. Rogerii Bacon Opera quaedam hactenus inedita*. Dans l'ouvrage complet, il prenait place, médiatement ou immédiatement, après le fragment publié par Brewer, auquel il renvoie à plusieurs reprises... »

En attendant qu'il puisse publier le *Liber tertius Alpetragii*, avec les données que l'on peut tirer de ce document pour

(1) COMPTES RENDUS, tome CXL, 1908, séance du 27 janvier, p. 156.

l'histoire des Sciences au XIII^e siècle, M. Duhem lui emprunte ce renseignement :

« La pièce nouvelle fixe la réponse à une question souvent débattue : Bacon connaissait-il la composition de la poudre à canon ? Dans l'*Opus majus*, il parlait d'une poudre explosive qui se formait au moyen du salpêtre. Dans le *De mirabili potestate artis et naturae*, publié en 1542, à Paris, par Oronce Finée, parmi d'autres énigmes alchimiques, il enseigne en ces termes (fol. 52) un moyen d'imiter le tonnerre et les éclairs : « Salis petrae luru vo po vir can utri et sulphuris », ce qui veut dire, paraît-il, *salis petrae carbonum pulvere et sulphuris* (1) ; mais le livre édité par Oronce Finée n'est qu'une reproduction très fautive de la lettre : *De secretis operibus artis et naturae et de nullitate magiae*, dont Brewer a publié le texte dans l'Ouvrage déjà mentionné ; or ce texte correct parle bien (p. 536) de la poudre explosive, mais n'indique nullement, même sous forme d'énigme, quelle en est la composition ; il est donc permis de suspecter l'authenticité de la formule donnée en *De mirabili potestate*.

» Au contraire, le texte que nous avons étudié ne nous permet plus de douter que Bacon n'ait connu la poudre à canon. Au recto du folio 213, sous ce titre : *De la poudre des Lombards*, il reproduit ce qu'il a dit dans l'*Opus majus* des propriétés explosives de cette poudre ; mais il nous apprend en outre qu'elle est connue dans les diverses parties du monde, et qu'elle se compose de salpêtre, de soufre et de charbon de saule : « *exemplum* » est puerile de sono et igne qui fiunt in mundi partibus diversis » per pulverem salis petrae, et sulphuris, et carbonum salicis ».

» Le rapprochement des termes dont Bacon se sert pour décrire les effets de la poudre explosive en la lettre *De secretis operibus naturae*, en l'*Opus majus* et en l'*Opus tertium* montre qu'il s'agit bien, dans ces trois écrits, de la même poudre. Or la

(1) « Émile Charles, *Roger Bacon, sa vie, ses ouvrages, ses doctrines*, 1861, p. 299. » — Dans le *De secretis operibus artis et naturae*, imprimé à Hambourg en 1618, on lit (chap. 11) : « Item ponderis totum 30 sed tamen salis petrae luru vopo vir can utri et sulphuris ; et sic facies tonitruum et coruscationem, si scias artificium. Videas tamen utrum loquar aenigmate aut secundum veritatem. » Quelques auteurs ont voulu lire : *luru vopo can ubre*, anagramme de *pulvere carbonum*. H. W. L. Hime, *Gunpowder and Ammunition*, 1904, interprète ainsi l'énigme : « Salis petrae (recipe) VII part(es), V nov(ellae) corul(i) V et sulphuris » ; prends sept parties de salpêtre, cinq de jeune coudrier, et V de soufre. *The Encyclopaedia Britannica*, eleventh edition, au mot *Gunpowder*.

lettre *De secretis operibus natura* paraît avoir été écrite à Guillaume d'Auvergne, évêque de Paris, qui mourut en 1248 ou en 1249. Il semble donc que les propriétés explosives de la poudre noire fussent connues, en France et en Angleterre, avant le milieu du XIII^e siècle; en tous cas, en 1267, l'*Opus tertium* en faisait connaître la composition ».

Remarquons que rien ne dit que Bacon ait connu aussi la puissance projective de la poudre, brûlant en vase clos, et qu'il ait songé à en tirer parti; nulle part en effet, dans ces écrits, il n'y est fait allusion, et c'est, nous l'avons dit, beaucoup plus tard que l'on voit apparaître les premiers canons. Bacon et ses contemporains n'ont vu, sans doute, dans ce mélange explosive, qu'une nouvelle composition incendiaire propre à effrayer bêtes et gens.

Une autre invention, que l'on a attribuée parfois à Roger Bacon, est celle du microscope et de la lunette. Il faut, semble-t-il, chercher l'origine de cette légende dans la *Dioptrica nova* de Molineux 1692, et il y a beau temps que Robert Smith en a fait justice (1).

Les passages des œuvres de Bacon sur lesquels Molineux base son opinion se lisent dans l'*Opus majus*, Londres, 1733, page 352 et page 357. Ils sont cités par Smith qui les discute; nous nous bornerons à transcrire sa conclusion :

« Cet auteur (Bacon) ne parle que par hypothèse et se borne à dire qu'on pourrait figurer les verres et grossir les objets de telle ou telle manière; sans assurer jamais qu'il en ait fait une seule expérience sur le Soleil, la Lune (ou toute autre chose) quoiqu'il fasse mention expresse de ces deux astres. D'un autre côté, il attribue aux télescopes des effets dont ils sont incapables.

» Si l'on me demande comment est-ce qu'il a pu parvenir à toutes ces notions? Je réponds que c'est par la théorie commune de la réfraction et de la réflexion, surtout sur le miroir concave dont il connaissait bien les effets, tant par les relations des anciens que par sa propre expérience. Ce qui suffit à un homme de bon sens pour avancer tout ce qu'il a dit ».

(1) *Cours complet d'optique*, traduction française par L. P. Ptezenas), professeur royal d'Hydrographie, à Marseille, 1767, tome I, p. 56 (microscope) et p. 76 (téléscope).

Il faut en dire autant, ou beaucoup moins, d'autres inventions attribuées à Bacon (1).

Mais le mérite scientifique de ces anticipations de l'esprit, de ces rêves de savants, n'est pas nécessairement nul : ils ont pu, en se transmettant, retenir l'attention, provoquer des essais, des tâtonnements qui ont abouti à la découverte qu'ils contenaient en germe.

C'est ainsi que Roger Bacon a exercé indirectement une influence sur la vision qui hantait l'esprit de Christophe Colomb et lui fit tenter la traversée de l'Atlantique. Ceux qui ont parlé avec éloge des écrits géographiques du moine franciscain en ont plusieurs fois fait la remarque ; nous empruntons ce qui va suivre à un article de M. Duhem (2).

« Ptolémée pensait que la Terre, dont les Iles Fortunées marquaient l'extrémité occidentale, s'étendait, vers l'Orient, jusqu'à 180° de ces îles ; l'Océan occupait les 180° qui restaient. Un navigateur partant des Iles Fortunées et cinglant vers l'Ouest, aurait dû parcourir la moitié du tour du monde avant de rencontrer une côte.

» Les géographes arabes et, après eux, les géographes chrétiens du Moyen-Age, partageaient, en général, l'opinion de Ptolémée... Cependant bien des hommes se sentaient attirés vers l'autre rive de cet Océan auquel venait se terminer l'Europe. Peut-être cette rive était-elle moins éloignée que Ptolémée ne l'avait affirmé. On se souvenait que Martin de Tyr, avant lui, étendait bien davantage notre continent ; qu'il lui faisait couvrir non pas 180°, mais 225° de l'équateur. On parlait d'îles, situées en plein Océan, que certains navigateurs avaient parfois atteintes (3)...

» Au XII^e siècle, Albert le Grand acceptait comme certain l'enseignement de Ptolémée et voulait que les longitudes extrêmes de la terre ferme différassent exactement de 180° (4).

(1) On a tout vu dans ses écrits : la machine pneumatique, le sous-marin, le char et le bateau à vapeur, l'aéroplane et... la radioactivité ; on y trouvera sans doute demain les trois lettres magiques T. S. F. On comprend après cela qu'on ait pu dire « qu'il était en avance, sur ses contemporains, de trois et même de six siècles ».

(2) *Ce que l'on disait des Indes occidentales avant Christophe Colomb*, dans la REVUE GÉNÉRALE DES SCIENCES, t. XIX, 1908, p. 402.

(3) « Beati Anselmi *Liber de Imagine mundi*, l. II, Cap. XX : De insulis. »

(4) « Beati Alberti Magni *Liber de natura loci ex longitudine et latitudine proveniente*, tract. I, Cap. IX. »

Mais Roger Bacon, son contemporain et son émule, voulait que les deux rives de l'Océan fussent beaucoup plus rapprochées (1).

» Bacon rappelle l'opinion émise par Aristote au second livre de son traité *Du Ciel* : L'Inde orientale et l'Afrique occidentale produisent des animaux semblables, notamment des éléphants ; cette similitude en la faune de ces deux régions du Monde suppose que les influences astrales, causes de toute génération, s'y exercent à peu près de la même manière ; il faut donc que l'Inde et l'Afrique soient, en réalité, peu distantes l'une de l'autre...

» A l'appui de cette opinion, Bacon accumule les autorités ; il cite, en particulier, celle de Sénèque ; celui-ci prétendait, au cinquième livre de ses *Questions naturelles*, qu'avec un vent favorable on pourrait traverser l'Océan en peu de jours.

» C'est sous l'équateur que la distance est la plus faible entre les deux rives de l'Océan ; là, en effet, l'ardeur du Soleil dessèche la surface de notre globe ; aux deux pôles au contraire, les eaux abondent. » Cette théorie conduit Bacon (2) à dessiner la forme de l'Océan en ne laissant, à l'équateur, entre le *principium Hispaniae* et le *principium Indiae*, qu'une sorte de goulot relativement étroit, reliant les parties plus larges de l'Océan qui entourent les pôles.

« Les divers passages (3) de l'*Opus majus* qui se rapportent au système du monde, tel que se le figurait Roger Bacon, furent reproduits plus tard par le Cardinal Pierre d'Ailly, dans son traité intitulé *Imago mundi*, chapitre XV. Pierre d'Ailly, qui écrivait vers l'an 1410, c'est-à-dire plus d'un siècle après Roger Bacon, jouissait d'une grande réputation au xv^e siècle. Le hasard fit que le traité du Cardinal tomba entre les mains de Christophe Colomb, au moment où cet illustre navigateur était livré à ses profondes recherches sur l'existence du nouveau continent, et celui-ci en adopta les diverses idées.

» La bibliothèque de Séville garde pieusement l'*Imago Mundi* de Pierre d'Ailly portant les annotations de Christophe Colomb. Par Pierre d'Ailly, donc, l'influence de Roger Bacon s'est exer-

(1) « *Opus majus*, Londini, 1733, pp. 183-185, p. 194. »

(2) « *Opus majus*, pl. I, fig. 27. »

(3) « Réinaud, *Mémoire géographique, historique et scientifique sur l'Inde*, MEM. DE L'ACAD. DES INSC. ET BELLES-LETTRES, t. XVIII, deuxième partie, 1849, p. 387. »

cée sur Christophe Colomb; elle a contribué à lui suggérer la pensée de traverser l'Océan. »

L'œuvre de Roger Bacon est considérable; tous les manuscrits connus qui la renferment n'ont pas été imprimés et il en reste, nombreux peut-être, enfouis dans les bibliothèques. Il sera malaisé d'y mettre de l'ordre et impossible d'en former un tout cohérent. La vie tourmentée du moine franciscain, son activité dévorante, son prosélytisme combattif l'ont amené à polémiquer beaucoup, à se répéter souvent et à s'étendre sur toutes choses.

Des projets grandioses ont haaté son esprit; il a rêvé d'une vaste encyclopédie des sciences: il en a accumulé les matériaux mais ne nous en a donné qu'une ébauche.

Le vulgaire le considéra comme un ingénieux alchimiste et une sorte de magicien blanc; et nous avons dit que son zèle à défendre l'astrologie judiciaire donna prise contre lui. « Apud imperitum vulgus, dit de lui un de ses contemporains, haberetur mirus præstigiator, apud quosdam etiam non indoctos de magicis artibus vehementer fuerit suspectus (1) ». Il a certes répudié la magie avec indignation, et il faut le croire; il n'a pas accepté non plus, sans réserves et sans précautions, les superstitions de l'astrologie; mais ici, il est souvent malaisé de le mettre d'accord avec lui-même (2).

La publication de ses œuvres principales nous a donné une conception plus juste des visées qu'il poursuivait, de sa puissante intelligence, de son érudition, de ses travaux personnels, de ses efforts surtout pour promouvoir l'étude expérimentale de la nature. Malheureusement, redisons-le, l'astrologie a fait tort au savant; l'écrivain n'a pas connu les ménagements nécessaires, et il a pratiqué l'exagération et la diatribe: on comprend ses mésaventures.

J. T.

(1) Cité par Wadding, *Ann. minorum*, an. 1278, c. XXVI.

(2) Voir l'article cité du P. Mandonnet, *Roger Bacon et le speculum astronomie*.

BIBLIOGRAPHIE

I

COURS DE MÉCANIQUE PROFESSÉ A L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE par
L. LECORNU, Membre de l'Institut, Inspecteur général des
Mines. Tome I. Un vol. gr. in-8° de 536 pages. — Paris,
Gauthier-Villars, 1914.

Après dix ans d'exercice, M. Lecornu a entrepris la publication du cours de mécanique qu'il professe avec tant de distinction à l'École Polytechnique. L'ouvrage comprendra trois volumes. Le premier vient de paraître.

A la vérité, le cadre du livre déborde quelque peu celui de l'enseignement oral auquel il se réfère, en ce sens que certaines théories, traditionnellement rattachées à la mécanique, et qui, par suite d'exigences spéciales de l'organisation de l'École Polytechnique, ont dû être reportées dans d'autres cours, figurent, à très juste titre, dans l'exposé de M. Lecornu; tel est le cas de la cinématique des mécanismes et de la théorie du potentiel newtonien, respectivement affectées aux cours de géométrie et d'analyse de l'École.

Le même souci d'écrire un traité complet a conduit l'auteur à y comprendre la cinématique du point ainsi que la statique des corps solides, rattachées, au moins pour la plus grosse part, au programme de la classe de mathématiques spéciales, préparatoire à l'École.

Dans son ensemble, l'ouvrage doit être tenu pour un traité de mécanique rationnelle, orienté, mais avec mesure, dans le sens de la préparation aux applications techniques. L'auteur proteste, d'ailleurs, contre la tendance, qui se manifeste parfois chez certains techniciens, à réclamer une part de plus en plus grande pour la mécanique appliquée au détriment de la mécanique rationnelle. « Agir de la sorte, dit-il, ce serait méconnaître la

véritable portée de l'enseignement polytechnicien » destiné à assurer une haute culture aux dirigeants des grands services techniques (civils et militaires) de l'État. Ayant cité, sur les avantages d'une telle haute culture, des passages caractéristiques du général Langlois, de Renan et de Schopenhauer, il ajoute :

« Il y aurait d'ailleurs plus d'inconvénients que d'avantages à développer outre mesure la partie technique. Il faut s'en tenir aux méthodes générales, sans accabler la mémoire des élèves par des détails trop circonstanciés, dépourvus de valeur éducative, détails qui doivent être réservés aux écoles d'application et qu'il leur sera facile, au surplus, de trouver, quand ils le voudront, dans les ouvrages spéciaux, tandis qu'ils n'auraient plus l'occasion de se pénétrer des principes de la science.

» Je pense, en résumé, que si l'enseignement polytechnicien peut et doit évoluer progressivement pour répondre aux besoins des services publics, c'est à la condition d'en maintenir intactes les grandes lignes. L'École ne saurait, sans déchoir, abandonner des traditions qui ont suffisamment fait leurs preuves ».

Cette citation est de nature à bien faire saisir l'esprit dans lequel est rédigé ce cours qui ne s'égaré pas dans les développements analytiques propres à n'intéresser que les purs mathématiciens, mais qui, tout en visant à la formation de futurs techniciens, ne néglige rien de ce qui est essentiel dans les parties élevées de la théorie. Avant tout, il tend à éveiller chez l'étudiant le sens de la mécanique sans laisser son attention se perdre sur des questions d'un intérêt simplement mathématique; mais si le jeu de l'analyse n'y apparaît pas comme un but, aucune des ressources qu'elle peut offrir en tant que moyen n'est laissée dans l'ombre. Avec un tel guide, l'étudiant ne risque pas d'être réduit à ne voir dans les problèmes de la mécanique que des prétextes à intégrations plus ou moins élégantes; il ne perd pas de vue ce qui constitue leur objet propre et prend conscience de leur véritable portée.

Ce premier volume se divise en quatre livres qui traitent respectivement des préliminaires géométriques relatifs d'une part aux grandeurs vectorielles, de l'autre à la théorie du déplacement d'un système invariable, de la cinématique pure et appliquée aux machines, de la statique et de la dynamique du point, de la statique des systèmes.

S'il s'agissait de faire ici une étude, détaillée, intéressante pour les seuls spécialistes, du volume en question, on rencon-

trerait à chaque pas des occasions de faire ressortir le souci qui n'abandonne jamais M. Lecornu d'envisager les choses sous l'angle où les doit voir le mécanicien. Un peu au hasard, nous cueillerons dans l'ensemble quelques paragraphes où s'accuse particulièrement ce souci, où l'auteur pousse même la discussion jusqu'aux détails qui importent à la technique, ou bien encore où il insiste sur certaines notions fondamentales plus qu'on n'est dans l'habitude de le faire : dans les n^{os} 143 à 146, calculs pratiques sur la manivelle et la tige guidée ou sur le balancier à bride; n^{os} 173 à 180, développements remarquables sur les champs de forces, les fonctions de forces, les surfaces de niveau; n^{os} 181 à 197, substantiel exposé, d'après Sarrau, de la théorie de l'attraction universelle; n^{os} 212 à 215, étude des oscillations d'un ressort et de leur amortissement, avec application aux ressorts de suspension; n^{os} 222 à 227, propriétés de la courbe balistique dans l'air dans le cas d'un projectile sphérique (le cas d'un projectile non sphérique devant être examiné ultérieurement); n^{os} 230 à 239, discussion assez serrée de la forme des trajectoires parcourues sous l'action des forces centrales; n^{os} 265 et 266, mouvement d'un point pesant sur une surface de révolution à axe vertical avec application au pendule sphérique pour lequel l'auteur reproduit une remarquable démonstration de M. de Sparre; n^{os} 270 à 273, mouvements à la surface de la terre avec application à la déviation dans la chute des graves, à la dérivation des projectiles, à la rotation des cyclones, à l'expérience de Foucault; n^o 360, étude des roulements sur billes.

Il va sans dire que ces quelques indications relatives à des passages sur lesquels notre attention s'est fortuitement portée ne sont pas le moins du monde exclusives de l'intérêt spécial que peuvent offrir d'autres parties de ce bel ouvrage destiné à se ranger en bonne place parmi les classiques de la mécanique.

M. O.

II

LES COORDONNÉES INTRINSÈQUES. THÉORIE ET APPLICATIONS, par L. BRAUDE, docteur ès sciences (volume faisant partie de la collection *Scientia*). Un volume in-8^o de 100 pages. — Paris, Gauthier-Villars, 1914.

L'admirable système des coordonnées cartésiennes, qui reste l'outil par excellence de la géométrie analytique, peut présenter quelques inconvénients dans l'étude de certaines propriétés des courbes par suite de l'introduction d'éléments étrangers à celles-ci, tenant au système de référence.

C'est pourquoi divers géomètres se sont appliqués à définir analytiquement les courbes, par les relations, unissant l'un à l'autre, deux éléments attachés à la courbe même, tels que l'arc s compté sur la courbe jusqu'au point P , à partir d'un point fixe P_0 , l'angle φ de la tangente en P avec la tangente en P_0 , le rayon de courbure en P .

De là trois principaux systèmes de coordonnées attachées à la courbe, constitués respectivement par s et φ , R et φ , s et R . On en peut d'ailleurs imaginer d'autres; c'est ainsi que Gergonne a recommandé l'emploi de R et $\frac{dR}{ds}$, ou de R et $\frac{dR}{d\varphi}$.

Le système (R, φ) a surtout été utilisé par l'abbé Aoust, dans ses recherches bien connues sur la géométrie infinitésimale des courbes planes.

C'est plutôt au système (s, R) que l'on a recours depuis que, dans une suite d'importants travaux, Ernest Cesaro en a mis en relief l'extrême fécondité, et c'est celui qui est plus particulièrement désigné aujourd'hui par le vocable de *coordonnées intrinsèques*.

Dans un premier chapitre de généralités, l'auteur fait connaître les formules fondamentales relatives aux coordonnées intrinsèques et indique les méthodes à suivre dans les études fondées sur leur emploi. Notons, en passant, que certaines équations de Cesaro, dont le rôle est essentiel en cette théorie, peuvent être regardées comme provenant — sans, bien probablement, que leur auteur s'en soit douté — de la particularisation, pour le cas du plan, de certaines formules primordiales de la *périmorphie* de Ribaucour, applicables, elles, au cas de l'espace. L'application de ces formules est particulièrement féconde dans l'étude des développées, développantes, développées (enveloppes de droites, menées par les points d'une courbe et faisant avec ses normales un angle constant) et autres courbes se rattachant aux précédentes. L'auteur le montre par des exemples nombreux et intéressants.

Mais il s'attache surtout à mettre en lumière les rapports des courbes définies en coordonnées intrinsèques avec certaines courbes, qui leur sont adjointes par interprétation de leurs

équations dans d'autres systèmes de coordonnées. Si, par exemple, dans l'équation en s et R d'une courbe C , on remplace ces variables par x et y , on définit, en coordonnées cartésiennes, une nouvelle courbe que l'auteur appelle la *courbe de Mannheim* de C , et que l'on peut définir géométriquement comme le lieu du centre de courbure répondant au point de contact de la courbe C , roulant sur une droite. Ce mode de génération conduit, au reste, immédiatement aux généralisations obtenues en faisant rouler la courbe C , non plus sur une droite, mais sur toute autre courbe, sur un cercle en particulier.

De même, l'équation en R et φ , lorsqu'on y regarde ces variables comme des coordonnées polaires, définit la *radiale* de C , et l'équation en s et φ , lorsqu'on y regarde ces variables comme des coordonnées axiales (1), définit son *arcuïde*.

Les relations d'une courbe C avec sa courbe de Mannheim, sa radiale et son arcuïde sont étudiées par l'auteur dans les deux chapitres suivants où se rencontrent une foule d'élégantes propositions sur maintes courbes classiques.

Un dernier chapitre est consacré à l'application des coordonnées intrinsèques à la théorie générale des roulettes pour laquelle elle ne se montre pas moins féconde.

Quiconque a le goût de la géométrie des courbes spéciales, fertile en surprises, trouvera, dans le petit livre de M. Braude, un agréable aliment à sa curiosité.

M. O.

III

INTRODUCTION GÉOMÉTRIQUE A QUELQUES THÉORIES PHYSIQUES, par ÉMILE BOREL, Professeur à la Faculté des Sciences de Paris. Un vol. gr. in-8', de 137 pages. — Paris, Gauthier-Villars, 1914.

M. Émile Borel, chez qui l'analyste éminent se double d'un philosophe des plus avertis, est à l'avant-garde des mathématiciens que hante la préoccupation d'adapter constamment l'outil analytique aux besoins si rapidement variables de la physique

(1) La théorie des coordonnées axiales a été développée par M. d'Ocagne, dans un travail paru en 1884, dans les NOUVELLES ANNALES DE MATHÉMATIQUES, et qui a pris place ensuite dans la brochure *Coordonnées parallèles et axiales* de cet auteur. — Paris, Gauthier-Villars, 1885.

mathématique. Cette préoccupation l'a conduit non seulement à écrire, en divers recueils, une série de remarquables articles où sont traitées avec maîtrise diverses importantes questions de philosophie ou de méthodologie mathématiques se rapportant à cet objet, mais encore à faire à la Sorbonne, en décembre 1912 et janvier 1913, quelques leçons touchant des théories de géométrie à quatre ou à un très grand nombre de dimensions, qui intéressent soit les déductions du *principe de relativité* sous la forme nouvelle que lui ont donnée les travaux de Lorentz, Minkowski, Einstein, soit ce qu'on appelle aujourd'hui la *mécanique statistique*, c'est-à-dire l'étude des propriétés des systèmes d'un nombre très considérable de particules dont les vitesses, ou telles autres grandeurs physiques qui s'y rattachent, sont réparties d'après la loi du hasard.

Ces leçons, recueillies par M. Deltheil, élève à l'École normale supérieure, ont été réparties en cinq chapitres dont nous allons sommairement indiquer la substance.

Le chapitre I expose la théorie analytique des déplacements euclidiens à deux et à trois dimensions, mettant en évidence le rôle fondamental qu'y jouent la droite et le plan de l'infini, avec les ombilics d'une part, la conique ombilicale de l'autre, de façon à faire entrevoir la genèse des géométries non euclidiennes étudiant des groupes de transformation analogues mais dans lesquels ces éléments invariants sont remplacés par d'autres de même espèce arbitrairement choisis.

Au chapitre II, extension est faite des mêmes principes au cas de la géométrie euclidienne à quatre dimensions. On y rencontre, pour les seize cosinus qui entrent dans les formules du déplacement le plus général de l'espace à quatre dimensions, une détermination très élégante en fonction des six paramètres qui généralisent dans ce cas les trois paramètres d'Olinde Rodrigues pour le cas des trois dimensions. Ces expressions sont, bien entendu, équivalentes à celles que Cayley avait d'abord découvertes, mais elles sont atteintes par une voie plus géométrique.

Revenant au cas de deux dimensions, l'auteur étudie au chapitre III une géométrie hyperbolique spéciale dans laquelle les points à l'infini sur les axes coordonnés remplissent le rôle précédemment joué par les ombilics, et il en fait aussitôt une ingénieuse application à la théorie physique de la relativité grâce à un mode particulier de représentation, sous forme d'une

certaine géométrie à deux dimensions, de la relation entre la position d'un point mobile sur une droite fixe et le temps.

Le chapitre IV est consacré de même à des géométries hyperboliques spéciales à trois ou quatre dimensions, et l'introduction de cette dernière permet à l'auteur de reprendre, par une voie géométrique, l'étude de quelques points de la théorie physique de la relativité en lui fournissant une représentation commode de la synthèse des deux notions fondamentales de l'espace et du temps en celle unique de *l'univers* au sens de Minkowski. En utilisant cette représentation particulière, M. Borel reprend, à partir du principe de relativité, l'étude du groupe de transformations des équations de l'électromagnétisme, puis aborde le problème de la composition des vitesses. Grâce à l'introduction d'une notion nouvelle à laquelle il donne le nom d'*espace cinématique* (ensemble des extrémités des vecteurs équipollents aux vitesses de tous les mouvements rectilignes et uniformes), il obtient une représentation simple du résultat de tout problème de changement du système de comparaison.

Le chapitre se termine par de très curieuses remarques touchant les rapports de la cinématique avec la théorie de la relativité sous la forme que lui a donnée Minkowski.

Les progrès de la physique ayant conduit à reconnaître l'utilité d'envisager des fonctions dépendant d'un très grand nombre de variables indépendantes, l'auteur est amené, dans un dernier chapitre, à faire voir comment se peuvent établir les propriétés des êtres géométriques les plus simples d'un espace à dimensions en tant d'ailleurs qu'elles se lient au fait que ce nombre des dimensions est très grand. L'auteur, pour fixer les idées, le suppose d'ailleurs de l'ordre de 10^{24} , nombre auquel conduisent, d'après M. Jean Perrin, les évaluations du nombre des molécules et du nombre des paramètres dont elles dépendent. Il traite complètement, dans cette hypothèse, la détermination de l'aire et du volume de la sphère et de l'ellipsoïde.

S'appuyant sur ces exemples, M. Borel fait remarquer, en terminant, que « d'une manière générale, il ne paraît pas douteux que l'emploi du langage et du raisonnement géométrique peut être très utile dans les recherches de mécanique statistique, relatives aux systèmes d'un nombre très considérable de particules dont les vitesses, ou d'autres grandeurs physiques, sont réparties d'après les lois du hasard ».

Mais, même si l'on fait abstraction de ces visées particulières,

les théories développées par M. Borel sont de nature à vivement intéresser quiconque a le goût de la géométrie.

Le reste du volume (qui n'en constitue pas loin de la moitié) est occupé par la réimpression de plusieurs notes de l'auteur, disséminées en divers recueils, et que l'on a plaisir à retrouver ainsi groupées.

La note I, relative aux principes de la théorie cinétique des gaz, est une défense très habile et très serrée de la méthode statistique instaurée par Maxwell et qui, à une certaine époque, n'avait pas échappé à l'emprise de la verve sarcastique de Joseph Bertrand.

La note II contient une discussion très subtile des difficultés que soulève l'explication mécanique des phénomènes irréversibles et l'indication d'une voie dans laquelle on peut avoir chance d'en trouver la solution.

La note III renferme la mise au point, d'après l'auteur, des idées d'Henri Poincaré concernant la relativité de l'espace.

La note IV a pour but, par un exemple emprunté à la théorie des résonateurs, de signaler les dangers qu'il peut parfois y avoir à raisonner sur certaines équations approchées, qui se rencontrent en physique, comme si elles étaient exactes, en montrant, sur un exemple précis, comment la présence de termes aussi petits que l'on veut peut modifier complètement l'allure d'un phénomène régi par une équation différentielle très simple.

La note V fait connaître une ingénieuse solution élémentaire d'un problème de probabilité géométrique qui se pose à l'occasion de la théorie de certains phénomènes physiques, comme l'émission des particules α du radium.

Dans la note VI, l'auteur précise ce qui, dans l'étude des rapports de la théorie de la relativité et de la cinématique, distingue son point de vue de celui auquel s'était précédemment placé M. Varicak.

Enfin, la note VII reproduit une belle conférence faite à l'occasion de l'inauguration de l'Institut Rice, à Houston (Texas), où, sous une forme brillante et dans un esprit vraiment philosophique, sont mis en pleine lumière les points de contact entre la physique moléculaire et les mathématiques, auxquels pourront être rattachés d'importants progrès pour l'une et l'autre science.

M. O.

IV

BEISPIELE ZUR GESCHICHTE DER MATHEMATIK. EIN MATHEMATISCH-HISTORISCHES LESEBUCH, II Teil, von ALEXANDER WITTING und MARTIN GEBHART. Un vol. in-12 de VIII-61 pages. — Leipzig et Berlin, Teubner, 1913.

Ce petit volume est le tome XV de la MATHEMATISCHE BIBLIOTHEK de MM. Lietzmann et Witting, collection destinée, on le sait, à procurer, à bon marché, aux mathématiciens des lectures distrayantes et agréables relatives aux mathématiques. Les éditeurs du tome XV, MM. Witting et Gebhardt, nous donnent une chrestomathie composée de courts extraits d'auteurs du moyen âge et du XVI^e siècle.

Pourquoi les grands géomètres de la Grèce antique en paraissent-ils systématiquement exclus ? Peut-être parce que la deuxième partie de cette chrestomathie paraît avant la première et que celle-ci, encore inédite, leur sera consacrée.

Dans un recueil de ce genre, limité à un petit nombre déterminé de pages, il n'y a pas lieu de discuter le choix des morceaux. Ils doivent être courts et présenter quelque intérêt. On ne peut guère dénier aux pièces du recueil cette double qualité. En voici, au surplus, la liste. Les extraits écrits en allemand sont reproduits dans la langue originale, les autres le sont dans une traduction.

En tête une gravure tirée d'une édition de 1568 de *l'Arithmétique* de Gemma Frisius ; puis viennent le titre, la préface, et une petite pièce de vers, signée Adam Riese, 1529.

1. Le livre du calcul des cordes du cercle par Abu'l Raihan Muh. El Biruni. (BIBLIOTHECA MATHEMATICA, 3^e sér. t. 11, 1910-11.) Extrait de la traduction allemande, faite sur l'arabe, par H. Suter. Il s'agit du calcul de la corde $(A + B)$ connaissant Corde A et Corde B. (Vers l'an 1000.)

2. Extrait du livre de la grandeur des surfaces (*liber embadorum*) d'Abraham bar Chijja Savasorda. D'après la traduction allemande de M. Curtze, faite sur la version latine de Platon de Tivoli. (ABHANDLUNGEN ZUR GESCHICHTE DER MATHEMATISCHEN WISSENSCHAFTEN, t. 12, 1902.) Résolution géométrique d'équations du 2^e degré. (XII^e siècle.)

3. Extrait du livre des calculs d'Abu Zakarija el Hassar. Tra-

duit de l'arabe par H. Suter. (BIBL. MATH., 3^e sér. t. 2, 1901.)
Résolution d'équations du premier degré. (XII^e siècle.)

4. Exemple de division sexagésimale tiré d'un auteur arabe. Traduction allemande faite sur la version française de Carra de Vaux. (BIBL. MATH., 2^e sér. t. 13, 1898.) (XV^e siècle.)

5. Extrait du traité d'Arpentage de Leonard de Antoniis de Crémone. Extraits divers d'après l'édition italienne de Max Curtze; (ABHAND. ZUR GESCH. DER MATH. WISSENS., t. 13, 1902.)

6. Extraits d'une algèbre manuscrite allemande de 1461, publiée par Max Curtze. (ABHAND. ZUR GESCH. DER MATH. WISSENS., t. 7, 1895.) Résolutions d'équations du 2^e degré.

Note de M. Witting sur les « Notations cossiques », c'est-à-dire, sur les manières de représenter les diverses puissances de l'inconnue sans l'emploi des exposants.

7. Extrait d'une lettre de Regiomontanus à Giovanni Bianchini (1463). Traduit sur le texte latin publié par Curtze. (ABHAND. ZUR GESCH. DER MATH. WISSENS., t. 12, 1902.) Exemple de la résolution numérique détaillée d'une équation du 2^e degré.

8. Usages divers du compas et de la règle, par Albert Durer (1525).

9. Calculs arithmétiques à l'aide du boulier et de la plume, par Adam Riese (1525).

10. Divers exemples de calcul arithmétique, par Adam Riese (1550).

11. L'*Arithmetica integra* de Michel Stifel (1544). La quadrature du cercle tirée de l'Appendice du livre II. Traduit du latin, par Witting. Ce choix n'est pas très heureux. Il y avait mieux à prendre dans l'*Arithmetica integra*, qu'un extrait de la seule partie de l'ouvrage qui soit absolument ratée. Pourquoi ne pas nous donner plutôt la résolution d'un système d'équations à plusieurs inconnues, par exemple ?

12. L'extraction des racines, par Jean Scheubel (1645). Traduit du latin par Witting.

13. La Règle d'or, d'après l'*Ars Magna* de Jérôme Cardan (1645). Traduite du latin par Witting.

14. La « Coss » par Christophe Rudolff (1553). Extraits relatifs aux progressions arithmétiques et géométriques.

15. L'*Arithmeticus Libellus* de Victor Strigel (1565). De la table de multiplication; traduit du latin par Gebhardt.

16. L'*Arithmeticae practicae Methodus facilis* par Gemma Frisius. Calcul de la surface d'un triangle dont on connaît les

trois côtés. Traduit du latin par Gelhardt, d'après l'édition de 1568.

17. L'Algèbre de Bombelli (1572). L'extraction des racines carrées par les fractions continues. D'après la traduction allemande de Wertheim (ABHAND. ZUR GESCH. DER MATH. WISSENSCH., t. 8, 1898).

Il ne faut pas demander à ce petit volume plus qu'il ne promet, c'est-à-dire, une lecture attrayante destinée aux mathématiciens qui ne se font pas une spécialité de l'histoire de leur branche. Mais limité à ce point de vue, il est recommandable et donnera à plus d'un lecteur le désir d'en connaître davantage.

H. B.

V

A HISTORY OF JAPANESE MATHEMATICS, by DAVID EUGENE SMITH and YOSHIO MIKAMI. Un vol. in-8° de viii-288 pages et 74 figures géométriques ou illustrations. — Chicago, The open court publishing Company, 1914.

Dans le BULLETIN D'HISTOIRE DES MATHÉMATIQUES du mois d'octobre 1913, j'ai signalé au lecteur *l'Histoire des Mathématiques en Chine et au Japon* par M. Yoshio Mikami. (*The Development of Mathematics in China and Japan*. Leipzig, Teubner, 1913.) Essai intéressant, important même parce qu'il était le premier de ce genre, mais qui néanmoins ne fut pas fort heureux.

Les textes des mathématiciens chinois, inabordables pour nous dans la langue originale, rebutent beaucoup de sinologues et n'ont guère été traduits. Aussi est-il malaisé en Europe de se faire une idée précise des mathématiques du Céleste Empire. Nous ignorons moins les mathématiciens japonais récents. M. Mikami a beaucoup contribué à nous les faire connaître par ses *Mathematical Papers from the Far East* (Leipzig, Teubner, 1910). Mais quand il s'agit de l'étude des géomètres japonais anciens, la difficulté est presque aussi grande que pour les géomètres chinois.

De nos jours les savants japonais sont bien informés de ce qui se publie en Europe. C'est insuffisant pour établir déjà un parallèle entre le développement de leurs mathématiques nationales et celui des nôtres.

Il faut le dire, le sujet est difficile.

Les mathématiques de l'Occident et celles de l'Extrême-Orient paraissent au premier abord différer les unes des autres autant qu'il est possible. Au dire des géomètres japonais et chinois, leur science, à l'abri de toute infiltration étrangère, s'est entièrement développée par ses propres moyens.

Est-ce bien exact? Il ne semble pas et il faut même le révoquer en doute a priori. Les Jésuites n'occupèrent pas pendant un siècle et demi les fonctions de directeurs de l'Observatoire de Péking, premier établissement scientifique de l'empire, sans que les méthodes européennes ne réagissent sur les mathématiques chinoises et de là quelque peu sur celles du Japon.

Au Japon même, il est vrai, l'action scientifique directe des Jésuites fut moindre qu'en Chine. Mais il y eut une compensation, l'influence des marchands hollandais. Leurs intérêts mercantiles les engageaient à rendre à leurs clients tous les genres de services. Volontiers ils se faisaient courtiers en livres de sciences européennes comme en toute autre marchandise. A l'occasion ils ne refusaient pas d'interpréter ces livres, quand quelque savant japonais le leur demandait.

Tous ces problèmes si délicats, M. Mikami, et pour cause, dans son *Histoire des Mathématiques en Chine et au Japon*, les avait à peine effleurés. N'est-il pas prématuré de vouloir déjà les résoudre complètement? Aussi, n'est-ce pas encore le but poursuivi par le savant Japonais dans le nouvel ouvrage qu'il nous donne; il a plutôt voulu planter les premiers jalons de la solution.

La bonne fortune lui a fait rencontrer un conseiller et un collaborateur chez un de ses anciens maîtres. J'ai nommé M. David Eugène Smith de New-York, l'un des savants de la grande République Américaine, qui connaissent le mieux l'histoire des mathématiques.

Les deux géomètres-historiens se sont partagé le travail. M. Mikami a pris à sa charge la recherche des documents japonais et leur traduction; M. Smith s'est réservé la mise en œuvre. Chacun des deux savants entend conserver sa responsabilité personnelle. Acceptant les documents tels que M. Mikami les lui présente, M. Smith les discute au double point de vue des mathématiques et de l'histoire. Sans doute, la méthode n'est pas parfaite, mais c'est incontestablement la meilleure dans l'état actuel de la science.

Nous n'avons encore aujourd'hui que le volume consacré aux mathématiciens japonais. Une impression d'ensemble s'en

dégage. Le Japonais est plutôt un virtuose du calcul, qu'un logicien; plutôt un amateur de récréations mathématiques qui retourne sous toutes ses formes attrayantes le même problème, qu'un génie généralisateur cherchant la solution simple qui s'applique à tous les cas particuliers.

Pour terminer signalons la profusion et la beauté de l'illustration. Le volume est imprimé avec une richesse toute américaine. Mais ce n'est pas simple plaisir de vous donner un ouvrage de grand luxe. Les notations japonaises diffèrent tant des nôtres que ces nombreuses figures sont des plus utiles pour nous faire comprendre les méthodes de démonstration et de calcul.

Qu'il nous soit permis de formuler un vœu; c'est d'avoir bientôt un volume analogue consacré aux mathématiques chinoises.

H. B.

VI

BIBLIOTHECA SCRIPTORUM GRAECORUM ET ROMANORUM TEUBNERIANA. — *Des Claudius Ptolemæus Handbuch der Astronomie*. Aus dem Griechischen übersetzt und mit erklärenden Anmerkungen versehen von Karl Manitius. Deux vol. pet. in-8° (1) de xxviii-461 pages, 1 planche hors texte et 446 pages. — Leipzig, Teubner, 1912 et 1913.

Voilà plus de dix ans que dans le volume I de ses *Claudii Ptolemæi Opera Omnia*, M. Heiberg a publié le texte grec de l'*Almageste* de Ptolémée. Ce premier volume, divisé en deux tomes, parut à Leipzig, en 1898 et 1903, dans la BIBLIOTHECA SCRIPTORUM GRAECORUM ET ROMANORUM TEUBNERIANA. Le texte de M. Heiberg constitue un grand progrès sur celui qui fut édité à Paris, en 1813 et 1816, par l'abbé Halm. Quant à ce dernier, il avait pratiquement remplacé le texte de l'édition princeps donnée en 1538, chez Valderus à Bâle, par Simon Gauricus. Au

(1) Ces deux ouvrages font partie de la BIBLIOTHECA SCRIPTORUM GRAECORUM ET ROMANORUM TEUBNERIANA. En voici les titres: *Gemini elementa astronomiae ad codicum fidem recensuit, germanica interpretatione et commentariis instruit* Carolus Manitius. Lipsiae, 1898. — *Hipparchi in Arati et Eudocii phaenomena Commentariorum libri tres. Ad codicum fidem recensuit germanica interpretatione et commentariis instruit* Carolus Manitius. Lipsiae, 1894.

témoignage de M. Manitius, cette édition de Gauricus est aussi correcte que pouvait l'être une édition du XVI^e siècle. Le texte grec de l'*Almageste* n'a été imprimé en entier jusqu'ici que trois fois.

L'édition de Halma conserve néanmoins beaucoup de vogue, tant à cause des notes et éclaircissements qu'y ajouta Delambre, que parce que le texte y est accompagné d'une traduction française. Cette vogue se comprend, car combien rares sont les spécialistes, à la fois astronomes et philologues, capables d'utiliser avec aisance le texte grec d'Heiberg ! Aussi, malgré ses incorrections, la traduction française d'Halma est-elle encore beaucoup recherchée.

Dans la langue originale, Ptolémée, il faut le reconnaître, est un auteur difficile, même pour un helléniste. A preuve cet aveu de M. Heiberg à la fin de sa préface (p. VI) :

« Interpretationibus commentariisque Arabibus uti non potui, Latinis nolui. Interpretationem meam, sive latinam, sive linguae recentioris, in tanta rerum difficultate addere ausus non sum. De ea re videant astronomi si interpretationem desideraverint. »

De ea re videant astronomi si interpretationem desideraverint, reprend M. Manitius, c'est vite dit, mais vraiment par trop exiger des astronomes ! Pour faire cette traduction, il leur faudrait une connaissance du grec qu'on ne peut raisonnablement exiger d'eux. Et puis, est-il plus aisé pour un astronome d'apprendre à fond le grec, que pour un helléniste d'arriver à comprendre l'astronomie ?

Heureusement pour nous, M. Manitius joint les qualités de l'astronome à celles du philologue. Il l'a montré dans ses belles éditions de Geminus et d'Hipparque, dont il nous a jadis donné un texte critique avec une traduction allemande. Peu nombreux sont aujourd'hui les savants, capables de traduire comme lui l'*Almageste*. Il faut lui savoir gré de ne pas avoir reculé devant un travail aussi ardu.

Comme base de sa traduction, le savant helléniste de Dresde a naturellement choisi le texte d'Heiberg. Mais, il l'a cru parfois susceptible d'amendements de détail ; notamment dans les figures, trop servilement reproduites par Heiberg, dit-il, d'après le Codex D (Vaticanus 180).

Quant à la version allemande, affirme-t-il avec assurance, les critiques ne pourront cette fois lui reprocher d'être « frei wie immer », trop libre comme toujours. Les mots sont mis entre

guillemets par M. Manitius lui-même. Serrer de près le texte qu'on traduit est parfait ; mais, il faut rester intelligible. Trois genres d'éclaircissements ont donc été employés : de simples mots entre parenthèses intercalés dans les phrases mêmes du mot à mot, de courtes notes au bas des pages, des commentaires plus étendus renvoyés à la fin de chacun des deux volumes.

« Un souhait avant tout, dit le traducteur vers la fin de la préface. Puisse l'étude de la version allemande de l'*Almageste*, mettre un terme à trop de jugements erronés défavorables portés sur l'auteur de la *Synlaxe* ! Tels sont notamment ceux de Delambre, dans son *Histoire de l'Astronomie*, qui ont trouvé un si large crédit. Ptolémée n'a sans doute pas eu de grandes qualités personnelles d'observateur ; mais il faut admirer la solidité et la science avec lesquelles il a élaboré les matériaux rassemblés par ses prédécesseurs. Il ne mérite pas sa réputation de simple compilateur, ou de plagiaire de son illustre devancier Hipparque. »

H. B.

VII

LA FORME DE LA TERRE ET SA CONSTITUTION INTERNE, par ALEX. VÉRONNET, docteur en sciences. Un vol. in-8° de 32 pages. — Paris, Hermann et Fils, 1914.

Si la Terre était immobile, si elle était et avait toujours été solide et froide, sa forme pourrait être quelconque : la Géodésie se réduirait à la Géographie et à la Topographie. Mais elle tourne sur elle-même ; elle fut fluide jadis et elle s'est refroidie au cours des âges en obéissant aux lois de la contraction ; aujourd'hui les mers qui l'entourent sont en équilibre sous l'action de la pesanteur et de la force centrifuge, et leur surface de niveau prolongée s'écarte peu de celle des continents. La Géodésie n'est donc pas une science sans objet.

Par les travaux qu'elle a suscités, l'étude théorique de la forme de la Terre se rattache aux idées que l'on s'est faites de la pesanteur, à l'histoire de la gravitation universelle sur tout, dont elle a été, à l'origine, une des plus éclatantes confirmations ; elle nous a valu des chefs-d'œuvre, le *Traité de Clairaut sur la figure de la Terre*, entre autres, que l'on a comparé et même égalé aux plus beaux chapitres du livre *des Principes*.

Elle n'a pas contribué seulement au progrès des grandes théories astronomiques, elle a aussi puissamment aidé, par les nombreuses expéditions qu'elle a provoquées, au perfectionnement des instruments et des méthodes d'observation et nous a fourni, sur l'intérieur de notre globe, des notions précieuses dont la géologie a bénéficié.

C'est à ces travaux et à leurs conclusions que M. Véronnet consacre une étude historique et critique dont les éléments sont puisés aux meilleurs sources.

Sans se perdre dans les détails, il s'est attaché à mettre en lumière les traits essentiels de ces recherches, et à en peser les apports. Il en résulte une monographie excellente, mise à la portée du grand public auquel nous la recommandons volontiers.

« Il faut dire en somme, conclut l'auteur, que la Terre affecte, dans son ensemble, la forme d'une surface sphérique, qui s'est déformée légèrement, et à peu près également, dans deux sens différents : dans le sens ellipsoïdal sous l'action de la rotation ou de la force centrifuge, et dans le sens tétraédrique sous l'action du refroidissement et de la contraction. Ces deux poussées de déformation de la surface sphérique atteignent extérieurement à peu près les mêmes valeurs de 20 kilomètres, du moins si l'on ne regarde que la surface solide pour la forme tétraédrique. » La différence entre les deux rayons de l'ellipsoïde terrestre est en effet de 20 kilomètres, et la différence entre les sommets des plus hautes montagnes et les fonds des mers les plus bas atteint à peu près la même valeur. « Le sphéroïde terrestre est tétraédrique aussi bien qu'ellipsoïdal, et cela au même titre, aussi peu, mais autant. »

N. N.

VIII

I. -- LES LOIS EMPIRIQUES DU SYSTÈME SOLAIRE ET LES HARMONIQUES TOURBILLONNAIRES, par F. BUTAVAND, ingénieur des Ponts et Chaussées. Un vol. in-8° de 43 pages. — Paris, Gauthier-Villars, 1913.

II. — L'HARMONIE TOURBILLONNAIRE DE L'ATOME. Les spectres et les éléments, par F. BUTAVAND, ingénieur des Ponts et Chaussées. Un vol. in-8° de 50 pages. — Paris, Gauthier-Villars, 1914.

I. — On appelle « *lois empiriques du système solaire*, des relations établies en dehors de toute théorie cosmogonique et par des méthodes totalement artificielles, permettant d'obtenir, avec une approximation plus ou moins grande, les éléments des planètes en fonction du rang, ou, à la rigueur, en fonction de la distance au Soleil. » La *loi de Bode*, que l'on trouve dans tous les traités de Cosmographie, est une *loi empirique* relative aux distances des planètes au Soleil.

De nombreux chercheurs se sont livrés à ce jeu de patience, soutenus par la conviction que la répartition des éléments du système solaire n'est pas due au hasard.

M. Butavand précise davantage. « Il semble bien, dit-il, qu'il se passe, pour ces quantités, un fait analogue à celui qu'on observe en chimie, où les propriétés des corps paraissent être des fonctions, à période plus ou moins apparente, d'une seule et même variable : le rang de l'élément dans la classification générale, ou dans la famille. »

Il est malaisé, sinon impossible, à qui cherche une loi empirique, de ne pas joindre aux données objectives du problème, comme le fait ici M. Butavand, une anticipation de l'esprit qui oriente les calculs, suggère les interprétations et parfois les égare. Képler n'a-t-il pas voulu voir une relation entre la répartition des distances des planètes au Soleil et le problème de l'inscription des polyèdres réguliers ?

D'autre part, tous ceux qui jusqu'ici se sont donnés à la recherche des lois empiriques du système solaire, ont porté leurs efforts, non sur tous ses éléments, mais sur un certain nombre d'entre eux plus facilement accessibles ou qui leur paraissaient pouvoir être moins arbitrairement isolés et étudiés séparément. Cette disjonction d'éléments intimement enchaînés, peut aussi ne pas être sans inconvénient et justifie certaine réserve.

Faut-il en conclure que ces lois empiriques sont simplement curieuses ? — Leurs auteurs eux-mêmes en ont parfois jugé ainsi ; mais, le plus souvent ils y ont vu de précieuses indications sur les origines de notre système solaire, ou d'éloquentes confirmations de telle ou telle hypothèse cosmogonique qu'elles s'accordaient à vérifier. C'est ainsi que l'astronome américain, Hinrichs, a vu, dans la loi de Bode, une conséquence de la condensation progressive, régulière et proportionnelle au temps, de la nébuleuse solaire telle que Laplace l'avait conçue ; en sorte que les

nombres qui mesurent les distances des planètes, mesureraient aussi les durées qui ont séparé leur formation.

C'est sur les distances des planètes, leurs masses et leurs rotations que s'est exercée surtout la sagacité de M. Butavand. Il a réussi d'excellente façon ; la vérification des lois qu'il formule est, en général, très satisfaisante ; son livre, très intimement soudé à l'*Essai de cosmogonie tourbillonnaire* de M. Belot, lui apporte une contribution de valeur.

H. Poincaré, dans ses *Leçons sur les hypothèses cosmogoniques* (1), termine ainsi l'étude qu'il consacre à la théorie de M. Belot :

« Quelles que soient les critiques que nous avons cru devoir formuler sur divers points de cette théorie, cette tentative mérite l'attention. Si on peut reprocher à M. Belot d'avoir été un peu plus audacieux qu'il ne convient de l'être dans l'état actuel de la Science et d'avoir voulu prématurément trop embrasser, et si ses idées ne semblent pas pouvoir être acceptées sous leur forme actuelle, il semble qu'il peut être utile de les faire connaître, parce que l'on pourra un jour y trouver à glaner d'intéressantes vérités ». En terminant sa brochure, M. Butavand rappelle ce jugement de l'illustre mathématicien. « La confiance témoignée par ces paroles à la conception tourbillonnaire, dit-il, était bien placée ; on en a une nouvelle preuve, puisqu'il suffit d'y ajouter l'hypothèse d'harmoniques pour obtenir une ample moisson de résultats qu'aucune théorie cosmogonique n'avait pu produire jusqu'à maintenant : explication sommaire, mais simple, des lois des masses, des densités, des excentricités, des rotations ; explication des particularités des Astéroïdes et même des inégalités de la loi exponentielle des distances. »

H. — Dans sa seconde brochure, M. Butavand abandonne la cosmogonie pour appliquer le principe de l'harmonie tourbillonnaire à l'atome, constitué conformément à la conception de M. Belot, en vue d'obtenir un schéma général dans lequel prendraient place les lois et les particularités des spectres de lignes, des spectres de bandes, des phénomènes de Zeeman et de la classification des éléments.

Voici un aperçu de la table des matières : La théorie tourbillonnaire. Les lois spectrales. La théorie de Ritz. Le tourbillon

(1) Seconde édition, p. 279, 1913.

atomique et les raies spectrales. Les harmoniques tourbillonnaires. La formule de Rydberg et l'exposant Képlérien. L'évolution adiabatique des nappes. Les spectres de bandes et les harmoniques. Les lois des spectres de bandes. Les effets de Zeeman et les harmoniques. La gamme chimique et la classification des éléments. Les propriétés générales de l'atome. La valence. Conclusion.

« On a pu dire avec raison que le secret de la constitution de l'atome est inscrit dans le spectre en hiéroglyphes que nous ne savons pas déchiffrer... L'harmonie tourbillonnaire nous apporte la clef, imparfaite encore sans doute, mais très simple, de ce mystère...

» L'harmonie tourbillonnaire constitue un cadre simple et très général dans lequel viennent se caser naturellement toutes les particularités des spectres de lignes, des spectres de bandes et des effets de Zeeman. Elle nous a même conduit à des aperçus significatifs concernant la périodicité atomique et le classement des éléments par famille... Avec l'harmonie tourbillonnaire, une foule de phénomènes qui paraissaient énigmatiques et disparates, deviennent familiers; on a l'impression qu'un coin du voile qui nous cachait le secret de la genèse des mondes et de celle de la matière se soulève enfin.

» C'est le même phénomène de balistique qui a donné naissance aux mondes et aux atomes, et, du très petit au très grand, tout est dans l'univers bâti sur le même modèle... Dans l'atome les corpuscules se repoussent; dans le monde solaire, les particules de matière s'attirent, ce qui donne à chacun d'eux sa physionomie propre... L'évolution des nappes aurait été adiabatique pour l'atome, et isothermique pour le système solaire. Malgré ces dissemblances, les analogies restent considérables et significatives. Les variations immédiates et les alternances qui jouent un rôle important dans le cas des astéroïdes, se retrouvent pour ainsi dire telles quelles dans les spectres de bandes et dans le phénomène de Zeeman. »

Ceux qui ont accordé quelque attention aux idées exposées par l'auteur dans son précédent ouvrage sur les *Lois empiriques du système solaire et les harmoniques tourbillonnaires*, liront avec intérêt le nouveau travail qu'on leur présente.

L. R.

IX

O. D. CHWOLSON, professeur à l'Université impériale de St-Petersbourg. TRAITÉ DE PHYSIQUE, ouvrage traduit sur les éditions russe et allemande par E. DAVAUX, ingénieur de la Marine. Édition revue et considérablement augmentée par l'auteur, suivie de notes sur la Physique théorique par E. COSSERAT et F. COSSERAT. Tome IV, Deuxième fascicule. *Champ magnétique constant*. Un vol. grand in-8° de 431-1162 pages, avec 284 figures dans le texte.

Tome V, Premier fascicule. *Champ magnétique variable*. Un vol. grand in-8° de 266 pages, avec 36 figures dans le texte. — Paris, A. Hermann et Fils, 1913, 1914.

La traduction française du *Traité de Physique* de Chwolson se poursuit avec la même ampleur de doctrine et la même abondance de renseignements bibliographiques. De tels développements ont été donnés à l'exposition de l'Électricité et du Magnétisme, que seules l'étude du champ électrique constant et celle du champ magnétique constant ont pu être comprises dans le tome IV qui devait primitivement contenir tout ce qui se rapporte à l'*Énergie électrique*.

Nous avons signalé déjà la publication du premier fascicule de ce tome IV, consacré au *champ électrique constant*. Le second fascicule, qui achève ce tome, traite du *champ magnétique constant* ; voici le résumé de la table des matières.

Ch. I. Propriétés du champ magnétique constant. — Ch. II. Sources du champ magnétique. Aimants. — Ch. III. Sources du champ magnétique. Courant électrique. — Ch. IV. Phénomènes thermiques et mécaniques à l'intérieur d'un circuit. — Ch. V. Phénomènes chimiques à l'intérieur d'un circuit. Électrolyse. Théorie du courant hydro-électrique. — Ch. VI. Phénomènes thermo-électriques à l'intérieur d'un circuit. — Ch. VII. Actions ponderomotrices du champ magnétique. — Ch. VIII. Induction de l'état magnétique dans les corps. On trouve dans ce chapitre l'exposé des nouvelles théories moléculaires du magnétisme de J. J. Thomson, W. Voigt, P. Langevin, P. Weiss (Théorie des magnétons). — Ch. IX. Action du champ magnétique sur les corps qu'il contient. — Ch. X. Mesure des résistances électriques. Méthodes et résultats. — Ch. XI. Mesure de l'intensité d'un courant, de la force électromotrice et de l'intensité du champ magnétique.

Le premier fascicule du tome V, traite du *champ magnétique variable*. L'exposé objectif et le rapprochement des théo-

ries les plus récentes, et aussi les plus controversées, rendent ce fascicule particulièrement intéressant.

Il s'ouvre par un chapitre d'introduction où sont exposées les propriétés des scalaires et des vecteurs, les relations mutuelles entre les champs, et quelques notions préliminaires sur les phénomènes radioactifs.

Le chapitre II est consacré au phénomène d'induction et à ses applications : Énergie du champ magnétique ; modèles. Théorie approchée de la bobine d'induction. Le courant alternatif : Théorie approchée du transformateur. Courants de Foucault. Induction unipolaire.

La théorie de Maxwell fait l'objet du chapitre III : Équations de Maxwell. Théorème de Poynting et flux d'énergie. Diélectriques et aimants. Conducteurs et semi-conducteurs. Équations de Hertz pour les corps en mouvement. Détermination expérimentale de la grandeur v .

On aborde, dans le chapitre IV, les fondements de la théorie électronique et la dynamique des électrons. Un paragraphe, ajouté à l'édition française par MM. E. et F. Cosserat, expose la *notion d'action* dans la dynamique de l'électron, d'après les recherches de H. A. Lorentz, K. Schwarzschild et H. Poincaré.

Enfin, un chapitre nouveau, rédigé par l'auteur, est consacré au *principe de relativité* : Le principe de relativité dans la mécanique newtonienne. Milieux de propagation ; l'air et l'éther. Recherches expérimentales. Hypothèses de Fitzgerald et de Lorentz. Temps local de Lorentz. Les idées d'Einstein. Conséquences du principe de relativité. La théorie de Minkowski. Les idées relativistes au point de vue mathématique : ce paragraphe a été ajouté par MM. E. et F. Cosserat. La question des horloges. Conclusion : « On peut exposer ce qu'il y a d'essentiel dans la théorie de la relativité sans avoir recours à des illustrations qui exigent la considération de l'heure ; c'est ce que je me suis efforcé de faire dans les pages précédentes.

» Le tableau de l'état actuel (1914) de la théorie de la relativité serait incomplet, si nous ne parlions pas, pour finir, du désaccord qui existe entre les physiciens sur la signification de cette théorie et sur la réalité physique de ses conséquences. Beaucoup la regardent comme définitivement établie, comme ne pouvant donner lieu à aucun doute et enfin comme introduite pour toujours dans le trésor de la Science. Mais il existe aussi des savants, et non en petit nombre, qui traitent cette théorie avec scepticisme et même la repoussent absolument, l'envi-

sageant comme un simple jeu d'esprit (ein drolliger Witz). En toute rigueur, quand on ne renonce pas à l'existence de l'éther, on ne peut rester *complètement* d'accord avec la théorie de la relativité.

» Il faut attendre de l'avenir la solution des questions en litige, et l'explication de la véritable signification *physique* du principe de relativité. »

J. T.

X

RADIATIONS VISIBLES ET INVISIBLES. Conférences faites à l'Institution royale de la Grande-Bretagne, augmentées de conférences nouvelles, par SILVANUS P. THOMPSON, traduites et annotées par L. DUNOYER. Seconde édition, revue et augmentée. Un vol. in-8° de III-376 pages avec 196 figures. — Paris, A. Hermann et Fils, 1914.

Il y a près d'un siècle, le 12 décembre 1825, l'Institution royale de la Grande-Bretagne instituait des conférences destinées à la jeunesse, où des maîtres éminents exposeraient en un langage simple et en s'aidant d'expériences, dans la mesure la plus large possible, les principes et les faits relatifs à quelques progrès récents de la science. Les *Christmas lectures* sont restées jusqu'ici en grand honneur, et elles n'ont rien perdu de la valeur et de l'attrait qu'ont su leur donner des savants, tels que Faraday, Tyndall, lord Kelvin, Maxwell, Tait, Lodge, etc.

Rien de plus instructif, rien de plus captivant que ces leçons où la rigueur des principes s'allie à la simplicité de l'exposition et au charme d'une mise en scène expérimentale toujours très riche, souvent originale, et où se déploie l'art, très cultivé par les physiciens anglais, de la construction de *modèles* destinés à peindre aux yeux les phénomènes les plus cachés.

Telle est l'origine et telles sont les qualités du livre excellent publié, en 1897, par M. le Professeur Silvanus Thompson, sous le titre *Light visible and invisible* : il reproduisait les *Christmas lectures* de 1896. Une seconde édition anglaise parut en 1910, enrichie de deux conférences nouvelles. C'est de cette seconde édition que M. L. Dunoyer nous offre une traduction française fidèle, élégante, digne en un mot de l'original, et augmentée de notes et d'appendices qui précisent certaines indications,

ajoutent quelques détails sur les techniques nouvelles et exposent les conquêtes les plus récentes de la physique dans les limites qu'embrassent les conférences de M. S. Thompson.

Il en résulte un exposé bien à jour et très clair, basé sur l'expérience et ordonné avec le souci constant d'établir entre les phénomènes une parfaite coordination de tout ce qu'il y a d'essentiel dans le domaine, aujourd'hui si riche et si complexe, des *radiations*; ce mot, que M. Dunoyer substitue avec raison au mot *light* de l'édition anglaise, comprenant non seulement les perturbations de l'éther, périodiques ou solitaires, telles que les ondes hertziennes de toutes les longueurs, l'infra-rouge, la lumière visible, l'ultra-violet, les rayons Roentgen et les rayons γ du Radium, mais aussi les rayonnements de nature corpusculaire : les rayons cathodiques, les rayons canaux, les rayons α et β des corps radioactifs, etc., dont les propriétés sont celles de trajectoires de particules douées d'une charge électrique, positive ou négative, et d'une masse réelle ou apparente.

Sans doute, la matière d'un aussi vaste sujet n'est pas épuisée ; le but même de ces conférences, l'auditoire auquel elles s'adressaient imposaient un choix. assignaient des limites que l'on eût pu franchir sans porter atteinte à l'unité synthétique de l'ensemble. « Bien des branches de l'optique, écrit M. S. Thompson, ont été nécessairement omises dans un si rapide exposé : c'est le cas de l'analyse spectrale tout entière, de la construction et de la théorie des instruments d'optique, de la majeure partie de ce qui concerne la vision colorée. On n'a fait aucune tentative pour les y introduire et leur omission n'invoque aucune excuse. On voudra bien juger de ces conférences par ce qu'elles contiennent, et non par ce qu'elles ne contiennent pas. » Or, ce qu'elles contiennent, le charme et le profit qui s'attachent à leur lecture, en font tout autre chose qu'une œuvre de vulgarisation, d'où la rigueur et les vues synthétiques sont généralement bannies et qu'on parcourt en courant sans autre résultat, le plus souvent, que celui de perdre son temps. A l'étudiant qui *méditera* les conférences de M. S. Thompson, la doctrine qu'elles renferment et les dispositions expérimentales dont elles abondent, il sera donné d'enrichir son esprit, de clarifier ses idées, d'apprendre et de comprendre beaucoup de choses, sans se mettre la tête en capilotade.

Il suffit pour en faire la preuve, de parcourir les sommaires des huit conférences qui se partagent l'ouvrage.

La première a pour titre *Lumière et ombre* :

Comment se propagent les ondes lumineuses. — Expériences de production d'ondes à la surface d'une cuve. — Comment se forment les ombres. — Comment les ondes lumineuses convergent et divergent. — Mesure de l'intensité de la lumière. — Réflexion de la lumière par les miroirs. — Formation des images. — Réflexion régulière et réflexion irrégulière. — Réflexion diffuse par le papier et les surfaces rugueuses. — Images multiples. — Réfraction de la lumière. — Lentilles. — L'œil en tant qu'instrument d'optique. — Quelques expériences curieuses. — Renversement des images. — Les miroirs magiques du Japon. — Les miroirs magiques anglais. — *Appendice*. La méthode générale de l'optique géométrique.

« Les idées développées dans cette première leçon, écrit M. S. Thompson, ont leur origine dans la conviction que l'enseignement traditionnel de l'optique géométrique fait complètement fausse route, en ignorant systématiquement la nature ondulatoire de la lumière. Pour les étudiants et les professeurs, on a ajouté, à la première leçon, un appendice dans lequel les idées nouvelles ont été développées. » Voici les titres des paragraphes principaux de cet appendice : Base de la méthode ondulatoire. Détermination de la courbure. Notations. Relation entre courbures successives. Formules de réfraction. Formules des lentilles. Formules générales. Formules relatives à deux lentilles minces à une certaine distance l'une de l'autre. Formules pour la réflexion.

D'autres appendices font suite aux autres leçons et tendent au même but : combler, dans une certaine mesure, les lacunes inévitables dans ce genre de conférences.

La seconde s'intitule : *Le spectre visible et l'œil* :

Couleur et longueur d'onde. — Nuances de l'arc-en-ciel. — Le spectre des couleurs visibles. — Spectres produits par un prisme. — Spectres produits par un réseau. — Composition de la lumière blanche. — Expériences sur le mélange des couleurs. — Analyse des couleurs. — Le bleu et le jaune, mêlés, font du blanc et non du vert. — Teintes complémentaires. — Teintes de contraste causées par la fatigue de l'œil. — Autres phénomènes de persistance de la vision. — Zoétrope. — Animatographe (Cinématographe). — *Appendice*. Réfraction anormale et dispersion.

Troisième conférence, *Polarisation de la lumière* :

Sens du mot *Polarisation*. — Comment on polarise les ondes lumineuses. — Illustration sur des modèles. — Polariseurs en verre, en spath calcaire, lamelles de tourmaline. — Comment un polariseur peut supprimer la lumière polarisée. — Propriété des cristaux. — Emploi de la lumière polarisée pour déceler de fausses pierres précieuses. — Rubis, saphirs et améthystes. — Polarisation par double réfraction. — Curieux phénomènes de coloration, en

lumière polarisée, produite par des lames cristallines minces, incolores, placées entre polariseur et analyseur. — Étude plus complète des teintes complémentaires et supplémentaires. — Mise en évidence de glissements par la lumière polarisée. — Effets produits sur le verre par la compression et l'échauffement. — *Appendice*. La théorie élastique de la lumière.

Au sujet de cette troisième conférence, M. S. Thompson écrit dans l'introduction de son livre : « Plusieurs des idées qu'il est indispensable de bien saisir, celle de la polarisation de la lumière par exemple, sont communément considérées comme d'une extrême difficulté ; or ce n'est pas tant dans les idées elles-mêmes que gît la difficulté, que dans le langage dans lequel elles sont généralement exprimées. Une expérience d'un bon nombre d'années a convaincu l'auteur, que les caractères essentiels des phénomènes de polarisation sont très aisément saisis par des personnes d'intelligence moyenne, même par des enfants, pourvu qu'ils soient présentés sous une forme moderne, dénuée de termes pédants, et illustrés par des modèles convenables. La même remarque pourrait s'appliquer aux autres parties de l'optique, comme les interférences ou la diffraction, auxquelles il est simplement fait allusion dans ces conférences. »

Quatrième conférence, *Le spectre invisible* (région ultra-violette) :

Le spectre s'étend, d'une manière invisible, de part et d'autre de la partie visible. — En deçà de l'extrémité rouge se trouvent des ondes invisibles et plus longues, qui produisent un échauffement des corps sans les illuminer. — On les appelle ondes calorifiques *infra-rouge*. — Au delà de l'extrémité violette du spectre visible sont les ondes invisibles plus courtes, qui produisent les effets chimiques. — On les appelle ondes actiniques ou *ultra-violettes*. — Comment on peut tamiser la lumière ultra-violette invisible et la séparer de la lumière visible. — Comment on peut rendre visible la lumière ultra-violette invisible. — Emploi d'écrans fluorescents. — Réflexion, réfraction, polarisation de la lumière ultra-violette invisible. — Luminescence ; luminescence temporaire ou fluorescence ; luminescence persistante ou phosphorescence. — Comment on peut faire de la « peinture lumineuse ». — Expériences sur les corps phosphorescents. — Autres propriétés de la lumière ultra-violette invisible. — Son pouvoir de décharger les corps chargés négativement. — Action photographique de la lumière visible et de la lumière invisible. — La photographie des couleurs. — Découverte par Lippman de la véritable photographie des couleurs. — La reproduction de la couleur des objets par la photographie trichrome. — Photochromoscope d'Yves. — *Appendice*. Table des longueurs d'ondes (en microcentimètres) et de fréquences.

M. Dunoyer complète cette table en donnant en note les renseignements suivants : « Depuis la publication de l'édition anglaise d'où ce tableau est extrait, le domaine des grandes longueurs

d'onde s'est considérablement enrichi. Après les rayons « restants » de la fluorine ($\lambda = 24 \mu$ ou 2400 micro-centimètres), ont été déconvertis ceux du sel gemme ($\lambda = 47 \mu$ et 54μ), de la sylvine (62μ et 70μ), du bromure de potassium ($\lambda = 76 \mu$ et 86μ) et de l'iode de potassium ($\lambda = 96 \mu$). Enfin MM. Rubens et Wood ont pu isoler, dans le rayonnement du manchon Auer, des radiations dont la longueur d'onde moyenne atteint 108μ . Mais ce n'est pas encore tout ; MM. Rubens et von Baeyer ont montré récemment (1911) que la lampe à vapeur de mercure en quartz émet un rayonnement qui contient, en quantité notable, des radiations dont la longueur d'onde est d'environ 314μ , soit $1/3$ de millimètre. La continuité entre les ondes hertziennes... et les ondes lumineuses, est presque complètement établie. »

Cinquième conférence, *Le spectre invisible* (infra-rouge) :

Comment on peut séparer la lumière infra-rouge invisible de la lumière visible. — Expériences sur l'absorption et la transmission de la lumière invisible infra-rouge. — Le verre, transparent, l'arrête ; l'ébonite, opaque, la transmet. — Emploi du radiomètre. — Emploi de la pile thermoélectrique et du héliomètre. — Enduit thermo-indicateur. — Expériences sur la réflexion, la réfraction et la polarisation de la lumière invisible infra-rouge. — Découverte par Hertz de la propagation des ondes électriques. — Les ondes hertziennes sont en réalité de gigantesques ondes de lumière invisible. — Expériences sur les propriétés des ondes hertziennes : leur réflexion, leur réfraction et leur polarisation. — Généralisation : toutes les ondes, visibles et invisibles, sont en réalité des ondes électriques de longueurs diverses. — *Appendice*. La théorie électromagnétique de la lumière.

Dans cet appendice, l'auteur expose quelques-unes des expériences sur lesquelles repose la démonstration de la nature électromagnétique de la lumière. « Le fait, dit-il, qu'on a pu exposer sans aucune réelle complication dans le fond ni dans la forme ces questions fondamentales, constitue le plus fort argument pour faire de cette démonstration un point essentiel de l'enseignement élémentaire. »

La description d'un modèle de mouvement ondulatoire destiné à donner une image de la manière dont se propage une onde entre un oscillateur et un résonnateur de Hertz, termine cette leçon.

Sixième conférence, les *Rayons de Roentgen* (rayons X) :

Découverte de Roentgen. — Production de la lumière dans les tubes à vide par les décharges électriques. — Comment on fait le vide dans un tube. — Phénomènes des tubes de Geissler. — La pompe à mercure. — Phénomènes des tubes de Crookes. — Propriétés de la lumière cathodique. — Ombres de Crookes. — Déviation de la radiation cathodique par un aimant. — Lumines-

cence et effets mécaniques. — Recherches de Lenard sur les rayons cathodiques dans l'air. — Recherches de Roentgen. — La découverte des rayons X par les phénomènes de luminescence. — Ombres sur un écran luminescent. — Transparence de l'aluminium. — Opacité des métaux lourds. — Transparence de la chair et de la peau. — Opacité des os — Absence de réflexion, de réfraction et de polarisation (1). — Phénomènes de décharge produits par les rayons Roentgen. — Perfectionnement aux tubes de Roentgen. — Considération sur la nature de la radiation de Roentgen. — La vision de l'invisible. — *Appendice*. Autres rayonnements invisibles.

Les rayonnements dont il est ici question sont les *rayons de Becquerel*, la *lumière du phosphore*, celle des *insectes luisants*, les *rayons de Wiedemann* (rayons de décharge), les nouvelles espèces de *rayons cathodiques* et les *rayons canaux*. Dans une note, le traducteur allonge cette série et procède au classement de ses radiations en deux catégories : les perturbations de l'éther et les trajectoires de particules électrisées.

Les *Christmas lectures* de 1896 s'arrêtaient ici. Lorsqu'elles furent rééditées, en 1910, l'auteur y ajouta deux conférences ; la première sur le *Radium*, qu'il avait donnée en plusieurs occasions en 1903-1904 ; la seconde sur l'*Industrie de la lumière* faite à York, en 1906, à l'assemblée générale de l'Association britannique. Elles forment les chapitres sept et huit de l'édition française.

Septième conférence, *Le Radium et ses rayons* :

Émission par certaines substances de radiations qui pénètrent les écrans opaques. — Propriétés des sels d'Uranium. — Les rayons de Becquerel. — Radio-activité. — Étude à l'électroscope. — Recherches des Curie. — M^{me} Curie découvre le Polonium et le Radium dans la pechblende. — Expériences avec le Radium. — Séparation par le champ magnétique des trois espèces de rayons émis par le Radium. — Horloge au radium de Struck. — Spintariscope de Crookes. — Recherches de P. Curie sur la chaleur émise par le radium, et de Rutherford sur la désagrégation de l'atome.

Depuis que M. S. Thompson a écrit cette conférence, la radio-activité a fait bien des progrès, il importait d'en tenir compte.

(1) M. Duoyer corrige ce que cette affirmation pourrait avoir d'excessif en rappelant des expériences récentes qui semblent bien montrer que les rayons X peuvent être diffractés dans des conditions qui leur assigneraient une longueur d'onde 100 000 ou 200 000 fois plus petite que celle de la lumière jaune. Il n'est donc plus absolument certain que les rayons X ne soient pas de la lumière ultra-violette d'ordre très élevé, comme on l'avait supposé d'abord. Cette hypothèse, que l'on avait abandonnée pour celle d'impulsions ou d'*ondes séparées*, a vu tout récemment sa probabilité grandir, grâce aux belles expériences de M. de Broglie, en France.

M. Dunoyer y a pourvu dans un appendice consacré aux *découvertes récentes sur les rayons du Radium*.

Huitième conférence, *la production industrielle de la lumière* :

Sources principales de lumière. — Invention du gaz d'éclairage. — Production de l'incandescence. — Incandescence par l'électricité. — Luminescence. — Efficacité lumineuse. — Photométrie. — Le Photomètre. — Inégalité dans la distribution de la lumière d'une lampe. — Inégalité dans la composition des lumières. — Ce qu'enseigne le spectre. — Spectres des solides incandescents et des vapeurs. — Sensibilité de l'œil aux radiations de certaines longueurs d'onde. — Absorption et émission. — Mesure de l'émission. — Mauvais rendement des sources ordinaires de lumière. — Lumière du ver luisant. — Température et qualité du rayonnement. — Pouvoir émissif des terres rares. — Incandescence par le gaz surpressé. — Puissance des becs à incandescence. — Nouveaux modèles de becs. — Nouveaux modèles de lampes à arc. — Lampes électriques à vapeur incandescente. — Prix de la lumière. — Le mode d'éclairage le plus économique. — Progrès futurs. — La lumière du Soleil avant tout.

Par son allure plus technique, cette conférence tranche sur les précédentes et ne se rattache au plan général de l'ouvrage que par un lien un peu lâche. Elle n'en est pas moins très intéressante en elle-même pour les techniciens et même pour le grand public.

L'auteur y insiste sur cette idée que le mode d'éclairage de l'avenir sera fondé sur la luminescence et non sur l'incandescence. M. Dunoyer en prend occasion pour appuyer cette manière de voir dans un appendice consacré aux *progrès récents dans l'éclairage par luminescence* : la lumière Moore, les arcs au mercure et l'éclairage au néon imaginé par M. Georges Claude.

Les lecteurs français sauront gré à M. Dunoyer de la peine qu'il s'est donnée de traduire et de mettre à jour l'ouvrage excellent de M. S. Thompson. Nous souhaitons à la traduction française tout le succès qu'a rencontré l'original dans les pays de langue anglaise ; puisse-t-elle trouver place dans les bibliothèques de nos collègues et de nos universités !

J. T.

. XI

L'ESTHÉTIQUE DE LA LUMIÈRE, par PAUL SOURIAU. Un vol. in-8° de XII-439 pages. — Paris, Hachette, éditeur, 1913.

La nouvelle œuvre de l'auteur de *l'Esthétique du Mouvement* est assurément digne de ses devancières, mais il nous semble que M. Souriau s'y est trop abandonné à son esprit dogmatique, lançant, sur mainte question controversée, des affirmations tranchantes, sans y joindre aucun argument à l'appui.

Quand nous aurons dit que l'ouvrage comprend 32 chapitres, répartis entre quatre parties qui ont pour titres respectifs : Esthétique des Sensations lumineuses, l'Éclairage esthétique, Représentation de la Lumière, l'Expression de la Lumière, on comprendra que nous renoncions à en donner une analyse, et que nous nous bornions à donner quelques exemples de cet esprit dogmatique que nous signalions tout à l'heure. Mais nous prions le lecteur de se souvenir que, par là-même, nous nous condamnons à ne mettre en lumière que des points sur lesquels nous contestons les assertions de M. Souriau : sans cette réserve essentielle, on se ferait une idée très inexacte de notre opinion d'ensemble sur un ouvrage dont nous sommes le premier à reconnaître la haute valeur.

Aujourd'hui, rares sont les partisans de la loi dite de Fechner sur la proportionnalité de l'intensité des sensations au logarithme naturel de l'excitation. Mais M. Souriau s'en montre un adversaire particulièrement implacable. Ici d'ailleurs il apparaît moins autoritaire qu'à l'égard de mainte autre question, descendant à raisonner. D'après lui, sous un éclairage d'intensité moyenne, la clarté relative de diverses surfaces simultanément perçues est proportionnelle à leur luminosité relative. Il invoque en faveur de cet énoncé l'expérience suivante : « Soient, dit M. Souriau, une série de surfaces dont par tâtonnement on aura réglé l'éclairage de telle manière que leurs clartés apparentes semblent former une progression régulière. L'expérience est facile à réaliser. Que l'on dispose sur une table une série d'écrans blancs, placés à diverses distances d'un foyer lumineux. L'observateur, l'œil placé près du foyer lumineux, mais préservé de son rayonnement direct, aperçoit devant lui la série des écrans étagés les uns derrière les autres. En les approchant ou les éloignant un peu, on amènera facilement leur clarté relative

à la valeur que l'on voudra. Disposons-les donc de telle manière que, de l'un à l'autre, la clarté nous semble toujours décroître dans la même proportion. Pour prévenir toute erreur d'interprétation, il faut préciser les choses. Je ne cherche pas à mettre les degrés de clarté en progression arithmétique, mais bien en progression géométrique. Il ne s'agit pas que les clartés me paraissent décroître d'une quantité de lumière constante, mais qu'elles me paraissent décroître dans le même rapport. Si par exemple B me donne l'impression d'être deux fois moins clair que A, il faudra que C me semble deux fois moins clair que B. Nous sommes bien obligé d'insister, pour qu'on s'en garde, sur cette confusion possible, puisqu'elle risquerait, si elle se produisait, de vicier toutes nos évaluations, et qu'en fait bon nombre d'observateurs l'ont commise. Tout étant ainsi réglé et les écrans placés, après une série de tâtonnements, de telle manière que leurs clartés relatives nous semblent en progression aussi régulière que possible, mesurons les distances de chacun d'eux au foyer ; nous trouverons qu'elles aussi sont en progression géométrique assez régulière, ce qui met également les luminosités en proportion : de l'une à l'autre le rapport est à peu près constant. Les écarts constatés sont de même ordre que les incertitudes de l'évaluation subjective (pp. 29-31) ».

Bien que la pensée de M. Souriau apparaisse clairement, il a craint évidemment des malentendus, car il a ajouté la note suivante : « De ces mêmes expériences, interprétées différemment, on a tiré une tout autre loi. Si l'on supposait que les sensations, ainsi graduées de telle sorte que l'une d'entre elles nous semble former un juste milieu entre les deux autres, se succèdent en réalité en progression arithmétique, on aboutirait à la loi logarithmique de Fechner. Mais cette supposition est tout arbitraire et rend fort mal notre sentiment, qui est plutôt que nos sensations ainsi graduées sont entre elles dans un même rapport. Non moins arbitraire est l'interprétation que l'on donne aux expériences sur la plus petite différence perceptible : on suppose qu'aux différents degrés de l'échelle des luminosités, l'aperception d'une différence marque toujours un même accroissement de l'intensité de la sensation ; et en conséquence on interprète les résultats de ces expériences comme une confirmation de la loi logarithmique. Mais ne serait-il pas beaucoup plus naturel de supposer qu'à une sensation plus intense il faut un accroissement plus fort pour que nous y percevions une modification quelconque ? Le moindre surcroît perceptible dans une

luminosité très vive ne nous donne-t-il pas l'impression d'un prodigieux accroissement d'éclat ? La loi de Fechner repose, en somme, sur deux postulats également arbitraires ; elle peut être décidément abandonnée. »

D'abord fort humilié de notre impuissance à réaliser une expérience déclarée facile par M. Souriau, nous nous sommes souvenu, fort opportunément pour notre amour-propre, que c'est un lieu commun chez les physiciens que, selon la formule employée par M. Joannis, « l'œil n'est pas capable d'évaluer un rapport de lumière, mais seulement d'apprécier l'égalité de deux lumières ». Cette simple constatation réduit à sa véritable autorité l'expérience invoquée par notre auteur. Mais il y a plus : on sait que, bien antérieurement à Weber et à Fechner, on admettait d'une façon générale que les intervalles musicaux obéissent à la loi logarithmique. Eh ! bien, M. Souriau ne nous dit pas si, dans le cas de ces intervalles, comme dans celui des intensités des sensations, lumineuses par exemple, il prétend qu'on s'est trompé et que notre oreille se rend compte que les intervalles dits égaux n'accusent qu'une égalité de rapports. Cela pourrait se soutenir à un point de vue purement mathématique, car, étant donnée une série de sensations ordonnées en un sens déterminé, on est libre de définir arbitrairement les nombres qui répondront aux divers degrés de cette échelle pourvu qu'ils suivent le sens de celle-ci. C'est ainsi que les degrés thermométriques n'ont aucune prétention à correspondre à des sensations également espacées. C'est ainsi encore qu'en géométrie projective toute notion de distance disparaît à vrai dire et que le Général de Tilly, en géométrie lobatchefskienne, afin de conserver à la droite son équation euclidienne, a défini l'abscisse x d'un point, en fonction de son abscisse ordinaire X , par la relation :

$$x = \sqrt{-1} \operatorname{tg} kX.$$

Mais, précisément, M. Souriau entend mesurer vraiment les intensités lumineuses et ne pas se borner à leur donner des numéros d'ordre astreints seulement à suivre le sens de leur variation. Or il est bien certain qu'il y a accord, au point de vue musical, sur ce que deux intervalles dits égaux le sont au sens où le sont deux intervalles spatiaux. Aussi serions-nous curieux de savoir si M. Souriau leur étend sa critique de la loi de Fechner. Nous ajouterons que, si l'on s'en rapporte aux vagues impressions que l'on a généralement en ce qui concerne les

intensités des sensations, il ne semble pas qu'il soit dans le vrai : c'est ainsi, par exemple, que les orchestres monstres, si chers à Berlioz, n'ont jamais produit un effet proportionnel au nombre des musiciens.

Mais c'est nous arrêter beaucoup sur cette question d'interprétation des sensations. Abordons et passons rapidement sur la minime question de la grosseur apparente du Soleil et de la Lune à l'horizon. Il ne paraît pas douteux à M. Souriau qu'une moindre clarté d'un astre doive le faire paraître plus gros : sans doute, il pourrait invoquer l'autorité de M. Stroobant ; mais nous aimerions mieux qu'il pût s'appuyer sur l'observation. Or celle-ci lui donne nettement tort : ainsi que nous l'indiquions, dans la REVUE PHILOSOPHIQUE de juillet 1888, la Lune, si peu lumineuse au moment des éclipses totales, semble très petite, si elle apparaît près du zénith, si bien qu'une personne sans idée préconçue nous en fit spontanément la remarque. Mais est-il besoin de recourir à une observation en somme assez rare ? Qui n'a remarqué, un jour de brouillard, que le Soleil, vu à travers, peut fort bien paraître tel qu'un très modeste pain à cacheter blanc ? Nous ne prétendons imposer aucune théorie, car nous savons combien la question est complexe, mais nous pouvons dire que M. Souriau affirme contre l'expérience : tout au moins devrait-il discuter les observations qui semblent contraires à ses idées. De même, il nous paraît bien affirmatif quand il condamne les peintres qui, pour rendre le grossissement apparent des astres à l'horizon, augmentent leurs diamètres sur la toile. Il dit que cette illusion, due à la perspective aérienne, « se produira également dans le tableau si cette perspective est exactement observée » (page 297). Nous ne disons pas non ; mais nous aimerions voir un tableau présentant cet effet, et nous ne pouvons que regretter l'absence de toute référence.

La même intrépidité d'affirmation se manifeste à propos de la grosse question de l'harmonie des couleurs. Après cette négation absolue : « Entre la série des couleurs dans le spectre et la série des sons dans la gamme, on ne peut trouver aucune analogie » (page 131), nous voyons posés deux principes d'harmonie des couleurs : l'harmonie par affinité et l'harmonie par contraste. « L'harmonie par affinité, c'est le lien que met entre deux couleurs l'existence de quelque élément commun. L'effet est comparable à celui que produit dans deux sons musicaux la présence d'harmoniques communs : les deux sons s'emboîtent

pour ainsi dire l'un dans l'autre, ils ont une consonance perceptible, ils s'accordent par tout ce qu'ils ont d'identique. Il en sera de même dans le jeu des sensations colorées, quand elles auront quelque élément commun : elles s'accorderont par là ; et plus il y aura entre elles d'affinité sensible, plus elles nous sembleront harmonieuses. »

Que de difficultés soulève une telle affirmation ! S'il s'agissait de couleurs spectrales, on sait qu'elles ne présenteraient jamais d'éléments communs, tandis que des couleurs-pigments de même coloris que les couleurs spectrales en présentent généralement d'autant plus qu'elles sont plus voisines, puisque les pigments réfléchissent une série de radiations voisines. Mais alors M. Souriau nierait que deux couleurs voisines peuvent jurer l'une près de l'autre : telle paraît bien être sa pensée, d'après les développements dans lesquels il entre, et cette pensée nous surprend.

Combinant d'ailleurs l'harmonie par contraste avec l'harmonie par affinité, on conçoit du reste qu'il puisse se livrer à d'agréables développements littéraires, s'adaptant vaguement à certaines constatations non moins vagues.

« La lumière solaire intégrale est blanche. » Voilà une affirmation en nette opposition avec celle des physiciens qui prétendent classer le Soleil parmi les étoiles vieillissantes, jaunes. N'y aurait-il pas, dans cette contradiction, une simple conséquence de ce que, en l'absence d'un terme de comparaison, la lumière jaune tend à provoquer une sensation de clarté, sans perception d'une couleur ?

Ce rapide coup d'œil sur quelques affirmations de M. Souriau suffit sans doute à montrer combien son œuvre pourrait gagner à revêtir une forme moins dogmatique, car, même s'il a raison, il choque plus qu'il n'éclaire celui qui incline vers des idées différentes, et ceux qui sont enclins à accepter sa manière de voir auraient tout avantage à connaître les arguments qu'on peut faire valoir à l'appui de ces conceptions. Nous tenons d'ailleurs à répéter que nous avons choisi des points où la pensée de M. Souriau nous a paru particulièrement contestable.

G. LECHALAS.

XII

ANNUAIRE MÉTÉOROLOGIQUE DE LA STATION DE GÉOGRAPHIE MATHÉMATIQUE DE L'UNIVERSITÉ DE GAND, *Année météorologique, mars 1913-février 1914* ; préparé par les soins de M. L. N. VANDEVYVER, professeur à l'Université de Gand, directeur de la Station. — Un vol. in-8° de 94 pages. — Roulers, Jules De Meester, 1914.

C'est le septième volume de cette excellente collection ; le plan est resté le même : on y trouve le relevé des observations faites méthodiquement à la station de Géographie mathématique depuis le 1 mars 1913 jusqu'au 28 janvier 1914, comparées à la moyenne des résultats obtenus pendant la période des six années précédentes. De ce parallèle et des déductions qui découlent de l'ensemble des observations, se dégagent peu à peu les caractéristiques météorologiques et climatologiques de la station, et c'est bien là le but principal que poursuit son zélé directeur. L'allure de l'*année météorologique, mars 1913-février 1914*, est nettement caractérisée dans une notice qui analyse les observations correspondantes.

Deux autres notices terminent le volume. La première, intitulée *A propos de T. S. F.*, rappelle d'intéressantes expériences faites par M. Maurice Vandevyver, avocat à la Cour d'appel de Gand, chez lui et à l'Observatoire astronomique de la Station géographique sur la possibilité d'établir une installation de fortune pour la réception des signaux hertziens : une planche recouverte de feuilles de papier d'étain, placée sur deux chaises à l'intérieur d'un grenier ; le toit en zinc d'une véranda ; la coupole de l'Observatoire, son équatorial, etc. ont été pris successivement pour antenne. « Nous sommes, à vol d'oiseau, écrit M. Vandevyver, à 285 kilomètres de la Tour Eiffel et à 350 kilomètres de Norddeisch, et il ressort des expériences ci-dessus que, même à de pareilles distances, on peut se passer de toute espèce d'antenne, à condition de se relier à une masse métallique un peu importante et plus ou moins isolée. »

La seconde notice a pour titre *La météorologie et la Presse*. Écrite dans la note gaie, elle n'en donne pas moins une leçon sérieuse aux détracteurs de la météorologie. Puissent-ils en profiter !

J. T.

XIII

LA SILICE ET LES SILICATES, par HENRY LE CHÂTELIER. Un vol. grand in-8° de 574 pages. — Paris, A. Hermann et Fils, 1914.

Une monographie de la silice et des silicates due à la plume autorisée de M. Le Châtelier sera, nous n'en doutons pas, reçue avec empressement et une vive satisfaction par tous les chimistes et les minéralogues. Qui, en effet, en étudiant la chimie n'a constaté avec étonnement d'une part la profusion avec laquelle l'anhydride silicique, soit seul, soit combiné avec l'eau, soit lié aux bases les plus diverses, est répandu dans le règne minéral, et d'autre part la place restreinte qu'il occupe dans les traités de chimie, même fort développés, où on lui consacre à peine quelques pages? Et cette disproportion entre l'importance du sujet et l'ampleur qu'on donne à son étude ne devient-elle pas plus manifeste encore quand on songe au développement qu'a pris, durant le dernier siècle, l'étude des composés du carbone? A quoi tient cette divergence?

On pourrait en donner plus d'une raison. Dans l'introduction qui ouvre son ouvrage, M. Le Châtelier, après avoir énuméré les nombreux titres par lesquels la silice et les silicates s'imposent à notre attention, examine les causes du désintéressement général à l'égard de ces substances. Il les trouve surtout dans les difficultés du sujet; elles sont, en effet, considérables. Ainsi leur insolubilité presque complète rend malaisée la séparation des silicates les uns des autres; leur peu de fusibilité oppose un obstacle sérieux à leur synthèse; et leur facilité à prendre l'état amorphe, vitreux, a rendu impossible la reproduction artificielle d'un bon nombre de silicates naturels cristallisés; ajoutons à cela la difficulté ou l'impossibilité de parvenir à la connaissance de leur constitution, et on aura une idée des obstacles que rencontre sur sa route le chimiste qui veut entreprendre une étude de ce sujet. Toutefois, conclut M. Le Châtelier, « ce qui est arrivé pour la chimie organique se passera également pour la chimie des silicates. Après s'être pendant longtemps contenté d'étudier les matières naturelles, ne croyant pas à la possibilité de les reproduire en dehors des êtres vivants, on est arrivé finalement, non seulement à les reproduire presque toutes au laboratoire, mais en outre à obtenir une infinité de composés inconnus dans la nature. »

Pour nous faire une idée du contenu et de la valeur de l'ouvrage de M. Le Châtelier, il ne suffit pas d'énoncer simplement les titres des vingt-trois chapitres dont il se compose, il faudrait en faire une analyse complète ; c'est ce que nous voudrions tenter, dans les limites imposées à ce compte rendu.

Dans les deux premiers chapitres l'auteur étudie les propriétés chimiques des composés oxygénés du silicium et de leurs hydrates. Parmi ces composés c'est évidemment l'anhydride silicique, la silice, Si O_2 , qui étant le plus important, fait aussi l'objet principal de cet examen. L'auteur y trouve l'occasion de discuter cette question : l'anhydride forme-t-il des hydrates définis ? en d'autres termes, ce qu'on appelle l'acide normal $\text{H}_4 \text{Si O}_4$, l'acide ordinaire $\text{H}_2 \text{Si O}_3$ a-t-il une existence réelle ? M. Le Châtelier le nie. Il n'admet pas plus l'existence de ces acides simples que celle des acides poly-siliciques qui se formeraient par la condensation d'un certain nombre de molécules d'acide normal avec élimination d'une ou de plusieurs molécules d'eau. La raison de rejeter ces hydrates définis est, d'après lui, l'impossibilité d'établir une discontinuité dans la composition des hydrates et dans leurs propriétés. Pour le premier, l'auteur rappelle d'abord des travaux déjà anciens, puis les recherches plus récentes de M. Van Bemmelen, chimiste hollandais, qui a démontré que la teneur en eau de la silice précipitée varie d'une manière continue sans qu'on aperçoive à aucun moment une discontinuité permettant de conclure à l'existence de composés définis. Il était d'autant plus utile d'attirer l'attention sur ce point, que dans la plupart des traités de chimie on enseigne le contraire.

L'anhydride silicique est-il la seule combinaison oxygénée du silicium ? Voici la réponse de M. Le Châtelier : « Il paraît exister également des oxydes inférieurs de silicium ; à l'état anhydre, cependant, leur existence est restée jusqu'ici douteuse ; on en connaît, d'une façon certaine, au contraire, un certain nombre à l'état hydraté. Ils sont connus sous le nom de *silicones* et de *leucones* ; ce sont des corps peu stables, tendant à se transformer en silice et ne donnant jusqu'ici aucune combinaison connue qui permette de définir leur fonction chimique. » En quelques pages, l'auteur expose la formation de ces composés et leurs transformations connues.

Le troisième chapitre, intitulé *Silice amorphe*, présente un intérêt spécial d'actualité. L'auteur y étudie la silice calcinée, la fusion du quartz, la fabrication et les propriétés des fils de

silice, les lentilles en silice ; la fabrication industrielle, les propriétés physiques et chimiques de différents objets en quartz transparent ou opaque. Nul n'ignore l'importance que la fabrication de ces objets a acquise dans ces dernières années, ni les applications scientifiques et industrielles très importantes de ces articles en quartz. Aussi lira-t-on avec un vif intérêt les dix-huit pages que M. Le Châtelier leur consacre. On y trouvera du reste bien des indications fort pratiques concernant l'usage des objets en quartz.

Les quatre chapitres suivants traitent de la cristallisation, des propriétés thermiques, électriques et surtout optiques du quartz. Les chapitres six et sept, dans lesquels M. Le Châtelier étudie la polarisation rotatoire et la double réfraction dans le quartz, méritent une mention spéciale pour la clarté et l'élégance avec lesquelles l'auteur expose ces questions ardues.

Les chapitres huit et neuf sont consacrés à la calcédoine et aux variétés de silice de faible densité, la *tridymite* et la *crystalobalite*.

Après avoir ainsi passé en revue les différentes variétés allotropiques de la silice cristallisée, M. Le Châtelier expose au chapitre dix nos connaissances, peu avancées encore, sur la transformation même de ces diverses modifications du quartz l'une dans l'autre. Ensuite il relate plus longuement les essais tentés en vue de reproduire artificiellement la silice cristallisée. Les premières tentatives dans ce sens furent faites par *voie humide*. Depuis les travaux de Sénarmont, qui remontent à 1851, jusqu'aux recherches expérimentales de M. Le Châtelier lui-même, tous ces essais n'ont fourni que des cristaux microscopiques de quartz. De meilleurs résultats ont été obtenus en abandonnant la voie humide, et en chauffant, dans des tubes en verre scellés à la lampe, de la silice précipitée et mélangée à un alcali. La température la plus favorable semble être de 300 à 350 degrés. M. Hautefeuille, et après lui d'autres savants, ont voulu reproduire du quartz en soumettant à l'action de la chaleur de la silice parfaitement sèche mélangée à des sels fondus. Tout en obtenant ainsi par *voie sèche* de petits cristaux de quartz, ces savants constatèrent que la formation du quartz exige que la température ne dépasse pas une certaine limite ; sans cela on obtient les variétés de silice de faible densité.

Les cinq chapitres qui suivent sont donnés à l'étude du verre : propriétés générales, chimiques et physiques des verres ; leur dilatation et leurs propriétés optiques.

En commençant, au chapitre onze, l'étude des propriétés générales des verres, M. Le Châtelier examine, d'un point de vue général, le caractère de l'état vitreux en opposition avec celui de l'état cristallin. Le premier est stable à de hautes températures, alors que le second répond aux basses températures. Le point de transition n'est autre que la température de fusion ou de cristallisation. La silice et un certain nombre de silicates ont ceci de particulier que leur point de cristallisation est à une température où, étant encore à l'état amorphe, ils ont déjà perdu, à un certain degré, leur fluidité; ils sont déjà visqueux et leurs molécules ne possèdent plus cette mobilité qui caractérise l'état liquide parfait. C'est pourquoi il est facile d'amener ces corps à l'état solide, sans qu'ils aient pu cristalliser: ils prennent l'état vitreux, ils forment des verres. La dévitrification qu'on observe parfois dans les vieux verres, et qu'on peut provoquer artificiellement, repose, comme le montre l'observation microscopique, sur une cristallisation partielle. L'auteur examine ensuite tout ce qui a rapport à la fusibilité et à la trempe des verres. C'est encore une étude fort intéressante et très instructive. Enfin il donne la composition exacte de plusieurs espèces de verres les plus importants.

Le chapitre douze traite des propriétés chimiques des verres. Après avoir rappelé brièvement quelques notions générales sur les équilibres chimiques, M. Le Châtelier en fait ici l'application en examinant certains changements qui surviennent dans des verres contenant du manganèse, de l'or, du cuivre et quelques autres métaux. Pour étudier ensuite la perméabilité du verre pour les gaz, l'auteur établit que les verres, comme toutes les solutions solides amorphes, donnent lieu à des phénomènes de diffusion intérieure. Cette diffusion se constate aisément dans le verre ramolli par la chaleur; mais elle devient généralement imperceptible dans le verre solidifié. Toutefois, même lorsque le verre est complètement durci, la diffusion des gaz n'y est pas entièrement supprimée. De même la vapeur d'eau pénètre, par diffusion, dans certains verres, et cela d'autant plus rapidement, que les verres sont moins siliceux. M. Le Châtelier cite à ce propos ses propres observations et les expériences fort intéressantes de Schott.

Quinze pages que liront avec beaucoup d'intérêt surtout les hommes de laboratoire et certains industriels, sont consacrées à l'altérabilité chimique du verre. On y examine spécialement l'action de l'eau, des réactifs chimiques, surtout des acides et des

alcalis, ainsi que l'influence de la température. Il nous est malheureusement impossible d'entrer dans les détails ; contentons-nous de dire que, de toutes les recherches expérimentales, se dégage la conclusion que c'est le *verre de Iéna* qui est le moins altérable, et qui, par conséquent, répond le mieux aux besoins du physicien et du chimiste.

Le chapitre treize contient l'étude de certaines propriétés physiques des verres. L'auteur y examine successivement la chaleur spécifique, la conductibilité calorifique, la densité, la conductibilité électrique et les propriétés mécaniques de plusieurs sortes de verre.

Parmi les propriétés physiques il en est une qui présente un intérêt spécial tant au point de vue scientifique qu'au point de vue pratique : c'est la dilatation thermique. M. Le Châtelier l'examine au chapitre quatorze. Cette propriété des verres est d'une importance considérable pour la confection des thermomètres, des baromètres, des ballons jaugés, etc. Mais l'importance de la dilatation thermique devient encore plus grande, parce que d'application beaucoup plus fréquente, dans la fabrication de tous les produits céramiques. Leurs convertis, en effet, sont de véritables verres qui doivent avoir rigoureusement le même coefficient de dilatation que la pâte argileuse. M. Le Châtelier donne la description détaillée de l'appareil qui sert, dans son laboratoire, à la mesure de la dilatation des verres. Il ajoute ensuite les coefficients de dilatation d'un grand nombre de verres. Une étude spéciale est faite du déplacement du zéro des thermomètres, phénomène causé en grande partie par la dilatation du verre.

Au chapitre quinze : *Propriétés optiques des verres*, M. Le Châtelier étudie surtout l'indice de réfraction, la dispersion et l'achromatisme, la transparence et la coloration, le pouvoir absorbant, particulièrement des radiations invisibles.

Très intéressant est le chapitre seize sur *les silicates métalliques*. L'auteur, après avoir rappelé le nombre considérable d'espèces dans les silicates naturels, et les divergences extraordinaires que révèlent les analyses chimiques quantitatives dans la composition des échantillons d'une même espèce, cherche l'explication de ce phénomène. Il admet que ces innombrables silicates sont en réalité des *mélanges* d'un certain nombre de combinaisons définies relativement simples. Mais, demandera-t-on, comment de pareils mélanges, si différents dans leur composition, peuvent-ils cristalliser ensemble, alors que la *loi de*

Isomorphisme semble s'y opposer absolument ? — Pour répondre à cette question, M. LeChâtelier examine d'abord la valeur de la loi de Mitscherlich sur l'isomorphisme qui établit que pour pouvoir cristalliser ensemble, deux corps doivent avoir une composition chimique analogue et une forme cristalline identique. Il montre qu'on peut très bien obtenir, et qu'il existe dans la nature, des cristaux renfermant des substances qui n'ont pas de composition chimique analogue et qui ne possèdent généralement pas la même forme cristalline. Il conclut que la loi de Mitscherlich repose sur des observations incomplètes, pour ne pas dire inexactes, et que dès lors elle doit être abandonnée. Se basant alors sur les célèbres recherches de Tschermak concernant les feldspaths, ainsi que sur les travaux d'autres savants, M. Le Châtelier arrive à la conclusion, que les différents silicates complexes qu'on rencontre dans la nature sont des *cristaux mixtes*, ou mieux encore des *solutions solides*.

Au chapitre dix-sept l'auteur aborde la question de la classification des silicates. C'est une question bien épineuse, comme le prouve déjà le fait qu'à son sujet les chimistes et les minéralogistes sont en désaccord et que d'autre part ni les minéralogistes, ni les chimistes n'ont trouvé une classification réellement satisfaisante. D'après M. Le Châtelier, la difficulté résulte principalement de ce fait, que malgré le très grand nombre de silicates déjà connus, les lacunes, résultant des silicates encore inconnus, sont absolument trop nombreuses.

Dans les quatre chapitres suivants, l'auteur étudie successivement les silicates des métaux alcalins, ceux du calcium, du magnésium et de l'aluminium. Il nous est malheureusement impossible de résumer ici ces chapitres; ils renferment cependant bien des aperçus fort instructifs.

Le chapitre vingt-deux donne, en 45 pages, une étude intéressante de la céramique; les 60 dernières pages, constituant le chapitre vingt-trois, sont consacrées à l'étude des roches et des laitiers.

Cet exposé, trop sommaire, donnera du moins au lecteur une idée des matières traitées dans *La silice et les silicates* de M. Le Châtelier. C'est un ouvrage de haute valeur, présentant un vif intérêt aussi bien pour le chimiste que pour le minéralogiste, le géologue et l'industriel. Nous ne saurions assez leur en recommander l'étude. Ajoutons qu'ils y trouveront autant de plaisir que de profit, tant l'exposé est clair et le style agréable.

XIV

IL METODO DEGLI EQUIVALENTI. Contributo allo studio dei processi di confronto. Ricerche sperimentali del Dott. AGOSTINO GEMELLI. Un vol. grand in-8° de 344 pages. — Florence, Libreria editrice fiorentina, 1914.

L'ouvrage que nous avons l'honneur de présenter aux lecteurs de la REVUE, fit brillamment son entrée dans le monde, il y a quelques mois, par devant le jury d'agrégation de l'Université de Turin. A son docte et fécond auteur, au R. P. Gemelli, O. F. M., déjà docteur en médecine et professeur honoraire d'histologie, il valut d'être pour ainsi dire réintégré dans l'Université italienne, au titre nouveau de *libero docente* de psychologie. Succès mérité, assurément, dont se réjouissent, sans d'ailleurs s'en étonner, les nombreux amis de l'éminent directeur de la *Rivista di Filosofia neoscolastica*.

Le présent travail est un travail technique, au sens le meilleur du terme. Et il réunit, à un degré très honorable, les qualités maitresses des deux psychologues de marque qui en suivirent la confection avec une attention sympathique et une bienveillance efficace : les professeurs Kiesow (Turin) et Külpe (alors à Bonn). En effet, la première partie du mémoire, plutôt dans la manière de Kiesow, est une application très poussée d'une de ces méthodes psychophysiques, qui exigent la précision minutieuse des observations et la rigueur schématique du raisonnement inductif; tandis que la seconde partie consiste surtout à promener en tous sens, sur cette base bien triangulée, l'instrument souple et pénétrant qu'a si parfaitement mis au point le fondateur de l'École de Würzburg : l'introspection provoquée et dirigée.

Donnons quelque idée, à la fois, de l'objet de la recherche et de la portée des principaux résultats.

1. On connaît la « méthode des équivalents », appliquée par Fechner à la détermination topographique des seuils spatiaux tactiles. Un stimulus constant, par exemple la distance qui sépare les deux pointes d'un esthésiomètre, étant posé sur une région de la peau, le sujet en expérience doit apprécier, par comparaison, un second stimulus, variable celui-ci, affectant une autre région cutanée. Divers procédés, expérimentaux ou statistiques, per-

mettent d'obtenir, avec assez d'exactitude, les valeurs respectives que prennent les deux stimuli lorsque le sujet les juge équivalents. Le rapport de ces deux valeurs, « rapport d'équivalence », varie avec la localisation des excitations reçues.

Si cette variation locale eût été la seule, la méthode des équivalents se fût montrée d'une extrême commodité pour apprécier la variation, rigoureusement parallèle, des seuils spatiaux en différents points d'un sensorium. Mais on constata bientôt que la valeur numérique du rapport d'équivalence est aussi fonction d'autres circonstances, p. ex. de l'intensité, ou de la grandeur absolue des stimuli appliqués. Et l'on abandonna le procédé sans chercher même à épuiser ses possibilités d'emploi.

Le P. Gemelli — dont le but n'était pas, comme celui des premiers psychophysiciens, la détermination des seuils — réhabilita, d'un point de vue plus large, la méthode des équivalents.

Les stimuli qu'il utilise sont des distances tactiles, créées par l'écartement de deux pointes. Non seulement il établit impeccablement, en s'aidant des travaux de ses devanciers, sa technique de recherches, mais il étend le champ traditionnel d'investigation, grâce à l'emploi d'un esthésiomètre (du type Ebbinghaus-Michotte), qui lui permet l'essai d'écartements considérables.

Une partie des résultats bruts confirment ceux qu'obtinrent d'autres expérimentateurs. Sur un point, le P. Gemelli complète notablement, et corrige : disposant d'une gamme plus étendue de distances tactiles, il rectifie et achève le tracé de la courbe qui figure les variations du rapport d'équivalence en fonction de la valeur absolue des distances confrontées. Tenu compte de cette variation, et en outre de celle qui reflète la pression plus ou moins grande exercée par les pointes de l'esthésiomètre, on peut dire que la valeur du rapport d'équivalence dépend de deux conditions principales : 1° la *sensibilité discriminative* des diverses régions cutanées ; 2° les circonstances psychologiques qui facilitent ou entravent le *jugement comparatif* exprimant l'équivalence subjective des distances tactiles. Parmi ces dernières circonstances, relevons : la position proximale (habituelle) ou distale des membres stimulés ; le rôle adjuvant des images visuelles ; le degré d'attention active ; la fatigue. Il eût été difficile d'être totalement original dans l'analyse de pareilles conditions ; du moins fournit-on toujours des données de première main, et, sur nombre de points, des résultats définitifs.

II. Mais cette première partie, si estimables qu'en soient la méthode et les résultats, ne dépasserait pas, en intérêt, une bonne recherche expérimentale quelconque, si l'auteur n'en faisait la base d'une investigation de plus haute portée théorique. Comme il le remarque très bien, la méthode psychophysique des équivalents, avec sa précision chiffrable, vient admirablement compléter, en laboratoire, l'« introspection provoquée », qu'elle aide à délimiter, à guider, à contrôler, bref, à constamment « canaliser ».

Que de fois l'on a reproché à l'École de Külpe de s'attaquer d'emblée à des états internes trop complexes et trop fuyants ! Cette critique atteignit surtout des travaux, d'ailleurs remarquables, comme ceux de Buehler : *Ueber Gedanken* ; instinctivement l'on se méfiait d'une analyse assez téméraire pour prétendre dégager immédiatement les éléments formels de la pensée, au sein d'enchevêtrements psychologiques non encore dissociés en leurs menues relations structurales. Personnellement, nous trouvons le reproche exagéré, d'autant plus que le premier travail de Buehler eut toute l'utilité positive de ces razzias brillantes, qui préludent à une occupation méthodique et définitive. Mais il fallait, avouons-le, que cette dernière suivit. Buehler lui-même s'est remis patiemment en campagne dans son récent ouvrage : *Die Gestaltwahrnehmungen*.

C'est bien à cette seconde phase du développement conquérant de l'introspection, sur le terrain de la pensée, que se rattache le travail du P. Gemelli. La comparaison des distances tactiles lui offre un processus relativement simple, étudié minutieusement dans ses éléments descriptifs et ses variations : tout y est à point pour une analyse interne poussée plus avant. Que nous apprend-elle ?

Ne pouvant transcrire des pages entières du livre que nous analysons, nous nous bornerons aux constatations de majeure importance.

Dans le processus de confrontation des distances, tout l'intérêt théorique se concentre autour du « jugement de comparaison » sur lequel se fonde le rapport psychophysique d'équivalence.

Or, ici, le jugement est émis en dépendance d'une « consigne » (tâche, *Aufgabe*) explicitement donnée au sujet et efficacement acceptée par lui. Le but assigné, c'est la formulation d'un jugement comparatif, ou, plus exactement peut-être, c'est ce jugement lui-même, en ordre principal, et secondairement son

expression. On se ment donc dans le cadre même des expériences de Watt, Messer, Ach, Michotte, Bovet, et de tant d'autres, Et l'on ne s'étonnera pas de parcourir à nouveau les grandes étapes, devenues presque classiques : intelligence de la consigne générale ; application de cette consigne générale aux conditions particulières de l'expérience (particularisation de l'*Aufgabe*, dans la perception du premier stimulus) ; puis, orientation psychologique conforme à la consigne particularisée (*Einstellung*, dont l'aspect formel et spécifiant se trahit dans le *Bewusstseinsstufe*) ; maintien de cette orientation pendant l'intervalle de deux stimulations ; enfin, exécution de la consigne à la réception du second stimulus.

Chacun de ces stades prête à des constatations intéressantes ; voici les principales :

1° Sous l'influence de la consigne, le premier stimulus — ici la distance qui sert de repère fixe — est perçu en *relation* anticipée avec le jugement de comparaison et *selon les caractères précis* qui doivent faire l'objet de ce jugement. Comme on le voit, nous sommes dans le cas général de toute consigne acceptée.

2° Lors de la perception du second stimulus (distance variable à comparer avec la distance fixe), plusieurs cas se présentent, d'après la différence plus ou moins marquée des deux stimuli : ou bien la comparaison s'effectue immédiatement entre l'image remémorée du premier stimulus et la représentation perçue du second ; ou bien elle s'effectue à l'aide de représentations symboliques des deux distances ; ou bien encore, l'appréciation est à la fois médiante et indirecte, basée sur l'estimation d'éléments secondaires non tactiles ; ou bien, enfin, et ce cas est très net malgré son apparence paradoxale, la comparaison se fait instantanément, *en l'absence de toute représentation du premier stimulus*, par la *perception directe*, dans le second stimulus, d'une *relation* unilatérale de « plus grand », de « moins grand », d'« égalité ». Le jugement ne fait qu'exprimer cette perception « relative ».

Le P. Gemelli attache à juste titre une grande importance à cette perception directe de la *relativité* comme telle. Si nous nous en rapportons à nos observations personnelles, un fait est hors de conteste : à la base de la plupart de nos jugements comparatifs, se rencontre la perception d'une relation entre deux termes, dont l'un n'est point actuellement représenté dans la conscience claire. En ceci, nous sommes pleinement d'accord

avec le P. Gemelli, avec Brunswig (dont nous signalâmes jadis aux lecteurs de cette REVUE l'excellent travail : *Das Vergleichen und die Relationserkenntnis*, 1910) et avec plusieurs autres. Avec eux, aussi, nous concluons qu'il n'y a pas identité entre l'acte (ou les actes?) de comparaison et la double aperception des termes comparés : simple corollaire de la constatation qui précède. On peut, de plus, croyons-nous, démontrer, avec le P. Gemelli, et en général avec les psychologues de l'École de Külpe, que l'*intermédiaire réel* entre deux termes successifs de comparaison est une « attitude » (Binet) caractéristique, créée par la coalescence de l'*Aufgabe* et du terme principal de comparaison, et que cette « attitude » est elle-même décomposable en deux éléments abstraits : un *sapere latente* (*latentes Wissen* — nous préférons, pour notre part, éviter ici le mot « savoir », qui préjuge une question non tranchée, et parler seulement de quelque chose comme une « forme spécifique » ou un « schème ») ; puis, en second lieu, une *direzione* (*Richtung, aktive Beziehung*, c'est-à-dire une référence active à l'opération qui doit être effectuée sur le second terme de comparaison).

Ces résultats des observations de laboratoire sont gros de conséquences théoriques. Mais oserions-nous en conclure, comme le P. Gemelli, « che la appercezione della relazione è dovuta ad una attività differente da quella alla quale è dovuta l'appercezione del contenuto delle due sensazioni, e che il processo di confronto è dovuto ad una particolare attività psichica di confronto » (p. 289) ?

Distinguons. Si l'on veut dire simplement que l'aperception de la « relation » n'est pas identiquement la double aperception sensorielle des « termes » de la relation, et si les mots « particolare attività psichica di confronto » ne sont qu'une étiquette, soulignant l'originalité globale d'un processus psychologique, sans nulle prétention à définir, par différence spécifique, une fonction intellectuelle homogène et distincte, alors, sans doute, nous admettons volontiers cette ultime conclusion d'un savant mémoire. Mais si l'on allait plus loin, c'est-à-dire, si l'on espérait déduire de l'analyse introspective l'existence d'une fonction intellectuelle de comparaison, *préexistante, à l'état de virtualité définie, avant même toute aperception sensorielle*, nous nous excuserions de devoir faire quelques réserves d'ordre théorique aussi bien que d'ordre expérimental. Et nous souhaiterions, de plus, qu'un chercheur aussi bon philosophe que le P. Gemelli ne bornât point son horizon par cette formule arbitraire et limi-

tratrice : arbitraire, car elle dépasse, selon nous, les expériences dont on la tire ; limitatrice, car elle refoule, du même coup, en « achevant » prématurément la question, des séries entières d'expériences possibles.

L'induction psychologique la plus consciencieuse va-t-elle, vraiment, nous livrer, comme dernier produit, un « intellect » figé, par essence, dans une armature de fonctions judicatives spécialisées, de « catégories » ? On se prend — en bon thomiste, nous dirons : à le redouter, en lisant quelques-unes des meilleures pages des élèves de Külpe. Certes, ils eurent l'immense mérite de nous débarrasser de l'empirisme sensualiste en psychologie ; et l'on peut aussi leur savoir gré de ne pas chercher — plus sages en cela que maint philosophe spiritualiste — à réintroduire subrepticement, dans l'esprit comme tel, une diversité « matérielle », à peine transposée. Mais ne subsisterait-il pas, malgré tout, à leur insu, un reste subtil d'intuition sensible dans la diversité même de ces fonctions particulières — tel le pouvoir de comparaison — dont ils semblent revêtir l'intelligence humaine comme d'une parure qui lui soit propre ?

Pour nous, nous estimons que toute *particularisation* fonctionnelle de l'intelligence repose, en dernière analyse, sur la diversité de l'expérience sensible, externe et interne : seuls deux aspects formels, corrélatifs et *absolument généraux* de l'activité psychologique supérieure, se montrent réfractaires à toute origine empirique : l'unité et la finalité, la capacité pure de la spéculation et la forme pure de la tendance, la synthèse et le vouloir. Tout ce qui est diversification dans la synthèse et morcellement dans le vouloir trahit, à quelque degré, une dépendance de la « matière ».

Si nous avons raison — et il n'est pas sûr, nous le répétons, que le P. Gemelli nous donne tort — le mystère du « jugement de comparaison », qui est d'ailleurs le mystère général de l'entendement par opposition à l'intelligence pure, n'est point encore totalement élucidé. Il existe une « *attività di confronto* », mais ne se ramènerait-elle pas à des fonctions intellectuelles plus simples et plus primitives ?

Le fait que de pareilles questions soient soulevées par un travail de psychophysique, montre assez l'intérêt philosophique que peut présenter l'étude expérimentale des fonctions supérieures de l'esprit. Sans doute, on ne doit point espérer aboutir à des conclusions imprévues : même, en un sens, les résultats

seront d'autant plus précieux qu'ils se confondront avec les thèses les plus banales d'une quelconque des philosophies traditionnelles. Effort superflu, alors ? Nullement, car il établira solidement, s'il aboutit, le lien multiple et continu qui relie toute la hiérarchie des phénomènes internes aux affirmations supérieures, fondement de la métaphysique. Ces affirmations valent par elles-mêmes : il n'en est pas moins d'un puissant intérêt de les situer exactement dans notre expérience totale.

J. MARÉCHAL, S. J.

XV

LA FERMENTATION ALCOOLIQUE, par ARTHUR HARDEN (F. R. S.). Traduit de l'anglais par G. Schaefer. Un vol. in-8°, de la collection des *Questions biologiques actuelles*, 163 pages. — Paris, Hermann, 1913.

Ce nouveau volume ne fait certes pas déchoir l'excellente collection de monographies publiées sous la direction de M. Dastre. Il est écrit par un spécialiste anglais bien connu, qui possède admirablement son sujet. L'exposé, clair, ferme, soulignant ce qui vaut d'être souligné, est aux antipodes de la vulgarisation imprécise et tâtonnante.

On sait l'intérêt qui s'attache à la fermentation alcoolique, non seulement à cause de son importance industrielle, mais surtout (du moins aux yeux du biochimiste) par le fait qu'elle reflète très directement, dans son histoire, les étapes successives, ou, si l'on nous permet cette expression, le développement oscillatoire de la théorie générale des ferments.

A la vieille conception *mécaniste* de Stahl, qui voyait dans la fermentation la transmission d'un mouvement interne, se substitue, après les recherches purement analytiques de Lavoisier et d'autres chimistes éminents, une théorie *biologique* du phénomène : Schwann surtout, et Cagniard-Latour, reconnaissent, dans la levure, de véritables cellules, capables de se reproduire par bourgeonnement : la fermentation devenait, pour eux, un simple contre-coup du métabolisme cellulaire. Mais à ce moment même, Berzélius le père de la catalyse, s'inscrit en faux contre la thèse biologiste et propose une théorie *physico-chimique* : la fermentation ne pouvait évidemment représenter

qu'une action catalytique. Bientôt les critiques de Berzélin se doublent de celles — très dures — de Liebig et de Woehler, qui prônent, de leur côté, une interprétation purement *chimique*. La discorde règne au laboratoire, et les vues de Schwann, peut-être surtout à cause de leur teinte vitaliste, rallient à peine encore une minorité. Après des vicissitudes diverses, la roue de la Fortune a de nouveau fait un tour complet : Pasteur inaugure ses recherches sur les fermentations lactique et alcoolique; plus de doute, l'agent nécessaire de ces processus est bien un micro-organisme. Liebig, atteint d'un coup droit, essaie d'une réplique, mais est bientôt réduit au silence. Et pourtant, l'avenir devait lui donner partiellement raison, sans toutefois infirmer la valeur des expériences, sinon de toutes les interprétations, de Pasteur. En effet, l'idée se fit jour, et s'accrédita de plus en plus, que l'agent *immédiat* de la fermentation alcoolique était une diastase, un ferment chimique, sécrété, à vrai dire, par des micro-organismes (Traube). Mais la preuve expérimentale, décisive, de cette conception nouvelle et conciliatrice, ne fut donnée qu'en 1897, par E. Buchner, qui réussit à isoler, des cellules de levure, une diastase, la zymase, capable de provoquer en leur absence la fermentation.

Dès lors, la fermentation alcoolique, réintégrée dans les cadres généraux de la fermentation chimique, devient l'objet d'expériences nombreuses et précises. Son mécanisme apparaît de plus en plus complexe : à côté du ferment principal, se range un ferment complémentaire, une co-zymase, indispensable à la fermentation; puis, c'est la présence d'un phosphate qui apparaît nécessaire pour la décomposition du sucre à fermenter : le cycle du phosphore, pendant la durée de la fermentation, passe par la formation d'un hexosephosphate et se termine par la libération du métalloïde sous l'action d'une enzyme spéciale; enfin, à côté de la zymase, surgit un cortège de ferments destructeurs, normalement paralysés par leurs antiferments... Bref, la fermentation alcoolique nous fait entrer au cœur de ce chapitre nouveau, et souvent déconcertant, de Biochimie, où les réactions fermentaires affichent, au sein d'une étonnante complexité, des liens de parenté non équivoques avec les phénomènes d'immunité d'une part, et d'autre part avec les phénomènes catalytiques.

M. Harden nous rapporte très exactement ces recherches anciennes et récentes, leur mise en œuvre expérimentale, leurs résultats et leur portée.

J. MARÉCHAL, S. J.

XVI

RESTAURATION DES MONTAGNES. — *Correction des torrents. Reboisement*, par E. THIÉRY, professeur à l'École Nationale des Eaux et Forêts. Avec une introduction par M. C. LECHALAS. 2^{me} édition, revue et augmentée. Un vol. in-8°, 480 pp. — Paris et Liège, Librairie polytechnique de Ch. Béranger.

Cet important ouvrage fait partie de la collection *Encyclopédie des Travaux publics*, fondée par M. C. Lechalas, inspecteur général des Ponts et Chaussées.

De l'introduction, dont le très savant et très érudit fondateur de l'*Encyclopédie* a honoré ce compact volume, il résulterait que les exposés et les descriptions de l'ingénieur Surell, trop simplistes et trop sobres de détails, seraient aujourd'hui vieux jeu, démodés et demanderaient à être complétés, mises à point. C'est ce à quoi, sans doute, a voulu répondre l'auteur, lequel, forestier, a fait principalement œuvre d'ingénieur.

Cette œuvre comprend trois parties, dont l'une, sous ce titre : *Description du phénomène torrentiel*, traite de la question que nous avons abordée jadis, ici-même (janvier 1882), d'après Surell, Scipion-Gras, Philippe Breton, Costa de Bastelica et Demontreux, sous le titre de *Lois générales de la torrentialité*. On doit dire que cette « Description du phénomène torrentiel » est développée avec une grande hauteur de vues et à l'aide de nombreuses observations nouvelles d'ensemble et de détails, faites dans les régions montagneuses tant en France qu'à l'étranger, ce qui implique naturellement un progrès sur les nombreux travaux analogues, antérieurement publiés.

Là, tous les phénomènes de la montagne, tous les détails de chacun d'eux, minutieusement observés et décrits, sont soumis au calcul. Sur ces données est établie une nouvelle classification des torrents, ou plus exactement, des cours d'eau torrentiels, le régime de ces cours d'eau, la formation des pentes de compensation et le profil qui en résulte. Les *lits* de déjection ont ici remplacé les *cônes*, l'auteur estimant que ces sortes de remblais qui se forment à l'issue des canaux d'écoulement, se rapprochent davantage de la forme de la pyramide que de celle du cône ; il en décrit la formation, puis expose les divers ravages causés par les torrents ; cônes ou pyramides, ce sont toujours des *lits*.

Les *Travaux de correction des torrents* occupent la seconde partie du volume. Sous un titre différent, la REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES avait aussi abordé ce sujet, en juillet 1882, d'une manière plus sommaire, il est vrai. La fameuse question des barrages est, ici, envisagée sous toutes ses faces : barrages rectilignes, barrages curvilignes, en maçonnerie, en pierre sèche, en bois, en farcinages et clayonnages, barrages vivants; l'utilité de ces barrages; leurs rôles respectifs suivant qu'il s'agit de la correction de torrents à affouillements, à glissements ou à *clappes*, glaciaires ou mixtes; leur hauteur, la forme et les dimensions de la cuvette, le radier, le contre-barrage, tout cela est exposé mathématiquement et avec figures et graphiques à l'appui.

Parmi les *Travaux divers*, quelques pages sont consacrées à la *forêt de protection* et à l'utilité du reboisement; mais c'est d'une façon qui semble incidente.

Cette seconde partie, qui se termine à la page 380, forme, avec la première, la très majeure part du volume.

La troisième, qui a pour objet les *Travaux de reboisement*, ne comprend pas beaucoup plus de 80 pages. L'auteur y envisage d'abord les difficultés, tant morales que climatiques (1) et celles surtout qui résultent de la disposition et de la constitution extrêmement compliquées des terrains, surtout dans les Alpes.

Ce qui suit, rentre plus spécialement dans le domaine de la sylviculture, mais dans son application exclusive aux boisements en terrains montagneux; choix des essences suivant les altitudes

(1) L'auteur emploie, et nous avions jadis employé nous-même l'expression de *climatérique*. Mais elle n'est pas applicable à l'état climatologique d'un pays ou d'une région. Ouvrons le dictionnaire de l'Académie, à ce mot, nous y lisons : « Adjectif des deux genres; il n'est usité que dans ces locutions : *An climatérique, année climatérique*. Chaque septième année de la vie humaine, et particulièrement la soixante-troisième qu'on appelle aussi la *grande climatérique*, et absolument la *climatérique*... etc. »

Dictionnaire Larive et Fleury :

« Climatérique, se dit des âges, des années de la vie humaine regardés comme dangereux pour la santé ».

Le dictionnaire de Littré, et tous les autres donnent, sous une forme ou sous une autre, la même définition.

Il est vrai que le mot *climatique* ne se trouve dans aucun dictionnaire; mais il peut être considéré comme une abréviation ou contraction de *climatologique*, qui est un peu long.

et les expositions, des graines pour les semis; création et entretien de pépinières, plantations, tracé de chemins et de sentiers (1).

Le volume se termine par un XXV^e chapitre, d'un grand intérêt dans sa brièveté (il n'a que 3 pages), car il donne la statistique de tous les travaux accomplis jusqu'ici par l'Administration pour l'Œuvre de la restauration des montagnes, avec indication des dépenses qui seraient nécessaires pour l'achèvement des travaux, lesquelles se monteraient à 60 186 000 francs.

Le travail de M. E. Thiéry est assurément remarquable. Il dénote une observation abondante et minutieuse, servie par la science spéciale de l'ingénieur. La restauration de la montagne par des travaux d'art paraît être son principal objectif, le reboisement intervenant comme le couronnement et l'élément conservatoire de l'œuvre, plutôt, semble-t-il, que comme l'œuvre principale.

C'est ici que se rencontre le point douteux.

Il y a quelque douze ou quinze ans, il y eut grand émoi dans le public forestier administratif, du fait qu'un de ses membres avait publié, dans la REVUE DES EAUX ET FORÊTS, une charge à fond contre les travaux de consolidation des versants montagneux à l'aide de barrages monumentaux coûtant fort cher et ne résistant que pour un temps à la poussée des matériaux qui finissaient par les emporter. Conclusion logique : toutes tentatives d'éteindre les torrents par des travaux d'art, étaient vaines, dispendieuses et inutiles.

À elle seule, la démarche de l'écrivain de la revue forestière avait peut-être pu passer pour une boutade paradoxale. Mais quelques années plus tard, au congrès du SUD-OUEST NAVIGABLE, tenu à Bergerac (Dordogne) en juillet 1906, un autre forestier, M. L. A. Fabre, inspecteur, soutint une thèse analogue dans un brillant mémoire intitulé : *Les dérivations à l'Idée des Reboisements des montagnes* (2). Sans doute l'auteur du mémoire ne proscribit pas systématiquement toute espèce de barrages; mais bien qu'en rendant hautement hommage à l'œuvre considé-

(1) Nous avons traité ce sujet dans la REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES, nos de juillet et octobre 1884, juillet 1886.

(2) Cf. le *Compte rendu* des travaux du congrès, p. 416. Bergerac, Imprimerie générale du Sud-Ouest, 1906.

nable, réalisée par Demontzey, dont il fut d'ailleurs l'élève, il considère les grands barrages et autres travaux de maçonnerie comme une erreur du grand reboiseur, erreur qu'il aurait, sur la fin de sa carrière, reconnue implicitement lui-même, en reconnaissant l'efficacité des barrages vivants par opposition aux barrages de maçonnerie. La thèse de M. Fabre est étayée par l'apport de très nombreux faits à l'appui.

D'autre part, l'initiative privée, sous la haute impulsion de M. Paul Descombes (un ancien élève de l'École polytechnique) obtient, dans les montagnes pyrénéennes et même dans les Alpes, des résultats que je ne craindrais pas d'appeler merveilleux, par la restauration des pâturages et le reboisement (1), sans d'ailleurs recourir à ces grands travaux d'art que l'Administration publique est seule en état d'entreprendre.

Loin de nous la pensée d'opposer M. Fabre et M. Descombes à MM. Lechallas et Thiéry. Mais on peut, d'une part, se demander si une partie au moins des très savants, mais aussi très dispendieux travaux proposés par M. Thiéry, ne pourraient pas être remplacés avantageusement par des opérations plus simples; tandis que, d'autre part, l'expérience acquise et une observation plus serrée des détails rendent plausible et vraisemblable un perfectionnement des gros œuvres, atténuant, sinon annulant les défauts et inconvénients signalés notamment par M. L. A. Fabre et autres.

Le compact volume de M. E. Thiéry n'en est pas moins, au point de vue de l'hydrologie et de la mécanique appliquées à la consolidation des terrains en pente, à la lutte contre les avalanches et les chutes de matériaux, un ouvrage de premier ordre qu'étudieront et consulteront avec fruit, tous ceux qui collaborent à l'œuvre grandiose de la restauration de nos montagnes forestières et pastorales.

C. DE KIRWAN.

(1) Voir notamment, parmi les nombreux écrits de M. Paul Descombes : *La défense forestière et pastorale*. Paris, Gauthier-Villars, 1911; *Éléments de Sylvonomie* (Agronomie forestière); *Économie et Politique forestières*. Bordeaux, Gounouilhou, 1913.

XVII

ÉCONOMIE FORESTIÈRE, par G. HUFFEL, sous-directeur et professeur à l'École nationale des Eaux et Forêts. *Tome premier, DEUXIÈME PARTIE.* — Seconde édition, revue et corrigée. *Fascicule premier* : Propriété et législation forestières. Un volume in-8° de 163 p. s. d. — Paris, Librairie agricole.

Le nom de M. Huffel, professeur (et, en plus, aujourd'hui sous-directeur) à l'École nationale des Eaux et Forêts de Nancy, est bien connu des lecteurs de la REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES. En 1905, 1906 et 1907 nous les avons longuement entretenus de la première édition de son vaste ouvrage, *Économie forestière*, lequel tient plus encore que ne promet son titre.

En avril 1911, nous analysions, dans un article de Variétés, le premier volume — ou plutôt le premier *demi-volume* — d'une deuxième édition du même ouvrage. Ce « tome 1^{er}, Première partie », ne contenait pas moins de 342 pages. Le premier fascicule du « tome 1^{er}, Deuxième partie », en contient 163, ce qui fait présumer pour la totalité de cette « Deuxième partie », une consistance sensiblement égale à la Première.

Dans celle-ci, une « Première Étude » était affectée à exposer l'utilité (on pourrait dire à la nécessité) des forêts aux divers points de vue économique, physique, climatologique, du maintien des terres et de l'utilisation des sols incultes. Il en est de même dans la deuxième édition qui, sauf quelques intéressantes additions, diffère peu, sur ce point, de la première.

Les innovations particulièrement heureuses sur l'histoire et la condition forestière de la Gaule romaine et de la Gaule franque sous les Mérovingiens et les Carolingiens, qui occupent le dernier tiers du volume précédent, se poursuivent, dans le nouveau fascicule, quant à la France féodale pendant toute la durée effective du régime de ce nom.

A la suite des invasions qui, du v^e au x^e siècle, avaient successivement traversé ou occupé la vaste contrée qui devait bientôt devenir la France, la notion du droit de propriété s'était, suivant les lieux, plus ou moins obscurcie, obnubilée un peu partout. Ici, le seigneur se disait propriétaire des terres et forêts de sa seigneurie dont jouissaient, même héréditairement, les *vilains* (c'est-à-dire les habitants des villages dépendants de la *villa*) sauf une modique redevance, se réservant les droits

de pêche et de chasse ; ailleurs c'étaient d'anciens *alleux* des temps mérovingiens et carolingiens qui s'étaient perpétués à travers l'évolution féodale ; ou bien c'étaient d'anciennes forêts *communes* qui peu à peu s'étaient transformées en propriétés de fait de telles et telles communautés, soit à titre indivis entre les habitants, soit plus souvent, à titre collectif ; sur certains points, comme dans le Nord, l'Ouest et le Centre, la petite propriété individuelle dominait, et cela dès avant le XII^e siècle, à l'encontre de l'Est, du Nord-Est et du Midi où des étendues considérables de forêts et de terres se partageaient entre un petit nombre de maîtres. Il y avait aussi, en forêt, des concessions de droits d'usage en des conditions telles que, dans les cas de procès, les magistrats se trouvaient fort embarrassés pour déterminer quel était, de l'auteur des concessions ou de l'usager, le véritable propriétaire. Enfin il y eut aussi, par la suite, des forêts dites *roturières*, qui ne devaient foi et hommage à aucun seigneur.

On voit par là combien, sous la constitution féodale, la notion de propriété était confuse, embrouillée. Et comme chaque propriété, ou plutôt chaque groupement de terres comprenait une part considérable, souvent prépondérante, de forêts, on voit que la question de propriété et de législation forestière, dans la France féodale, est intimement mêlée à celle de la propriété et de la législation en général.

Aussi l'auteur a-t-il été forcément amené, pour traiter la question forestière du X^e au XVI^e siècle, à dessiner le tableau de toute l'organisation féodale. En sorte que, intéressant au premier chef pour tout ce qui touche aux forêts, ce travail ne l'est pas moins pour quiconque s'intéresse aux choses de l'histoire sociale.

On y voit s'organiser lentement les campagnes et se former la plupart des communes rurales. On n'est pas peu surpris d'apprendre qu'en plein X^e siècle, quand les chefs de la féodalité naissante, les seigneurs terriens et leurs adeptes, se faisaient une guerre acharnée les uns aux autres, — les paysans, les *villains*, jouissaient, au point de vue de leurs intérêts locaux, en même temps que d'une sécurité et d'un ordre relatifs, « d'une liberté que ne connurent plus leurs successeurs, y compris nos paysans du XX^e siècle » (1). Ils se réunissaient, à certaines époques, en *placets*, présidés par l'un d'eux au titre de représentant du seigneur, mais qui était, en fait, autant l'homme de ses conci-

(1) *Op. cit.*, p. 22.

toyens (il serait plus exact de dire ses covillageois) que celui du seigneur. C'était dans ces plaids que se jugeaient les procès, que se rendait la justice par l'assemblée des paysans, etc.

Les grandes forêts se partageaient entre le roi, en tant que seigneur du domaine royal, les seigneurs laïques ou ecclésiastiques vassaux du roi, les vassaux de ces seigneurs et les vassaux de leurs vassaux ; car l'organisation sociale comprenait une hiérarchie très compliquée. Parfois tel vassal d'un seigneur pour une seigneurie déterminée, pouvait se trouver être son suzerain sur un autre domaine.

La gestion de ces forêts était elle-même assez compliquée et le mode en variait d'une contrée à une autre, parfois dans la même contrée, entre deux seigneuries. Elle présentait plus d'unité dans le domaine royal. Des droits bizarres grevaient certaines forêts, tels que les droits de *gruerie*, de *triage*, de *tiers et danger* ou de *tiers-denier*, qui consistaient dans le prélèvement, au profit d'un tiers (ordinairement le roi ou un haut seigneur), d'une partie du produit des coupes de bois de telle ou telle forêt.

Les famines, les guerres intérieures, rendaient souvent désertes de vastes contrées. Pour y attirer les habitants, les seigneurs de ces pays dévastés accordaient à ceux qui venaient s'y établir, de grands avantages dont les forêts faisaient les frais. C'est ainsi que s'est opéré, peu à peu, ce que M. Huffel appelle le « démembrement des forêts seigneuriales », dont une grande partie devint soit forêts communales, au lieu d'être seulement *forêts communes*, soit forêts bourgeoises ou paysannes, autrement dit roturières.

Suivent, dans le travail de M. Huffel, un tableau très étudié de la législation, ou plutôt des législations très variées et coutumes locales, concernant les forêts au moyen âge, et enfin une vue d'ensemble sur l'état de boisement de la France féodale aux différents siècles écoulés du x^e au xvi^e.

Les références auxquelles renvoie l'auteur sont innombrables. Tous les vieux cartulaires d'abbayes et de châteaux ont été par lui dépouillés et annotés. De même, les édits royaux, les chartes, les documents de toute nature. Il n'est pas jusqu'à la *Somme* de saint Thomas, qui ne lui ait procuré quelque lumière. Les auteurs qui, plus près de nous, ont étudié à divers points de vue la propriété durant la période féodale, ont également fourni à l'auteur d'utiles références.

Il n'y a rien d'exagéré à dire que nous avons, dans ce fasci-

cule, le fragment d'une œuvre dont la seconde édition semble devoir être vraiment monumentale.

Nous sera-t-il permis d'exprimer, sur deux points, une opinion différente de celle de l'auteur?

On lit, dans une note, au bas de la page 35 :

« On sait assez que Saint Louis, par l'implicable (*sic*) traité de Paris (1258), remit spontanément (?) à son beau-frère, le roi d'Angleterre, sans même que celui-ci l'eût demandé (??) toutes les terres françaises, que son aïeul Philippe-Auguste... avait enlevées aux Plantagenet... Les scrupules de Saint Louis eurent les conséquences les plus funestes pour notre pays : en y consolidant la puissance anglaise, il compromit l'existence même de la patrie, que seule put sauver l'intervention miraculeuse de Jeanne d'Arc. »

Un jugement aussi sévère, est-il de tous points bien exact?

Il est bien vrai que Saint Louis restitua à l'Angleterre le Limousin, le Quercy et le Périgord. Mais il est également vrai que, de son côté, le roi d'Angleterre renonça à tous ses droits sur la Normandie, l'Anjou, la Touraine, le Poitou, qu'il renonça également à l'hommage du Berry, de la Bretagne, de l'Anvergne, de la Marche et de l'Angoumois ; les domaines que le roi de France lui rendait, Henri III d'Angleterre reconnaissait les recevoir comme vassal, et il prit l'engagement d'en faire hommage-lige au roi de France, en qualité de pair de France et de duc d'Aquitaine, ce qui fut exécuté lors de la signature solennelle du traité, le 4 décembre 1259. Et il est vrai aussi, qu'en septembre 1257, une ambassade solennelle du roi d'Angleterre arrivait en France pour réclamer à Louis IX la restitution des provinces conquises par Philippe-Auguste, sur Jean-sans-Terre. Ce n'était donc pas « spontanément » et « sans même que le roi d'Angleterre l'eût demandé », que Saint Louis restitua les provinces sus-désignées.

Et ce qui semble bien prouver que ce traité ne fut pas si défavorable à la France, c'est qu'il produisit le plus vif mécontentement en Angleterre. Indignés de ce qu'ils considéraient comme une faiblesse de la part d'Henri III, les barons anglais, conduits par le comte de Leicester, se révoltèrent, tandis que le peuple de Londres chantait des couplets satiriques « sur la bonne paix faite par le roi (1) ».

(1) Cf. Edmond Demolins, *Histoire de France*. Saint Louis. — Paris, 1879. « L'avantage du traité de Paris, dit cet auteur, était tout entier en faveur de la France. » t. II, p. 223.

Les avis sont donc tout au moins partagés dans l'appréciation du traité de 1258-1259.

Le second point de notre désaccord est plutôt la réfutation d'une fausse légende qu'une différence d'appréciation.

Nous lisons, page 136 :

« ... Puis survint la grande terreur de l'an mille. Les populations, convaincues de l'approche de la fin du monde, se réfugiaient dans les cloîtres, abandonnant la charrue. »

Hommes de ma génération, comme ceux des générations suivantes, nous avons tous été élevés dans la croyance aux terreurs des approches de l'an mille. Mais il se trouve que nous avons tous été, et nombre de générations avant nous, dupes d'une pure mystification.

Dès 1873, la REVUE DES QUESTIONS HISTORIQUES, par la plume du savant Dom Flaine, avait démontré que cette fable, remise en honneur par l'auteur anglais Robertson, dans la Préface de son *Histoire de Charles-Quint*, était une légende sans fondement. M. Godefroid Kurth, l'illustre historien belge, dans un opuscule intitulé : *Qu'est-ce que le moyen âge ?* (Paris, Bloud, 1905), a de nouveau réfuté cette erreur.

Enfin, en 1908, un archiviste paléographe, M. Frédéric Duval, en une brochure in-12 de 94 pages, a, sous ce titre : *Les terreurs de l'an mille* (1), repris la question *ob ovo*. Il établit, à l'aide d'une documentation très complète, et appuyé sur une bibliographie comprenant plus d'une douzaine d'auteurs, qu'il n'y a jamais eu, au x^e siècle, de terreurs motivées par l'approche de l'an mille ; que c'est là une légende dont les premiers symptômes ont apparu seulement dans le cours du xiii^e siècle, plus de trois cents ans, par conséquent, après l'an mille.

Ces deux réserves portant l'une sur une simple note de bas de page, l'autre sur une proposition incidente sont, relativement à l'ensemble du sujet, sans importance, et n'atténuent en rien nos appréciations très favorables sur ce fascicule.

C. DE KIRWAN.

(1) Bloud et C^{ie}, Paris.

XVIII

THE BANANA. *Its cultivation, distribution and commercial uses*, by W. FAWCETT. Un vol. in-8° de 187 pages et avec planches. — Duckworth et C^o, Henrietta Street, London W. C.

La banane a, dans ces derniers temps, fait beaucoup parler d'elle en Belgique, parce que beaucoup ont cru voir en elle un objet capable de renforcer les exploitations congolaises. Cet espoir est-il fondé? Nous n'oserions l'affirmer, mais nous croyons très utile de signaler aux lecteurs de la REVUE cet ouvrage qui est capable de donner à tous des indications précises sur les conditions de la culture et l'état actuel du commerce.

Certes nous n'avons pas envie d'entrer dans le détail de l'analyse de ce livre, que tous ceux qui s'intéressent à la question des plus importantes, « Bananes », devraient posséder; nous rappellerons simplement quelques-uns des points traités en faisant ressortir leur importance.

Dans un des chapitres du livre, l'auteur, bien connu d'ailleurs par ses études d'agriculture tropicale, expose dans leurs grandes lignes les opérations nécessaires pour obtenir avec cette culture un rendement rémunérateur, et il insiste en particulier sur les soins à apporter à la préparation du sol de la future plantation. On ne pourrait, en effet, assez insister sur ce point, car très fréquemment on croit que les bananiers, et les autres essences tropicales, n'ont qu'à être confiés à la terre pour que peu de mois après on puisse récolter des fruits. Naturellement l'auteur arrive à parler de deux phases de la culture auxquelles il faut attacher une grande importance. La première est le choix des rejets qui devront servir à multiplier les plantes ou à les remplacer après fructification. La sélection doit largement intervenir dans cette culture, comme dans toutes les autres cultures tropicales; sans elle on ne peut être assuré de bons résultats, on peut au contraire être certain d'un rendement très inégal en quantité et qualité.

La deuxième des phases de la culture est celle des amendements à apporter au sol. Question des plus importantes, qui a été solutionnée par des planteurs de manière tout à fait opposée. Les uns prétendent que l'apport des engrais chimiques est nécessaire, les autres, au contraire, et nous croyons qu'ils ont raison, que les engrais chimiques n'ont guère d'action sur la

production de la banane, les bananiers demandant surtout de l'humus. Cela ne veut naturellement pas dire qu'en l'absence de certains composés chimiques dans un sol donné, il ne pourrait être utile de l'ajouter au sol par la voie des engrais chimiques. Mais ce qu'il convient de faire remarquer, c'est que ces derniers ne devraient être ajoutés à une terre donnée qu'après des analyses, car il semble que leur apport soit non seulement inutile, mais dans certains cas nuisible.

Faut-il dire que M. Fawcett s'est occupé de la valeur alimentaire de la banane? Il est certain que les produits d'origine végétale qui possèdent une valeur alimentaire équivalente à celle de ce fruit ne sont pas nombreux; qu'outre sa valeur alimentaire proprement dite, la banane peut servir à fabriquer des liqueurs alcooliques et même de l'alcool. Cette dernière production pourrait devenir la base d'une industrie probablement très rémunératrice, plus forte peut-être que celle de la farine de bananes dont on a également beaucoup parlé dans ces derniers temps, mais au sujet de laquelle on a, somme toute, il faut bien le reconnaître, peu de documents précis, sans lesquels, malgré les belles promesses, il est difficile d'engager des capitalistes dans cette industrie nouvelle dont on connaît mal les débouchés.

Faut-il rappeler encore que l'auteur signale la valeur des fibres de certains bananiers: autre question, sans conteste, de grande importance à laquelle les planteurs n'ont peut-être pas toujours accordé l'attention qu'elle mérite?

M. Fawcett a donné dans son livre un aperçu de l'état actuel de la culture de la banane et des résultats économiques de cette culture de par le monde, en particulier en Amérique centrale, où le commerce de ce fruit s'est développé surtout, on le sait, grâce à la « United Fruit Company » de Boston.

Nous n'insisterons pas davantage; ces quelques indications suffisent amplement pour faire voir l'intérêt de l'ouvrage que M. Fawcett a consacré au bananier.

É. D. W.

XIX

LE CAOUTCHOUC. SA CHIMIE NOUVELLE. SES SYNTHÈSES, par A. DUBOSC et A. LUTTRINGER. Un vol. in-8° de 605 pp. — Paris, A. D. Cillard.

Cet ouvrage vient à un moment où la question du caoutchouc, qui fait couler des flots d'encre, est, au dire de beaucoup, entrée dans une phase nouvelle. Suivant les uns, le caoutchouc sauvage a vécu, tué par la « plantation » ; suivant les autres, les deux genres de produits vont devoir disparaître devant le « produit synthétique ».

Je pense qu'il y a place encore, et pour longtemps, pour le caoutchouc sauvage ; le caoutchouc de cueillette, qui deviendra un produit de semi-culture, et pour le caoutchouc de grande culture. Quant au caoutchouc de synthèse, son règne ne semble pas encore près d'être arrivé. C'est d'ailleurs la conclusion, très encourageante pour les planteurs et pour les exploitants, à laquelle arrivent les deux auteurs dans le livre signalé ci-dessus.

Dans cet ouvrage, après un aperçu des diverses questions relatives au caoutchouc naturel, sa production et la situation du marché, les auteurs examinent les propriétés physiques et chimiques du produit brut et sa constitution pour arriver à l'étude des diverses méthodes préconisées pour obtenir du caoutchouc par synthèse.

Nous ne suivrons pas les auteurs dans leur exposé, car faire un résumé, même succinct, de l'étude historique très approfondie qu'ils ont faite de ce sujet de la discussion des méthodes, nous entraînerait trop loin.

Comme les auteurs, nous pensons donc que si l'on n'est point encore parvenu à la synthèse parfaite, on commence à voir clair dans la question. Mais, dans cette synthèse la matière première joue le rôle important, et après elle vient la méthode. Si elle est compliquée, la synthèse n'est plus pratique.

Rappelons la phrase que reproduisent MM. Dubosc et Luttringer ; elle a été prononcée par le D^r Duisberg, le directeur général des usines Bayer, celles qui, dans ces dernières années, ont dépensé des millions pour des recherches dans la voie synthétique : « Si vous me demandez de répondre, en toute honnêteté et en toute vérité, quand le caoutchouc synthétique apportera les millions que certains prophètes voient dans son exploitation, je vous répondrai que je n'en sais rien. Sans doute pas demain, quoique le caoutchouc synthétique doive apparaître, sur le marché, dans un très bref délai, et que j'espère vivre assez pour voir ce triomphe nouveau de l'Art sur la Nature ».

Il y a deux ans que ces paroles furent prononcées !

Je pense que tout le monde sera d'accord avec les deux auteurs français quand ils concluent : « Comme entre la coupe

et les lèvres, entre le laboratoire et l'usine, il y a encore de la place pour quelques mécomptes et pour beaucoup de travail ».

Les cultures et les caoutchoutiers sauvages pourront d'ici là continuer à alimenter le commerce mondial, qui pourra encore largement s'étendre probablement avant que le « synthétique » puisse être produit régulièrement, et en qualité totalement équivalente au « naturel ».

Néanmoins, comme on peut s'en convaincre par la lecture du très consciencieux exposé de MM. Dubosc et Luttringer, le planteur doit veiller au grain et faire des efforts, comme les associations caoutchoutifères le lui recommandent, pour améliorer et uniformiser la qualité du produit.

É. D. W.

XX

LA NOTION DE TEMPS, par D. Nys, professeur à l'Université catholique de Louvain, deuxième édition, revue, remaniée et augmentée (Tome II du Volume VII du Cours de Philosophie), in-8°, 308 pages. — Louvain, Institut de Philosophie, et Paris, Alcan, 1913.

M. Nys avait déjà publié à part quelques études sur des sujets n'entrant pas dans le cadre de sa Cosmologie, notamment sur l'espace et le temps. Il reprend ces deux dernières pour en faire des tomes complémentaires de son ouvrage de fond. Cette méthode a bien un peu l'inconvénient de diminuer la valeur synthétique du traité, inconvénient sérieux, au point de vue pédagogique surtout; mais par ailleurs elle permet à l'auteur de donner plus d'ampleur au développement des théories qu'il expose.

L'étude sur le temps est fort bien construite. Suivant l'usage qui aujourd'hui tend heureusement à se généraliser, M. Nys expose d'abord sa théorie, qui est celle d'Aristote et de S. Thomas, très fidèlement exposée et solidement établie; il passe ensuite à la discussion des théories diverses, qu'il divise en deux catégories, selon qu'elles s'inspirent d'une tendance idéaliste, ou au contraire d'un réalisme exagéré. Ce plan a l'avantage de faire ressortir le mérite de la solution péripatéticienne: elle est un réalisme modéré; elle se tient, pour le concept de temps, à égale distance des deux excès opposés du nominalisme et du

réalisme exagéré. Le temps, pour Aristote et S. Thomas, n'est ni une création de l'Esprit, puisqu'il a pour fondement la réalité mouvante du changement continu, ni une entité distincte, substantielle ou accidentelle, puisqu'il ne prend sa formalité de nombre du mouvement que par l'opération de l'esprit fractionnant d'abord la durée du mouvement, puis en réunissant les parties par une synthèse mentale (1).

N'étant, sur aucun des points traités par M. Nys, d'un avis différent du sien, il me serait difficile de lui adresser des critiques foudroyantes. Voici seulement quelques minuscules *desiderata*. On aurait pu, ce me semble, dire plus nettement (p. 15), que la durée successive est un mode particulier d'existence, que nous ne pouvons décrire sans le supposer, à cause de sa simplicité même : c'est une notion acquise, comme celle d'espace, par une intuition immédiate, que l'analyse ne peut guère rendre plus claire.

Pour montrer comment la notion thomiste du temps ne supprime pas la contingence des créatures, il n'y a pas de réponse plus péremptoire que de préciser ce qu'est la persistance dans l'être chez la créature, comme le fait Lessius dans ce beau texte : « C'est donc une erreur d'imaginer la créature comme je ne sais quel solide réellement distinct de l'influx de Dieu, capable de subsister après soustraction ou partielle ou totale de son influence. Ce n'est pas ainsi qu'il faut la concevoir à l'égard de Dieu, mais comme le terme intrinsèque de l'action divine, tout comme la lumière est le terme intrinsèque de l'action du soleil. » (*De perfectionibus moribusque divinis*, l. X, c. IV, n. 39.)

Pour expliquer comment les psychologues modernes peuvent attribuer au présent une certaine durée, M. Nys distingue le point de vue objectif et le point de vue subjectif (p. 59) ; ces expressions conviennent-elles en l'occurrence ? Ne serait-il pas plus simple et plus juste de distinguer un sens strict et un sens large du mot *présent* ?

(1) M. Nys cite plusieurs fois le passage de l'opuscule thomiste *De Tempore* (cap. 1), où l'auteur, pour prouver que le temps n'est pas dans l'esprit, pose ainsi son principe : « Cum tempus sit numerus motus, et sit numerus numeratus... » Au lieu de *numeratus*, qui désigne plutôt l'élaboration subjective du concept, c'est *numerabilis* qu'on attendrait. Je m'étonne que M. Nys n'ait pas fait allusion à cette petite difficulté d'interprétation, qui peut-être exigerait une révision du texte. Au reste il conviendrait, avant d'utiliser l'opuscule *De Tempore*, comme celui qui s'intitule *De Instantibus*, de rechercher s'ils sont bien de S. Thomas ; même remarque au sujet de la *Totius Logicae Summa*.

Le problème de la vérification du mouvement uniforme serait peut-être à poser autrement que ne fait l'auteur (p. 86) ; que faut-il entendre exactement par des intervalles de temps égaux ? Là est, je crois, la difficulté, et c'est p. 124 que je la trouve le plus nettement posée. De même, en quoi consiste au juste le problème de la réversibilité du mouvement ? Dans les exemples cités p. 103, il n'est question que de la réversibilité des phénomènes, problème connexe, mais non identique ; les deux sont d'ailleurs distingués et exactement résolus pp. 107 et suiv.

A propos des vues déconcertantes émises par M. Langevin dans son fameux article de la REVUE DE MÉTAPHYSIQUE ET DE MORALE, et relatées p. 130, note, on pourrait contester que la théorie électro-magnétique exige absolument de telles conclusions ; cette théorie ne s'impose pas sans doute, et il est permis de se montrer défiant à son égard, mais elle contient pourtant des éléments incontestables, qu'il y aurait lieu de dégager des hypothèses risquées.

En lisant ce qui est dit de la distance temporelle (p. 133), on s'étonne de ne pas trouver mention de la théorie du mode de quandocation, analogue au mode d'ubication, et ayant pour effet de situer l'être à un certain moment de la durée, comme l'ubication le situe en un point de l'espace. L'auteur rencontrera cette théorie, professée par le P. De San, dans son examen des systèmes ; mais là même il ne la serrera pas d'aussi près qu'on s'attendrait à le voir faire, surtout quand on se rappelle avec quelle force M. Nys a admis, dans son étude sur l'espace, la doctrine de l'ubication réelle.

La difficile question de la création *ab aeterno* et de la multitude infinie est très heureusement traitée ; pourtant à certains endroits on voudrait une discussion plus profonde. La multitude, en tant que telle, peut-elle être déterminée autrement que par son nombre ? de même l'étendue corporelle autrement que par sa figure ? S. Thomas en certains endroits paraît fortement impressionné par cet argument des finitistes : il est à peine touché ici. Un couple de vivants corporels créé *ab aeterno* et suivi d'une multitude infinie de générations successives, donc une série infinie ayant un premier et un dernier terme : c'est là une hypothèse qui ne paraît pas à l'auteur offrir de difficulté spéciale (p. 172) ; je doute que ses lecteurs en jugent comme lui, et des explications complémentaires n'auraient pas été inutiles.

Enfin dans l'exposé des systèmes, les scolastiques anciens n'occupent aucune place, et le lecteur garde l'impression que la

thèse péripatético-thomiste a rallié tous les suffrages ; ce n'est pas tout à fait cela. Les savants articles que publie en ce moment M. Duhem dans la REVUE DE PHILOSOPHIE donnent une bien autre impression. M. Nys en fera son profit dans la troisième édition, que le succès de son beau livre nous vaudra sans doute, avant qu'il soit longtemps.

P. GENY.

XXI

SEMAINE SOCIALE D'OCTOBRE 1913. L'ÉVOLUTION DES ASSOCIATIONS ET DES INSTITUTIONS (Institut Solvay). Compte rendu par M. VAUTHIER. — Librairie Misch et Thron, Bruxelles.

L'association dans la petite bourgeoisie. — L'organisation des cultivateurs. — L'assurance mutuelle dans l'industrie textile. — Les groupements professionnels chez les patrons et les ouvriers verriers. — Une justice nouvelle pour les enfants. — L'élargissement des attributions pour la province. — L'élargissement des attributions de la commune. — Voilà les divers points du programme de la Semaine Sociale Solvay, 1913. Les organismes sociaux ainsi étudiés forment autant de sujets distincts, souvent sans liaison, même lointaine, entre eux. Mais M. Waxweiler, directeur de la Semaine, considérait moins ces associations et ces institutions comme des phénomènes existant pour eux-mêmes, que comme des facteurs d'une structure sociale, dont il a conçu l'ensemble. « Le programme de cette année tend à montrer comment dans la pression des nécessités nouvelles, des changements se préparent dans les cadres mêmes de la société actuelle. Les faits seront étudiés dans deux domaines différents. On observera, d'une part, les groupements professionnels si variés qui, dans toutes les classes, coordonnent des activités restées longtemps isolées. A quels besoins répondent les unions d'artisans ou de commerçants, les ligues de cultivateurs, les syndicats de patrons et d'ouvriers? Quel régime réclament ces associations? Quel rôle jouent-elles dans la vie publique? Quelles aspirations développent-elles parmi les membres? On s'attachera, d'autre part, à surprendre dans les institutions un mouvement général de réadaptation, dont on trouve notamment des témoignages caractéristiques dans l'élargissement des pouvoirs publics... »

Ce livre veut donner l'impression que nous assistons à une évolution étonnante dans l'ordre social. Si l'on veut, tout est évolution dans la vie, qu'elle soit publique ou privée. Quant à l'étonnement que nous ressentons en étudiant notre époque, il ressemble à celui qu'avaient nos ancêtres avant la création des compagnonnages, ou à la veille de la révolution française; à celui qu'auront nos petits neveux quand la société aura poussé plus avant les relations internationales. En somme, toute activité sociale est inspirée par un désir de mieux-être dans l'ordre moral ou dans l'ordre matériel. Cette activité est le fait des initiatives privées ou de l'intervention de l'État à des degrés divers et selon les temps. Si aujourd'hui l'État se montre impatient de légiférer sur toutes les questions et à tout propos, c'est, ou bien parce que les individus sont incapables de se guérir eux-mêmes, ou bien parce que la démocratie grandissante rappelle aux gouvernants et aux législateurs que pour rester au pouvoir ils doivent mériter de plus en plus les faveurs du peuple. En tous cas, toute association ou institution répond à un besoin soit réel, soit imaginaire. On ne voit pas, sans cela, ce qui pousserait à les mettre en existence.

A part une tendance trop visible à la systématisation philosophique, les considérations du présent ouvrage sur chacune des œuvres passées en revue, sont très suggestives et enseignent à l'élève à aiguiser sa curiosité et à chercher le pourquoi des choses. Nous ne pouvons admettre non plus que tout ce qui est transformation et évolution est progrès. Sur le terrain de la bienfaisance et de l'instruction, par exemple, les pouvoirs publics peuvent facilement, par trop de zèle, porter atteinte aux droits de la famille, dont l'institution et la conservation dans son véritable esprit, sont la condition fondamentale du bien-être de l'État. Les autorités communales sont les mandataires de la population, elles travaillent à l'intérêt général et non à la satisfaction d'idées personnelles.

La Semaine Sociale Solvay 1913 a eu certainement le mérite d'éveiller l'attention des auditeurs sur des problèmes vitaux. L'homme instruit n'a plus qu'à aider, par ses efforts personnels et dans sa sphère, à la réalisation des idées dont on lui a montré la grandeur et le caractère bienfaisant.

H. D.

XXII

RECHERCHES SUR LE PAGANISME DE LIBANIOS, par J. MISSON, S. J. Un vol. in-8° de xvi + 460 pp. — Bruxelles, Dewit, 1914.

Ces recherches se distinguent par une méthode rigoureusement objective. L'auteur a scruté avec une scrupuleuse exactitude les œuvres du rhéteur grec Libanios ; il a soigneusement exploité tous les résultats de l'érudition moderne. On ne peut donc qu'admirer la réserve avec laquelle il nuance ses conclusions. Ces nuances d'ailleurs semblent bien rendre exactement la réalité.

Nous avons ici comme un essai de psychologie religieuse. Le type étudié est un homme de lettres du iv^e siècle ; d'anciens l'ont pris pour un philosophe ; en fait il se contenta d'avoir, sur la philosophie, quelques clartés. Il associait dans la même vénération les lettres grecques et la religion traditionnelle à une époque où le paganisme, après le suprême effort de l'empereur Julien, achevait d'expirer. Par sa culture intellectuelle, il se trouve être le représentant d'un groupe assez nombreux. On devine dès lors l'intérêt de la présente étude.

Il est fort instructif de voir l'attitude que Libanios prenait devant les récits des poètes vénérables, inspirés des dieux, éducateurs attitrés de la jeunesse grecque : attitude singulièrement mêlée de vénération sincère et d'indépendance raisonneuse. C'est l'objet de la première partie. Dans la seconde qui analyse sa conception de l'Olympe et décrit sa dévotion à Tyché, la célèbre déesse d'Antioche, nous signalons l'étude très bien conduite sur le sens du mot θεός. La troisième partie étudie l'action des dieux sur l'homme. Soulignons enfin, dans la quatrième partie, le chapitre consacré à la prière : il nous a paru particulièrement intéressant. L'ensemble d'ailleurs nous ouvre, sur la situation religieuse de la société païenne au iv^e siècle, des perspectives intéressantes.

J. B. HERMAN.

XXIII

LE PORTRAIT DU CHRIST, par RENÉ COLSON. — Une brochure gr. in-8° de 56 pages. — Paris et Poitiers, Oudin, 1914.

Lorsque parut, en 1902, l'importante étude scientifique de M. Paul Vignon sur *le Linceul du Christ*, nous en avons, dans un article de *Variétés*, donné le résumé aux lecteurs de cette REVUE (1).

Rappelons, en deux mots, qu'il s'agit de la précieuse relique dite le *Saint-Suaire de Turin* (parce que conservée, depuis 1694, à la cathédrale de cette ville) qu'une photographie prise par le chevalier Pia, lors de la dernière ostension publique qui eut lieu du 25 mai au 2 juin 1898, révéla être très rigoureusement un *négatif*. Le positif produit par l'inversion photographique permit à M. Paul Vignon, docteur ès sciences naturelles, attaché au laboratoire de biologie de la Sorbonne, de se livrer à une longue suite de recherches, relatée en son intéressant volume, d'où il tira la conclusion solidement motivée que l'image fixée sur le Saint-Suaire ne pouvait en aucune façon être regardée comme une peinture faite de main d'homme, mais qu'on devait y voir une trace laissée sur le linceul par le corps qu'il avait servi à recouvrir, trace non produite par simple contact mais résultant d'un processus physico-chimique dont il ne semblait pas impossible de percer le mystère.

Pour cette dernière partie de ses études, M. Vignon, biologiste avant tout, avait trouvé un précieux collaborateur en la personne du chef de bataillon du génie René Colson, répétiteur de physique à l'École Polytechnique, et auteur de curieuses recherches sur l'action de certaines émanations chimiques sur la plaque photographique. Partant des faits qu'il avait été à même de constater expérimentalement et procédant par voie d'analogie, ce savant avait été conduit à reconnaître comme principal agent de la production du négatif découvrit la vapeur ammoniacale dégagée du corps du divin supplicié, vapeur faisant virer du jaune pâle au brun rougeâtre (avec une intensité variable suivant l'éloignement des diverses parties du corps par rapport au linceul) la mixture à base d'aloès qui, d'après les Saintes Écritures, avait été répandue sur le linceul.

(1) Livraison de juillet 1902, pp. 231-245.

Ayant, après sa mise à la retraite, continué à s'absorber dans l'étude de cette question passionnante, le Commandant Colson a cru le moment venu de faire connaître, en une courte brochure, l'état où elle est actuellement parvenue, tout en en reprenant l'exposé d'ensemble sous une forme condensée qui permit au lecteur nouveau venu de s'en faire rapidement une idée précise.

C'est cette brochure, très bien venue et d'une lecture particulièrement attachante, que nous signalons aujourd'hui au public de la REVUE avec le sincère désir de la voir se répandre le plus largement possible.

L'ordre très judicieusement adopté par l'auteur comme se prêtant le mieux à l'enchaînement des faits dans un exposé général est tout simplement l'ordre chronologique : 1° description du Saint-Suaire ; 2° récit de l'ensevelissement du Christ d'après les textes évangéliques ; 3° indications historiques jusqu'à l'époque actuelle ; 4° révélation produite par la photographie en 1898 ; 5° étude scientifique montrant que le Saint-Suaire n'est autre que le linceul du Christ, et expliquant comment l'image a pu se former dans les circonstances décrites par les Évangiles ; 6° objections et réponses ; 7° conclusion.

Pour ceux qui ont été au courant des précédents du débat qui s'est poursuivi autour de la relique, le chapitre VI offre un intérêt tout spécial en raison des réponses très simples et très sages qu'il apporte aux objections soulevées contre l'authenticité du Saint-Suaire, dont la plus frappante (pour ceux du moins qui n'ont pas approfondi le côté physique de la question) est celle que M. l'abbé Ulysse Chevalier a prétendu tirer de l'aveu que, d'après l'évêque de Troyes Pierre d'Arcis (vivant au déclin du XIV^e siècle), son antéprédécesseur aurait obtenu de l'artiste qui avait « peint » le Suaire.

Outre que toutes les particularités susceptibles d'être scientifiquement contrôlées, qu'une patiente étude a permis de relever sur le Saint-Suaire, sont d'une exactitude qui exclut *a priori* l'hypothèse d'une fraude commise par un imagier du moyen âge, il suffit, pour infirmer la thèse de M. Chevalier, de faire remarquer que les constatations dont le Saint-Suaire a été l'objet permettent de conclure qu'*il n'est pas une peinture*. Dès lors, ou bien il faut penser avec le Baron du Theil, M. Vignon, M. Loth et le R. P. Eschbach, que le soi-disant aveu ne repose pas sur une preuve suffisante, ou, s'il a pourtant été formulé, qu'il s'applique à quelque une des imitations connues du Saint-

Suaire et, plus particulièrement, comme le suggère, avec beaucoup de sens, M. Colson, à celle qui, vers l'époque même où l'aveu aurait été reçu, fit son apparition à Besançon pour y subsister jusqu'en 1794, époque où elle fut convertie en charpie sur l'ordre de la Convention.

Nous pensons, en tout cas, que nul ne saurait désormais se faire une opinion sur cette question si passionnante sans avoir lu l'excellent exposé qu'en cette brochure, avec une si parfaite compétence, M. Colson a su en donner.

P. DU P.

REVUE

DES RECUEILS PÉRIODIQUES

SCIENCES TECHNIQUES

L'état actuel de la traction électrique (1). — Les premières applications de l'électricité à la traction des véhicules ne remontent guère à plus de 25 ans. C'est en effet, vers 1887, qu'aux États-Unis, Sprague, Van Depoel, Daft et Bentley Knight, pour ne citer que les principaux promoteurs de cette industrie nouvelle, eurent l'idée de remplacer les tramways à traction chevaline par d'autres propulsés à l'aide de moteurs électriques. A cette époque, où l'électrotechnie naissante sortait à peine du laboratoire, et se trouvait encore dans la période expérimentale préliminaire, cette initiative était hardie. Le développement merveilleux et l'essor prodigieux que la traction électrique a pris dans le monde entier, démontrent à l'évidence combien cette entreprise fut couronnée de succès et combien elle fut féconde en ses résultats.

Depuis les premières installations, beaucoup de progrès et de perfectionnements ont été réalisés dans la génération et la distribution du courant, dans la construction des moteurs et l'appareillage des voitures. On s'est continuellement efforcé de réduire le coût d'établissement et les frais d'exploitation tout en augmentant le confort et la rapidité de ce mode de locomotion. Anciennement, l'agencement complet d'une voiture de tramway, consistant en deux moteurs électriques de 30 chevaux avec leurs accessoires, revenait à 22 000 frs environ. On peut aujourd'hui

(1) GENERAL ELECTRIC REVIEW, novembre 1913.

pour 6000 francs avoir une installation de même puissance, d'une construction meilleure et d'un rendement plus avantageux. Il est intéressant de noter à ce propos, qu'alors qu'au début de la traction électrique, l'équipement d'une voiture coûtait plus cher par le nouveau système qu'avec les chevaux, actuellement c'est le contraire qui se passe.

Dans sa forme moderne, le tramway électrique urbain ordinaire à trolley, ne s'écarte pas essentiellement des principes fondamentaux qui avaient été posés dès le début. Un seul élément s'est modifié : le voltage, d'abord égal à 500 volts, s'est graduellement élevé. Étant donnés les moyens dont on disposait à l'origine pour l'isolation des moteurs et le réglage de la commutation, ainsi que la nécessité de réduire la perte en ligne, il faut reconnaître que le choix de la tension de 500 volts fut on ne peut plus heureux, et jusqu'en 1907 on n'éprouva pas le besoin de dépasser 600 volts. Cependant, dans ces six dernières années les conditions de la traction électrique se sont si profondément modifiées que l'on a été amené à envisager l'emploi de voltages plus élevés. Les réseaux des villes se sont beaucoup étendus, on a construit des lignes pour desservir leurs banlieues, et le trafic interurbain s'est fortement développé. Les progrès réalisés dans la construction des machines et de l'appareillage ont permis d'utiliser des moteurs à collecteur monophasés et des moteurs à courant continu fonctionnant parfaitement sous 1200, 1500 et même sous 2400 volts. Ces deux derniers types de distribution du courant ont été fréquemment appliqués, et il est maintenant établi que le courant continu à 1200 volts ne le cède en rien au courant alternatif monophasé. Souvent même, il s'est montré plus avantageux que ce dernier, qui coûte cher d'entretien et donne lieu facilement à des dérangements. On a choisi 1200 volts pour les lignes interurbaines, dans le but d'utiliser le même équipement sur le réseau en ville à 600 volts et hors ville à 1200. On fait alors usage de moteurs enroulés pour 600 volts mais isolés pour une tension double ; suivant les cas on les connecte en série ou en parallèle, de manière à conserver une vitesse constante. De plus, le matériel fixe de la centrale et des sous-stations reste le même qu'avant ; il suffit de disposer les machines en série et de les isoler pour la tension maxima. On emploie plus rarement 1500 volts, potentiel de ligne qui n'est adopté que quand il y a un avantage marqué à faire une économie sur le cuivre, et que l'on ne doit pas se raccorder à un réseau existant à 600 volts.

Il est à présent acquis, que pour les exploitations de métropolitains ainsi que pour les voies suburbaines à grand trafic, le système dit à unités multiples est celui qui convient le mieux. Les trains sont formés d'une série de voitures portant chacune un équipement électrique complet, qui peut être commandé de l'une quelconque d'entre elles, ordinairement celle de tête. On prend usuellement le courant continu à 600, 1200 ou 1500 volts. En ce moment une installation de l'espèce à 2400 volts est en construction. Beaucoup d'exploitations de ce genre ont été précédemment montées avec courant alternatif monophasé, mais il est fort probable que l'on n'équippa plus de ligne avec ce système qui a dû céder le pas au courant continu.

Le remplacement de la traction à vapeur par la traction électrique sur les grandes lignes de chemins de fer, commence à faire des progrès marqués. Les conditions sont ici tout autres que pour les tramways et il est nécessaire de faire une étude détaillée de chaque cas particulier. Les types d'électrification les plus couramment employés sont : le courant continu à 1200 et 2400 volts, le courant triphasé avec moteurs asynchrones et le courant monophasé avec moteurs à collecteur.

Un quatrième système est en ce moment expérimenté ; il est caractérisé par l'emploi d'un moteur d'induction triphasé qui reçoit le courant d'une ligne monophasée. Un transformateur statique spécial disposé sur la locomotive, a pour effet, au moyen d'enroulements judicieusement établis, de créer les trois phases nécessaires au bon fonctionnement du moteur. On retire ainsi tous les avantages des machines triphasées : vitesse constante et récupération de puissance, tout en ne faisant usage que de deux conducteurs au lieu de trois. Le retour du courant pouvant s'effectuer par les rails, un seul fil de ligne suffit pour ce nouveau système qui est appelé à remplacer le triphasé partout où son emploi serait jugé avantageux.

Le courant monophasé permet de réaliser des distributions à potentiel élevé ; seulement, il est indispensable alors de prévoir un transformateur sur la locomotive, les moteurs à collecteur ne s'accommodant que d'une tension relativement basse. Leur capacité étant limitée par suite des difficultés de réaliser une commutation convenable, il est à prévoir que l'application du monophasé aux grandes lignes ne se développera guère.

Le convertisseur à vapeur de mercure s'est montré si pratique pour la transformation du courant alternatif en continu, qu'il est probable qu'en suite des nouvelles recherches entreprises en

ce moment, sa capacité pourra être augmentée de telle sorte, qu'il puisse se trouver à même de rendre des services en traction électrique. Il remplacerait avantageusement les groupes moteur-générateur dans les sous-stations ou, mieux encore, il pourrait être disposé sur les locomotives équipées avec des moteurs à courant continu et alimentées en monophasé à voltage élevé.

Les lignes de distribution de courant alternatif avec retour par les rails, surtout en monophasé, ont une action inductrice assez prononcée sur les circuits voisins. Pour y soustraire les fils télégraphiques et téléphoniques, on est souvent obligé de faire des dépenses importantes qui grèvent lourdement les frais de premier établissement. Le courant continu ne donne de ce chef aucun ennui et présente d'autre part une sécurité et une régularité plus grandes. C'est là encore une raison pour entrevoir l'extension qu'il est appelé à prendre en traction électrique. La tension élevée de 2400 volts à laquelle on l'utilise déjà, le rend aussi économique que l'alternatif, et des expériences en cours montrent que, seules des considérations économiques et non la difficulté de construction, limiteront dans l'avenir la tension acceptable.

Pour l'électrification des chemins de fer, deux systèmes restent aujourd'hui en présence, chacun ayant ses avantages propres, qui décideront du choix dans les cas particuliers. Ce sont : le courant continu et le type mono-triphasé avec transformateur spécial sur la locomotive. Ce premier présentant cependant une complication plus grande que l'autre, on peut affirmer, sans craindre de se tromper, que dans la majorité des cas, ici encore, le courant continu sera préféré.

L'Éclairage public au gaz surpressé à Paris (1). — Les besoins de la vie moderne, dans les grandes villes, ont imposé aux Municipalités l'obligation d'assurer un éclairage intense des rues. Cette nécessité s'est surtout fait sentir par suite de l'habitude qu'ont prise les grands magasins à prodiguer la lumière dans leurs luxueux étalages en vue d'attirer la clientèle. L'œil accoutumé à ces éclairages éblouissants, supporte de moins en moins facilement la demi-obscurité des voies publiques et l'augmentation de la puissance de leurs foyers d'éclairage a été

(1) COMPTE RENDU DU 40^{me} CONGRÈS DE LA SOCIÉTÉ TECHNIQUE DE L'INDUSTRIE DU GAZ EN FRANCE.

reconnue indispensable. Dans cet ordre d'idées, Paris vient de donner un exemple intéressant que beaucoup de villes telles que Lyon, Marseille, Toulouse, etc. se mettent à imiter. Le gaz surpressé est venu à point pour favoriser ce développement de l'éclairage public et il est actuellement de plus en plus utilisé à la place de l'électricité pour cette application. Un des principaux avantages qu'il présente, est la facilité de pouvoir réduire la puissance des foyers aux heures de moindre activité, sans cependant diminuer le nombre des points lumineux.

Les lampes à gaz surpressé comportent habituellement plusieurs becs ; pour chacun d'eux, on trouve un injecteur à gaz, une arrivée d'air réglable, une chambre de réchauffage, un brûleur à grille ; enfin pour l'ensemble, il y a une gaine pour les fumées, une cheminée de tirage, une veilleuse, un dôme et un chapiteau. Deux allumeurs automatiques permettent d'effectuer l'allumage des manchons et l'extinction de la veilleuse au moment de la mise en pression, le rallumage de la veilleuse et l'extinction des manchons au moment du retour de la pression ordinaire de la ville. Les lampes à trois becs, des types à 4000 et 2000 bougies, sont montées sur des candélabres grand modèle de 4 à 5 mètres de hauteur. Elles reçoivent deux alimentations réunies dans le socle au branchement unique par un robinet. Cette disposition permet l'allumage automatique des trois manchons à la fois ; à minuit un homme passe au pied de chaque appareil et, par la manœuvre du robinet, éteint deux brûleurs. Le troisième continue à éclairer jusqu'au moment de l'arrêt des surpresseurs. Les lampes à deux becs, du type 1000 bougies, ont également deux alimentations dans la lanterne. Un robinet à trois voies permet d'éteindre un manchon sur deux à minuit. En utilisant des appareils à mouvement d'horlogerie, toutes ces manœuvres d'allumage et d'extinction peuvent être rendues entièrement automatiques.

Les chambres de surpression sont actuellement au nombre de trois, ce qui est suffisant pour assurer l'alimentation complète du réseau. La première est établie en souterrain au Boulevard Raspail, entre les rues de Vaugirard et de Fleurus. Elle est reliée à la seconde située au Marché du Temple. La troisième, du Marché Saint-Didier, sera prochainement raccordée aux deux précédentes. Chacune de ces stations comprend plusieurs unités de surpression constituées par un moteur à gaz, un surpresseur, et un régulateur à cloche ; les premières machines avaient une

puissance de 400 mètres cubes de gaz surpressé à l'heure ; les dernières installées peuvent fournir 1000 mètres cubes à l'heure.

A la fin de 1913, la puissance totale de chacune des stations était de : Raspail, 1800 m³., 2 moteurs à gaz, 1 moteur électrique. Temple, 2000 m³., 2 moteurs à gaz. Saint-Didier, 400 m³., 1 moteur à gaz.

La pression adoptée est de 1,60 mètre d'eau. La canalisation est constituée par des tuyaux en fonte de 0,162 mètre de diamètre qui réunissent les cabines de surpression, et par des conduites de 0,108 et 0,081 mètre de diamètre qui desservent les voies éclairées.

Le développement de l'éclairage public par le gaz surpressé a été à Paris très rapide et très important, comme le témoigne le tableau ci-dessous.

| <i>Années</i> | <i>Nombre de lampes de 1000, 2000 et 4000 bougies</i> |
|---------------|---|
| Fin 1910 | 104 |
| » 1911 | 373 |
| » 1912 | 670 |
| » 1913 | 1298 |

N.-B. — 75 % environ des foyers installés ont une puissance de 2000 bougies.

La Turbine à Gaz (1). — La production de l'énergie mécanique fait en ce moment l'objet de recherches continuelles et les progrès se suivent avec une rapidité remarquable. Parmi tant d'idées nouvelles qui sont émises, il devient difficile de distinguer à première vue les meilleures solutions proposées et l'on se méprend parfois sur l'importance de certains facteurs. Il est cependant des cas, où les résultats déjà acquis permettent de se former une opinion et de prévoir la tendance de l'avenir. L'évolution des machines à gaz nous en offre un exemple caractéristique. Sans crainte de se tromper, on peut affirmer que ce que l'on recherche surtout aujourd'hui dans ces engins, c'est de réduire leur poids pour une puissance donnée. Les merveilleux exploits réalisés par l'aviation n'ont d'ailleurs pu l'être qu'à partir du moment où ce problème a été examiné avec soin et résolu d'une manière satisfaisante. Pour diminuer la masse des

(1) CASSIER'S ENGINEERING MONTHLY, octobre 1913, vol. XLIV, n° 4.

machines, deux méthodes peuvent être suivies : alléger autant que possible leurs différents organes constitutifs, ou les utiliser dans de meilleures conditions en vue du but à atteindre. C'est principalement dans cette voie que le progrès doit être cherché, et c'est à cette méthode que l'on doit les moteurs à cylindres rotatifs.

Ce raisonnement a amené tout naturellement les inventeurs à reconnaître l'avantage qu'il y aurait à réaliser la continuité de l'effort moteur, et de cette façon on est arrivé à la conception de la turbine à gaz. D'autre part, les résultats splendides obtenus avec la turbine à vapeur étaient bien faits pour encourager les esprits scientifiques à réaliser son équivalent avec les gaz. Malheureusement, les difficultés à surmonter ici sont bien plus grandes qu'avec la vapeur, et le choix seul du cycle thermodynamique à adopter, n'est pas des plus aisés. Si on admet que la température des gaz à la fin de la détente est voisine de 700 degrés, on trouve les rendements suivants pour les différents cycles applicables aux turbines.

| Rapport entre le volume initial et final de compression | MACHINES A EXPLOSION SOUS VOLUME CONSTANT | | | | MACHINES A COMBUSTION SOUS PRESSION CONSTANTE | | | |
|--|--|-----------|-----------------------------|-----------|--|-----------|-----------------------------|-----------|
| | Compression adiabatique | | Compression isothermique | | Compression adiabatique | | Compression isothermique | |
| | Rendements | | Rendements | | Rendements | | Rendements | |
| | Thermique | Mécanique | Thermique | Mécanique | Thermique | Mécanique | Thermique | Mécanique |
| | 5 | 0,505 | 0,380 | 0,510 | 0,520 | 0,370 | 0,160 | 0,360 |
| 10 | 0,595 | 0,340 | 0,610 | 0,540 | 0,490 | 0,160 | 0,450 | 0,390 |
| 15 | 0,645 | 0,320 | 0,660 | 0,550 | 0,540 | 0,150 | 0,490 | 0,420 |
| 20 | 0,654 | 0,300 | 0,680 | 0,560 | 0,580 | 0,150 | 0,530 | 0,440 |
| 25 | — | — | — | — | 0,630 | 0,150 | 0,540 | 0,445 |
| 30 | — | — | — | — | — | — | 0,560 | 0,450 |
| 40 | — | — | — | — | — | — | 0,590 | 0,470 |

D'après cette table, on voit qu'un rendement thermique élevé est toujours compensé par un rendement mécanique minime. Le cycle à combustion isotherme demandant une compression exagérée doit être écarté à priori. Le cycle à combustion sous volume constant donne avec la même compression initiale un rendement supérieur à celui pour lequel la combustion se fait sous pression constante. Cependant, l'effet utile final n'est pas meilleur, par suite de ce que la température limite maximum de combustion est rapidement atteinte. Le principal avantage qu'il peut revendiquer pour son application aux turbines à gaz, consiste à permettre l'emploi d'un compresseur de dimensions réduites. En pratique, cependant, les résultats ne sont pas aussi favorables que l'indique la théorie, à cause de l'intermittence du courant gazeux créé par les explosions successives, ce qui augmente les pertes calorifiques. En conséquence, les turbines à combustion discontinue s'indiquent uniquement pour les faibles puissances, quand il n'est pas nécessaire de procéder à une compression préalable du mélange gazeux, et pour lesquelles le rendement est d'importance secondaire. Le cycle à combustion sous pression constante (type Diesel) avec compression isothermique préalable au moyen de compresseurs multicellulaires, s'impose donc dans la majorité des cas.

La turbine à gaz comporte essentiellement un espace fermé dans lequel se produit l'explosion ou la combustion d'un mélange gazeux, qui est ensuite dirigé sur des organes appropriés pour recueillir l'énergie cinétique développée. Comme pour les turbines à vapeur, on distingue des machines fonctionnant par « action » et d'autres par « réaction ». Dans les premières, le fluide moteur est entièrement détendu avant de venir en contact avec les aubes sur lesquelles il agit quand il a atteint sa vitesse la plus grande. Dans les types à réaction, au contraire, l'énergie cinétique est utilisée au fur et à mesure de sa production, et la vitesse des gaz n'arrive jamais à des valeurs aussi élevées que dans la machine d'action. Par suite de son principe même, elle doit nécessairement comprendre plusieurs roues.

Pour réaliser une détente adiabatique, il faut utiliser une tuyère dont la longueur exacte se détermine expérimentalement. Si elle est trop courte, la détente est incomplète ; si elle est trop longue, il se produit des pertes d'énergie cinétique. On voit par là, combien il est difficile d'obtenir un rendement élevé avec une turbine à explosion ; la pression et la température initiale

variant à chaque instant, la tuyère est tantôt trop grande, tantôt trop petite et n'a que rarement les dimensions convenables. On pourrait surmonter cette difficulté en disposant plusieurs chambres d'explosion qui viendraient alimenter un réservoir maintenu à pression constante et où déboucherait la tuyère. Seulement, en pratique, cette solution ne donnerait pas de bons résultats, par suite des pertes énormes de chaleur qu'elle entraînerait et du système de valves d'une conservation et d'une manœuvre compliquées qui seraient nécessaires.

Turbines à explosion. — Cette forme de turbines a attiré un nombre d'inventeurs plus considérable que le modèle à combustion continue, à cause de sa ressemblance plus grande avec le moteur à gaz usuel. On peut les classer en deux catégories, suivant que le mélange gazeux est ou n'est pas comprimé avant chaque explosion. Les principaux types de cette classe sont ceux de : Gripepe, Esnault-Pelterie, Armengaud, Saint-Beuve, de Karavodine, etc. Une de ces machines les plus intéressantes est celle de M. de Karavodine. Elle comporte quatre chambres d'explosion prolongées par une tuyère et munies d'une enveloppe de circulation d'eau. Les gaz et l'air sont admis par l'intermédiaire de soupapes réglables. A la mise en marche, l'allumage est assuré par une étincelle électrique. La première explosion est suivie de l'expulsion des produits gazeux, ce qui a pour effet de produire un vide relatif qui provoque le remplissage automatique de la chambre avec du mélange frais. La partie supérieure, qui n'est pas refroidie par l'eau, est bientôt portée au rouge et sert à l'allumage qui se produit à partir de ce moment sans le secours d'une étincelle. Les détonations qui s'y produisent ont été comparées à celles d'un canon Maxim. Cette turbine fait 10 000 tours par minute. Des essais très sérieux ont fourni les résultats suivants : Puissance au frein de Prony : 1,6 HP. Résistances passives : 0,5 HP. Puissance totale développée par la machine : 2,1 HP. Consommation d'air par heure : 62,5 mètres cubes. Consommation de pétrole par heure : 6,5 lit. soit 4,7 kilos. Consommation spécifique par cheval-heure : 2,4 kilos de pétrole.

Il est à noter que dans ce type de turbine, la chambre de combustion n'est pas fermée au moment de l'introduction du mélange gazeux. Dans ces conditions, la compression préalable est impossible et les pertes de combustible sont élevées. Avec les modèles où le mélange d'air et de gaz est comprimé avant

chaque explosion, il est à craindre que la température de l'enceinte de combustion ne s'élève par trop. Pour éviter cet inconvénient, certains inventeurs ont réalisé des dispositifs spéciaux à soupapes. La meilleure construction de ce genre est celle de la turbine Holzwardt, étudiée par les établissements Brown et Boveri de Mannheim. Cette machine a été conçue pour une puissance de 1000 chevaux à une vitesse de 3000 tours par minute. Elle comporte une série de chambres d'explosion où l'air et du gaz pauvre de 1000 à 1200 calories au mètre cube sont admis par des soupapes spéciales. La pression initiale obtenue au moyen de pompes est de 4,5 kilo par centimètre carré ; elle est portée à 7 ou 8 kilos au moment de l'explosion. Quand celle-ci se produit, un clapet, pourvu d'un relai à huile destiné à retarder sa fermeture, s'ouvre et donne accès aux produits de la combustion vers une tuyère de détente qui les conduit à la roue à aubages. Lorsque la pression est devenue égale à celle de l'atmosphère, le clapet qui, par suite de la présence de la cataracte à huile, n'est pas encore revenu sur son siège, laisse passer un certain volume d'air qui balaye et rafraîchit l'intérieur de la turbine. Cette machine a encore, malgré tout, un rendement fort bas : 11,2 % d'après l'inventeur même.

Parmi les autres appareils basés sur des principes analogues, citons ceux de MM. Rusch, Puyeuvoil, Fasbender, Florian, de Villepigne, Brenils, etc. Dans tous ces types les frottements sont considérables et le rendement mécanique est minime. En résumé, les turbines à explosion n'ont pas jusqu'à présent fourni une solution satisfaisante du problème, excepté pour de faibles puissances quand la question du rendement est secondaire.

Turbines à combustion continue. — Avec ces machines le mélange gazeux est toujours comprimé avant son introduction dans la chambre de combustion au moyen d'appareils indépendants. On utilise souvent dans ce but des compresseurs à pistons qui sont d'une construction simple et robuste. Ils s'indiquent très bien pour les hautes pressions, mais leur encombrement devient vite fort grand quand leur débit est considérable. Dans ce cas, les compresseurs rotatifs multicellulaires les remplacent avantageusement. Ils conviennent parfaitement pour les turbines à gaz et peuvent souvent être disposés sur le même axe que celui de la machine principale. La pression de l'air y croît théoriquement en progression géométrique suivant le nombre de roues, de sorte que sans devoir en arriver à des vitesses périphé-

riques élevées, il est impossible de réaliser de fortes compressions. Les principaux modèles des appareils de ce système ont été établis par MM. Lemale, Rateau, Brown-Boveri, etc.

Quelques firmes, entre autres la Société Armengaud-Lemale, utilisent pour comprimer l'air, une sorte d'injecteur alimenté au moyen de gaz provenant de la chambre de combustion principale, ou d'une chambre secondaire. C'est là un dispositif particulier qui ne s'est pas autant généralisé que l'emploi des compresseurs.

Un certain nombre d'inventeurs ont étudié la turbine à combustion, sans prendre des précautions toutes spéciales pour le refroidissement interne de l'appareil. Il en est résulté des échecs qu'un examen plus attentif des conditions du problème aurait certainement fait éviter.

Pour obtenir un rendement satisfaisant, il convient de diminuer autant que faire se peut le travail de compression qui vient en décompte de la puissance utile ; dans ce but, il faut opérer sur un volume de gaz aussi faible que possible et à ce point de vue il paraît logique de faire usage de mélanges riches, peu dilués, dont on limite la température de combustion ou celle finale de détente. On y arrive, en refroidissant énergiquement la chambre de combustion par une circulation d'eau ; cette dernière emporte alors avec elle une quantité de chaleur suffisante pour produire sa vaporisation au moins partielle. Au lieu de perdre la vapeur ainsi obtenue, on peut la mélanger au gaz qui va travailler dans la turbine. C'est ce qui est réalisé dans le type Armengaud-Lemale. La chambre de combustion porte un revêtement en carborandum, séparé de la paroi extérieure en acier par un garnissage isolant formé d'asbeste et de magnésie calcinée. Par suite de la chaleur dégagée, le revêtement en carborandum porté au rouge, enflamme les gaz au fur et à mesure de leur arrivée.

Pour réduire la température à la fin de la détente, on dirige sur la roue de la turbine de la vapeur d'eau en même temps que le gaz. Cette disposition est réalisée dans la machine de M. Windhausen, qui prévoit une injection d'eau dans les produits de la combustion au moment où ils entrent dans la tuyère de détente. Cette eau se vaporise instantanément et agit concurremment avec les gaz sur les aubages de la roue mobile. Des solutions analogues ont été proposées par Holzwarth, Klötzen, Parsons et Teysseidou.

La possibilité de remplacer l'air atmosphérique par de l'oxy-

gène, en vue d'arriver à un rendement supérieur, a été également envisagée. En fait, on a rencontré certaines difficultés d'ordre technique et économique dans la mise en pratique de cette idée, qui pour ces raisons n'est pas encore sortie du domaine de la théorie.

Les aubages de roues, qui sont en acier spécial au tungstène ou au vanadium, étant soumis à des températures qui atteignent et dépassent 600 degrés, doivent être refroidis. Dans la turbine de M. Fullagar, ces pièces sont découpées hors de tubes d'acier et martelées en forme de croissants. On les maintient à basse température par une circulation intérieure d'air ou de vapeur. M. Weiss utilise un procédé analogue. MM. Armengaud et Lemale, comme M. Kerkau ont essayé, dans le même but, une réfrigération au moyen d'eau.

On voit, d'après ce qui précède, que la question des turbines à gaz préoccupe actuellement beaucoup d'esprits scientifiques. De nombreuses solutions de ce captivant problème moderne ont déjà été proposées, mais aucune d'elles ne semble jusqu'à présent avoir donné des résultats bien satisfaisants. L'avenir dira si sa réalisation pratique doit rester un rêve ou est devenue réalité.

La chaudière à vapeur de mercure (1). — Le mercure, liquide dans les conditions ordinaires, bout à 358 degrés et ses vapeurs dont la densité est égale à 6,58 se condensent dans le vide à 235 degrés. Ce corps se prête donc bien à la réalisation d'un cycle thermodynamique, entre des températures sensiblement plus élevées que celles qui délimitent les transformations thermiques auxquelles on soumet usuellement l'eau. Partant de là, M. W. L. R. Emmet a cherché à faire usage du mercure pour atteindre un rendement meilleur que celui que l'on obtient avec la vapeur d'eau. Le dispositif qu'il a étudié dans ce but, peut se schématiser comme suit : L'on chauffe du mercure contenu dans une petite chaudière disposée au dessus d'un foyer ordinaire; les vapeurs qui prennent naissance à une pression égale ou très voisine de celle de l'atmosphère, sont dirigées vers une turbine spéciale qui entraîne un générateur électrique. Elles passent ensuite dans un condenseur où, au contact de tubes remplis d'eau, le mercure revient à l'état liquide. A cause de la température élevée à laquelle cette condensation se produit,

(1) GENERAL ELECTRIC REVIEW, janvier et février 1914.

l'eau est portée à l'ébullition et la vapeur qui se dégage sert à alimenter une seconde turbine du type courant. On dispose l'installation de manière que le condenseur se trouve à un niveau plus élevé que celui de la chaudière, de sorte que le métal liquide puisse y retourner aisément sous le seul effet de la pesanteur, sans le secours d'une pompe.

La vaporisation du mercure se faisant à une température beaucoup plus élevée que celle de l'eau, l'allure de la combustion au foyer de la chaudière devra inévitablement être très vive et si on ne prend pas de précautions on risque fort de perdre, par le tirage, une notable quantité de la chaleur dégagée. Pour éviter cet inconvénient, à côté des appareils principaux on en installe d'autres de récupération. Ceux-ci, au nombre de trois, comprennent tout d'abord un réchauffeur où le mercure, venant du condenseur, est déjà amené à une température voisine de son point d'ébullition; ensuite, un surchauffeur pour la vapeur d'eau et finalement un économiseur qui chauffe l'eau du réfrigérant. De cette façon, on retire toute la chaleur possible des produits de la combustion, et on ne les laisse s'échapper à l'air qu'à la température strictement suffisante pour assurer le tirage.

Pour cette application nouvelle, le mercure présente quelques inconvénients qui, à première vue, semblent écarter toute idée d'utilisation pratique; ce métal coûte fort cher (il vaut maintenant à peu près 6,50 francs le kilo); ses vapeurs, même en très petite quantité, sont capables de vicier l'atmosphère des places où elles se répandent et peuvent ainsi entraîner la mort par asphyxie. De plus, il n'est pas aisé de tenir le liquide et ses vapeurs dans une enceinte hermétiquement close et d'empêcher radicalement les fuites.

Les nombreuses expériences qui ont été réalisées, ont principalement eu pour objet de chercher à éviter ces difficultés et l'on peut dire qu'actuellement celles-ci sont presque complètement éliminées. Il n'y a pas de doute d'ailleurs que les essais encore en cours n'écartent les tout derniers petits ennuis. La chaudière a été combinée pour réduire autant que faire se peut la masse de mercure nécessaire et pour éviter les pertes. De ce côté, on a maintenant tous ses apaisements et au point de vue hygiénique l'appareil n'offre pas plus de danger que beaucoup d'autres d'un emploi courant dans l'industrie.

Les avantages qu'offre le mercure comme véhicule de la chaleur sont des plus importants et valent largement la peine que

l'on s'est donnée de lever toutes les difficultés qui s'opposaient à son utilisation. Nous énumérerons ici les principaux d'entre eux.

1. — Le point d'ébullition de ce liquide est fort élevé et cela pour une pression basse facilement accessible. Ce n'est pas le cas pour l'eau qui conduit immédiatement à envisager de fortes pressions, si on désire avoir une température initiale assez haute.

2. — La grande densité de ce corps permet de compter sur la gravité pour son déplacement, la fermeture des soupapes, etc. De plus, elle permet l'emploi d'un modèle de turbine très simple ne comportant qu'une seule roue.

3. — Aux températures envisagées, il est complètement neutre vis-à-vis de l'air, de l'eau, de l'acier, etc., en général de toutes les substances avec lesquelles il pourrait venir en contact.

4. — Comme il ne contient aucun corps en solution, il ne peut se produire ni adhérences ni incrustations sur les surfaces actives de la chaudière qui demeure toujours parfaitement propre.

5. — Il ne mouille pas les aubages de la turbine, de sorte qu'il n'y a pas de corrosions à craindre de ce côté.

6. — A la température de condensation, son volume est tel qu'il n'exige pas, comme la vapeur d'eau, des dimensions excessives des organes mobiles de la turbine.

En résumé, par la présence du mercure comme convoyeur de chaleur entre le foyer et le condenseur, il est permis de travailler à basse pression et d'avoir une distribution très uniforme de la température, deux conditions impossibles à réaliser avec les chaudières ordinaires. Toute la chaleur fournie au mercure, à l'exclusion de celle qui a été transformée en travail dans la turbine, est retournée à l'eau du condenseur. On voit donc que rien n'est perdu et que, par ce fait, pour un nombre donné de calories mises en œuvre on retire une puissance mécanique plus grande qu'avec les générateurs usuels. Si pour une cause quelconque la turbine à mercure ne peut fonctionner, l'appareil ne doit cependant pas être arrêté. Il suffit de diriger directement la vapeur de mercure par une tuyauterie de by-pass vers le réfrigérant, pour avoir la vapeur d'eau dans des conditions aussi économiques qu'avec les chaudières ordinaires.

Si l'on soumet le problème au calcul, on trouve que dans les conditions normales, l'addition de la turbine à mercure donne lieu à une augmentation de force motrice d'environ 66 %, avec seulement une dépense supplémentaire de combustible de 15 %.

En d'autres termes, le gain net réalisé est un accroissement de 44 % de la puissance produite par kilo de charbon consommé. L'emplacement nécessité par la chaudière nouvelle et ses appareils accessoires, n'étant pas sensiblement plus grand que celui autrefois occupé par des générateurs de même capacité, on pourra bien souvent en l'adoptant augmenter la puissance disponible d'une station centrale, sans devoir ériger des constructions nouvelles. Des recherches expérimentales ont montré qu'il fallait en moyenne évaporer 10 kilos de mercure par kilo de vapeur d'eau produite. Dans ces conditions la dépense serait d'environ 50 francs de mercure par kilowatt produit à la turbine auxiliaire. Il est cependant fort probable que cette somme pourra encore être notablement réduite.

L'application généralisée de ce nouveau procédé demanderait des quantités énormes de mercure. Il n'y a pas toutefois lieu de s'effrayer de cette circonstance, car ce métal est suffisamment abondant pour que l'on soit à même de faire aisément face à la demande sans donner lieu à une augmentation exagérée du prix.

Les expériences qui ont été entreprises ont montré, que pour faire absorber facilement au mercure la grande chaleur nécessaire à sa vaporisation, il était indispensable de prévoir une circulation active du liquide. Comme il ne mouille pas les parois avec lesquelles il vient en contact, si on ne le force pas à se déplacer continuellement, la vapeur produite en un point se surchauffe fortement, et empêche la libre transmission de chaleur au restant de la masse. Pour éviter cet écueil, on a combiné une chaudière spéciale comprenant essentiellement deux séries de collecteurs disposés dans deux plans horizontaux et reliés par de petits tubes aplatis incurvés. On diminue ainsi le volume de mercure en jeu, on assure son évaporation rapide et on met l'appareil à l'abri des tensions excessives résultant d'un chauffage irrégulier. Tous les joints sont soudés à l'autogène au moyen de l'acétylène, de façon à avoir des raccords étanches et résistants. Le métal liquide parcourt les différents éléments dont se compose le générateur et est tout d'abord dirigé vers les unités qui reçoivent le plus directement l'action du foyer.

Une installation d'essai d'une puissance de 100 chevaux a déjà été construite suivant les principes ci-dessus développés. A part les petites difficultés inévitables à la mise en pratique d'un procédé aussi nouveau, elle a donné des résultats très satisfaisants qui font bien augurer de l'avenir qui est réservé au générateur à vapeur de mercure.

M. DEMANET,
Ingénieur.

MÉTÉOROLOGIE

Le « **Weather Bureau** » des **États-Unis** (1). — Un service météorologique comporte deux fonctions essentielles : la concentration des renseignements météorologiques recueillis par les postes d'observation ; la mise en œuvre de ces matériaux et la diffusion dans le public des résultats intéressants. Un double courant s'établit ainsi : le premier, courant centripète, issu de tous les points du réseau météorologique, et aboutissant à un organisme ou bureau central ; l'autre, courant centrifuge, portant au plus grand nombre possible de points du territoire intéressé la connaissance des caractères essentiels de l'état météorologique du jour et les conséquences qu'on en peut espérer ou qu'il faut redouter, au point de vue de l'agriculture, de l'industrie et du commerce.

Décrivons dans ses grands traits cette double activité du *Weather Bureau* des États-Unis d'Amérique, l'organisation la plus puissante et la plus libéralement dotée qui existe.

On peut juger d'abord de son importance aux crédits qu'elle réclame. Elle émerge au budget du Ministère de l'Agriculture pour une somme annuelle de huit millions de francs environ. Son personnel compte plus de 800 fonctionnaires, et près de 9000 personnes lui prêtent leur concours gratuit ou rémunéré par des indemnités mensuelles.

En vue d'assurer et de faciliter la récolte et la concentration des observations quotidiennes, les Américains ont divisé le territoire de l'Union en six districts météorologiques, possédant chacun une station primaire. Chacune de ces stations concentre les données transmises par les stations secondaires du district qui lui est dévolu. Celles-ci sont au nombre de 34 en moyenne par district.

(1) La plupart des éléments de cette notice sont empruntés à une étude de MM. Manley-Bendall et H. Perrotin, publiée dans la REVUE GÉNÉRALE DES SCIENCES du 15 février 1914. — Voir aussi M. Vandevyver, *Les nouvelles cartes du « Weather Bureau » de Washington*, avec spécimens de la *Daily weather map* et de la *Weather map of the Northern hemisphere* du 1 mai 1914 ; dans CIEL ET TERRE, BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ BELGE D'ASTRONOMIE, XXXV^e année, n^o 6, juin 1914, pp. 169-172.

Les observations se font partout aux mêmes heures : 8 heures et 20 heures (temps du fuseau horaire de Washington). Elles sont expédiées sous forme de télégrammes chiffrés aux stations primaires, qui, après les avoir réduites en tableaux, les communiquent au bureau central établi à Washington. Il est à peine besoin d'ajouter que Washington reçoit aussi les informations météorologiques des services étrangers. Mais en outre, le *Weather Bureau* possède des stations météorologiques à lui en Alaska, aux îles Hawaï, au Japon, en Chine et aux Philippines.

A côté du service météorologique proprement dit, le *Weather Bureau* dirige encore un réseau de stations climatologiques très important. Douze districts climatologiques se partagent le territoire des États-Unis. Chacun d'eux est divisé en 7, 8 ou 9 sections, lesquelles concentrent les observations de 4500 sous-stations.

A ces informations météorologiques générales le Bureau central a joint encore un service spécial d'avertissement des tempêtes. Cent quarante et une stations établies sur les côtes de l'Atlantique, 41 stations sur les côtes du Pacifique, recueillent les nouvelles météorologiques rapportées et communiquées par les navires arrivant au port; en outre, 42 postes de T. S. F. sur la côte de l'Atlantique, 10 sur le Pacifique, 5 dans l'Alaska, et 2 à Porto-Rico reçoivent les informations venant du large et transmises par les postes de bord. A cet effet, le *Weather Bureau* a conclu un accord avec les grandes Compagnies de Navigation transocéanique : désormais les paquebots font en mer des observations régulières à midi (heure internationale de Greenwich) et les communiquent par T. S. F. à Washington. A l'heure actuelle, 2291 observateurs marins appartenant à 24 nationalités différentes sont chargés de ces observations.

De l'avis des météorologistes américains, l'immense documentation ainsi rassemblée est encore insuffisante pour assurer la connaissance des régimes météorologiques et la prévision de leurs caprices. Toutes ces indications, en effet, sont recueillies au niveau du sol; or, c'est dans la profondeur de l'atmosphère, dans la couche de la troposphère s'étendant jusqu'à la zone des cirrus, à 10 000 mètres, qu'entrent en jeu les forces dont le conflit crève les nuages et déchaîne la tempête. La solution de l'énigme étant là-haut, c'est là qu'il faut aller la chercher.

Depuis 1902, au sommet du Mont Weather, à une altitude de 575 mètres, fut mis en service un poste de sondage de l'atmo-

sphère. Le programme de cet Institut aérologique est très vaste; il s'étend à tout ce qui peut intéresser la vie de l'atmosphère : depuis les études néphologiques jusqu'à l'observation de la radiation solaire et de l'ionisation. Le poste est astreint en outre à un service journalier d'information de la haute atmosphère. A huit heures du matin, quand le vent le permet, un train de cerfs-volants Hargrave, de 6 à 14 mètres carrés de surface portante, suivant la force du vent, enlève jusqu'à une hauteur de 1500 à 2000 mètres, les appareils enregistreurs de la température, de la pression barométrique, de l'humidité de l'air et de la vitesse du vent. Par temps calme, quand le lancer des Hargrave est impossible, des ballons-sondes captifs, de 1,50 à 2 mètres de diamètre, remplacent les cerfs-volants pour cette exploration. Au cours des ascensions, les appareils sont maintenus arrêtés pendant une dizaine de minutes à différentes altitudes, afin de permettre aux enregistreurs de prendre leurs indications en régime « d'équilibre ».

Enfin, dernier organe d'information du *Weather Bureau*, un service de crues des grands fleuves synthétise les résultats des observations effectuées dans 450 stations, qui télégraphient chaque jour à huit heures l'étiage actuel du fleuve, la variation du niveau des eaux depuis la veille, la quantité d'eau et de neige tombée dans la région drainée par le cours d'eau. Ces informations sont dirigées sur 60 postes primaires chargés de faire les pronostics et de les communiquer en temps utile aux riverains des régions dont ils ont la charge. Dans certaines parties de l'Union, comme la Californie et la Floride, où la culture des fruits est grandement intéressée à la connaissance des périodes de pluies et de gelées subites, le *Weather Bureau* organise des services locaux chargés de faire sur place des prévisions locales rigoureuses.

Cette arborescence magnifique et si abondamment ramifiée des canaux d'information de la grande météorologique américaine fait songer au système nerveux de l'organisme vivant, dont les artères, se rejoignant de plus en plus, font confluer vers le cerveau la multitude des impressions isolées recueillies à la périphérie. Il ne sera pas d'un moindre intérêt, pensons-nous, de voir avec quelle généreuse libéralité et par combien de voies inverses, l'organe central disperse ensuite vers la périphérie le flux des informations accumulées et sagement élaborées, de constater aussi quel rôle directeur et moteur important

jouent ces communications météorologiques dans la vie économique du peuple américain.

Vers huit heures et demie du matin, le télégraphe apporte au bureau central de Washington, les données météorologiques, recueillies une heure plus tôt et déjà partiellement synthétisées par les six stations centrales de districts. Elles sont immédiatement mises en œuvre, d'abord pour la confection des cartes météorologiques, ensuite pour la prévision du temps.

Un mot d'abord des cartes météorologiques. Le bulletin météorologique, publié chaque jour par le *Weather Bureau*, a 61 centimètres de largeur et 48 centimètres de hauteur. D'un côté est tracée la *Daily Weather Map*, carte météorologique s'étendant au territoire entier des États de l'Union. Cette carte porte les indications suivantes : isobares ou lignes d'égale pression barométrique (en traits continus noirs ; les hauteurs barométriques sont inscrites en pouces anglais) ; les isothermes ou lignes d'égale température (en traits continus rouges ; les indications numériques sont données suivant l'échelle Fahrenheit) ; la position actuelle des centres de dépression ou de pression avec le trajet suivi pendant les derniers vingt-quatre heures et la direction actuelle de leur mouvement de déplacement (traits noirs interrompus) ; les zones de variation brusque de la température (entourées d'un contour pointillé rouge) ; les zones ayant reçu de la pluie ou de la neige depuis la publication du bulletin de la veille (zones teintées de gris) ; en chacune des 200 stations, l'état du ciel au point de vue de la nébulosité, de la direction du vent, de la présence d'orages. On peut regretter pourtant que les flèches qui marquent la direction du vent ne portent pas en même temps l'indication de sa vitesse. Il est de plus en plus important en vue des prévisions de pouvoir estimer rapidement et *de visu* dans quel azimut, par rapport aux centres de pression et de dépression, se présentent les vitesses « anormales », qui jouent un rôle capital dans la prévision des déplacements, depuis que M. Guilbert a énoncé à leur sujet des lois relativement très précises et très sûres. Il existe d'ailleurs des moyens très simples de faire figurer, sur les cartes, sans les charger, des indications de la vitesse du vent. Les cartes météorologiques quotidiennes, publiées par l'Institut royal de Météorologie de Belgique, utilisent très heureusement à cet effet l'empennage des flèches qui marquent la direction du vent. Cet empennage est formé d'un nombre de traits proportionnel à la

vitesse du vent. La carte du *Weather Bureau* porte en cartouche des indications plus précises sur la pression barométrique, sur la température, sur les vents observés en chacune des stations, sur l'étiage des cours d'eau dans les grandes villes riveraines. Un tableau résume aussi les pronostics météorologiques. Nous aurons à revenir plus loin sur les prévisions.

Pour le moment, retournons la carte. Nous avons sous les yeux la *Weather Map of the Northern Hemisphere*, grande carte météorologique synthétique très suggestive de tout l'hémisphère boréal. C'est une « projection anglaise équidistante » centrée sur le pôle. Le lecteur peu familiarisé avec ce genre de représentations cartographiques pourra se la figurer de la manière suivante : Au centre de la carte, le pôle nord. De ce point un faisceau de 72 droites rayonnantes représente le système des méridiens de cinq en cinq degrés. Les parallèles, tracés aussi de cinq en cinq degrés, sont des circonférences concentriques équidistantes ayant le pôle pour centre. La trame géographique des méridiens et des parallèles ainsi constituée, et dans laquelle viennent s'inscrire les contours des trois grands continents boréaux, fait bien image et respecte suffisamment bien les aires et la forme des contours. La carte américaine porte les indications suivantes : les isobares, qui sont gradués en *millibars*, unité d'introduction assez récente dans la science et dont les météorologistes européens ont dit trop de mal. Le *bar* est une unité C. G. S. dérivée, équivalant à un million d'unités C. G. S. normales, soit donc 10^6 dynes par centimètre carré. Le *bar* est égal à la pression d'une colonne de mercure de $750^{m}06$ de hauteur, donc, à très peu de chose près, à la pression barométrique moyenne. Les météorologistes ont donc assez mauvaise grâce à lui faire si pauvre accueil. Leurs préférences iraient-elles à une graduation barométrique universelle en pouces anglais ?

Sur la *Weather Map* les isobares sont tracés en noir, et de plus, innovation heureuse, les centres cycloniques et anticycloniques portent en grands caractères les indications respectives « low » et « high », en sorte que l'on peut juger d'un coup d'œil rapide de la répartition des cratères et des protubérances atmosphériques, comme aussi, par le gradient, de la déclivité des surfaces isobares qui forment leurs flancs et sur lesquelles glisse le vent.

Les isothermes sont tracés en rouge et gradués à l'échelle des *températures absolues* (graduation centigrade augmentée de

273 degrés). Nous ne devinons pas l'avantage qui résulte de cet emploi, inspiré sans doute par un souci de purisme scientifique. Peut-être pourtant a-t-on voulu éviter les températures négatives ; mais l'avantage n'est-il pas neutralisé par l'inconvénient d'avoir à considérer toujours des nombres de trois chiffres ?

En tout cas il faut savoir gré aux dirigeants du service américain, d'avoir voulu faire œuvre scientifique internationale en sacrifiant leurs unités locales pour adopter des unités peu usitées, il est vrai, par le commun des mortels, mais avec lesquelles les hommes de science sont familiarisés sous toutes les latitudes et à toute distance du méridien de Washington.

Dans un coin de la carte nous pouvons lire le tableau des éléments météorologiques ; pression, température, direction et vitesse du vent, nébulosité et précipitations atmosphériques, recueillis par 42 stations non-américaines, réparties sur toute la surface du globe.

Ce bulletin météorologique porte donc à ses lecteurs, sous une forme très intuitive, quantité de renseignements météorologiques intéressants. Nous ignorons quel est le tirage du bulletin. Il se chiffre probablement par dizaines de mille, et les journaux américains le reproduisent chaque jour sous format réduit. Nous savons en tout cas qu'on le rencontre partout aux États-Unis ; il est affiché dans les moindres gares, dans les « parlours » de tous les hôtels, dans les ascenseurs publics, etc. ; et il y a ses lecteurs assidus et attentifs. Gageons pourtant que leurs regards sont attirés surtout par le tableau des « prévisions ». C'est de ce sujet qu'il nous faut dire un mot.

Il y a d'abord des prévisions générales, faites pour un jour, qui s'étendent à tout le territoire des États-Unis ; elles annoncent les déplacements des centres cycloniques, leur aggravation ou leur résorption, et donnent une vue d'ensemble sur l'état de l'atmosphère au-dessus du continent américain. Viennent ensuite des prévisions locales, faites séparément pour 36 États différents. Dans la durée elles ont une portée tantôt d'un jour, tantôt de deux et parfois de plus encore.

Nous ignorons quelles règles président à l'établissement de ces pronostics. Nous savons seulement qu'on enregistre en moyenne 85 % de succès, dont quelques-uns semblent au non-initié tenir du prodige. En particulier, comme les troubles atmosphériques se déplacent presque toujours de l'ouest à l'est, les prévisions pour les régions orientales du vaste territoire sont rarement

trouvées en défaut, car elles sont basées sur les observations recueillies dans les États de l'Ouest en amont du courant des dépressions. La proportion des prévisions exactes y est de 92 %.

Les prévisions météorologiques sont transmises chaque jour à 10 heures du matin des centres de district à 2059 points principaux, chargés de les disséminer à leur tour. De plus, les 5460000 abonnés du réseau téléphonique américain en reçoivent communication orale sur simple demande adressée au bureau central téléphonique de leur section.

Outre le service des prévisions générales, le *Weather Bureau* a organisé une série de services de prévisions spéciaux répondant à des nécessités locales ou aux besoins de telle ou telle industrie. Citons d'abord les prévisions de tempêtes. Les avis sont dirigés par télégraphe sur plus de 200 stations côtières, qui les transmettent à leur tour par signalisation optique ou par T. S. F. aux navires de la rade, lesquels se chargent de les faire passer de proche en proche jusqu'aux navires du large.

Les prévisions des crues sont faites par 17 bureaux centraux, soit d'une manière continue, soit par intermittence. Elles se font journellement et signalent généralement les crues une semaine à l'avance.

Dans les territoires producteurs de fruits, où l'on doit en assurer la dessiccation au soleil, la prévision des pluies est d'une souveraine importance, car il suffit parfois d'une pluie importante pour ruiner la plupart des planteurs. Dans ces mêmes régions les gelées tardives ne sont pas moins désastreuses. On parvient généralement à les annoncer 12 ou 24 heures à l'avance. Quand la gelée menace, les bureaux régionaux du service météorologique restent ouverts toute la nuit et reçoivent par le téléphone tous les renseignements relatifs au déplacement des courants atmosphériques. A l'approche d'une vague de froid, le cultivateur est averti par télégraphe ou téléphone de tenir prêts ses foyers d'huile lourde, qui, convenablement disposés dans les champs, pourront pendant la nuit couvrir les vergers d'une épaisse couche de fumée et protéger ainsi les plantations contre le refroidissement dû au rayonnement nocturne. Vers le soir, le bureau régional transmet, s'il y a lieu, l'avis d'allumer les feux.

Des services analogues fonctionnent dans les régions cotonnières où des bulletins journaliers de prévisions sont distribués à profusion.

Le service climatologique édite le *Monthly Weather Review* contenant les observations climatériques moyennes du mois écoulé ; températures maxima et minima, moyennes diverses, pluies et neiges, orages, nébnlosité du ciel, direction dominante du vent. La revue publie en outre de nombreux documents statistiques, suivis de notices ayant souvent rapport à l'utilisation industrielle des agents naturels, eaux d'irrigation, chutes d'eau, etc.

Pendant la période d'hiver, paraît tous les mardis le *Snow and Ice Bulletin*. Une carte du pays porte la limite des neiges, l'épaisseur de cette dernière, et celle de la glace sur les rivières et sur les lacs.

Enfin, la section nautique du *Weather Bureau* édite journellement les *Meteorological Charts* des océans. Ces cartes fournissent aux navigateurs les plus précieuses indications concernant la distribution des courants aériens, de la température, leurs variations probables, les zones à icebergs, etc. Les routes marines les plus avantageuses, étant donnée la distribution des vents, sont indiquées aux voiliers ainsi que les moyens de se dégager des vents dangereux ou de les éviter. En les suivant, les navires à voiles abrègent souvent de 50 % la durée de la traversée, et les indications sont si sûres que pour la traversée de l'Atlantique, par exemple, les armateurs peuvent compter actuellement en tout temps sur une vitesse commerciale moyenne de 7 à 8 nœuds à l'heure.

Le résumé, trop succinct peut-être, que nous venons de mettre sous les yeux du lecteur, est cependant de nature à lui donner une idée approximative de la libéralité prodigieuse du *Weather Bureau* dans la diffusion des connaissances météorologiques et des prévisions ; mais il est naturel et légitime de se demander si cette magnifique activité a un but précis et sérieux, et dans quelle mesure elle parvient à le réaliser en fait.

N'insistons pas, c'est évidemment inutile, sur le côté purement scientifique de l'action exercée par le *Weather Bureau* ; elle a pour effet nécessaire d'abord d'intéresser de plus en plus le public aux problèmes à la fois si attrayants et si déconcertants de la dynamique atmosphérique ; ensuite, la multitude des matériaux accumulés permet de temps en temps de discerner quelque loi nouvelle générale ou particulière de la physique de l'atmosphère, autant de rayons qui, un à un, finiront par dissiper les ténèbres et les mystères de l'aérologie. C'est ainsi, par exemple, que le trajet des grandes vagues de froid se formant dans

les régions du nord-ouest de l'Union et celui des vagues du sud qu'on appelle « Northers » du Texas, est déjà fort bien connu et que l'on commence à démêler les causes de leur formation. On a pu établir aussi que des variations brusques de pression sur le Pacifique, à hauteur des îles Hawaï, entraînent cinq ou six jours plus tard certains mouvements cycloniques sur la côte occidentale de l'Amérique. Les déplacements de ces cyclones au dessus du continent se font à la vitesse de 15 à 18 nœuds à l'heure et dépendent, suivant des lois que l'on est parvenu à formuler d'une manière déjà très précise, de la distribution préalable des pressions sur le continent.

Tout grand qu'il soit, cet intérêt évident de la diffusion des connaissances météorologiques, assurée par les soins du *Weather Bureau*, lè cède peut-être encore à l'intérêt économique de ses « prévisions ». L'habitant de la vieille et traditionnelle Europe a peine à concevoir l'influence d'un facteur comme la prévision de la pluie ou du beau temps sur les entreprises d'ordre économique. Cela tient d'abord, sans doute, à ce que les exploitations agricoles n'ont pas chez nous l'étendue et l'homogénéité qu'elles ont en Amérique. Si, dans nos contrées, la pluie ou la sécheresse dévastent une récolte, il arrivera presque toujours que les mêmes conditions auront été favorables, au contraire, à la culture de l'exploitation voisine, généralement différente de la première; si bien que les plaintes d'un producteur se trouvent pratiquement compensées par la satisfaction de son voisin. Il n'en est pas de même aux États-Unis, où des régions immenses sont exclusivement consacrées à une même culture et où la pluie et le beau temps font souvent la ruine générale ou la prospérité. Un autre motif de notre inertie européenne est le scepticisme avec lequel nous accueillons trop souvent les prévisions des météorologistes. Ceci tient un peu, il est vrai, à la météorologie européenne elle-même, qui s'éveille à grand'peine du sommeil de la routine et qui manque d'esprit d'organisation et d'ensemble.

Citons quelques exemples de l'importance économique d'un service de prévisions sérieux et des avantages qui en rejaillissent à la fois sur le commerce, sur l'industrie et sur la navigation.

En 1897, les riverains du Bas-Mississipi, prévenus environ une semaine à l'avance de la crue du fleuve, purent sauver de l'inondation environ 75 millions de francs de bétail et de récoltes. Les entreprises de navigation, de flottage des bois, les

installations hydrauliques de force motrice le long des rivières, recourent à chaque instant aux prévisions du *Weather Bureau* avant d'accepter une entreprise ou de signer un contrat. Les compagnies de chemins de fer n'organisent leurs expéditions en masse de marchandises sensibles comme les fruits et le poisson, exposées à être gâtées par quelques heures d'insolation, que d'après les indications du service du bureau météorologique. Les expéditeurs d'œufs et les brasseurs mettent aussi à profit l'annonce des vagues de froid pour faire leurs envois. A Saint-Louis, centre cotonnier, la Bourse ne commence ses travaux qu'après la réception du Bulletin du Ministère de l'Agriculture.

Dans les régions fructifères de la Californie, le succès d'une récolte dépend presque uniquement du bureau central voisin et de l'exactitude de ses informations. On estime à 160 millions les pertes évitées en cinq ans aux planteurs de Californie par le seul bureau de San Francisco. Rien qu'en 1910, la Californie a pu sauver, grâce aux prévisions météorologiques, pour 200 millions de fruits. En Floride, l'annonce d'une tempête a fait sauver en une nuit, par une cueillette hâtive, 500 000 francs de fraises. La prévision d'une vague de froid s'abattant sur les côtes du Mexique a épargné plus de 15 millions de francs.

Il est impossible d'évaluer le nombre de désastres maritimes évités grâce aux renseignements sur la marche des cyclones communiqués aux navires en partance. Enfin l'essor nouveau pris en ces derniers temps par la navigation à la voile est dû en grande partie à la sécurité et à la régularité de marche des navires qui résultent de la prévision des conditions météorologiques et du régime des vents, soit normal, soit troublé, à la surface des océans.

L'œuvre entreprise par le *Weather Bureau* est donc aussi bienfaisante qu'elle est immense. Elle a pu se réaliser grâce à l'unité de vues qui groupe tous les États de l'union. Elle laisse loin derrière elle, les institutions météorologiques européennes, confinées, par la force des choses, à l'intérieur d'étroites frontières, hélas ! trop jalousement gardées.

Souhaitons voir se réaliser un jour une entente plus complète des institutions météorologiques européennes en vue de la constitution d'un *Weather Bureau européen*, pendant de la magnifique organisation trans-atlantique !

W. T.

ASTRONOMIE

Les Hypothèses cosmogoniques modernes. — Ce n'est point une cosmogonie nouvelle que nous propose M. Véronnet dans la REVUE DE PHILOSOPHIE (1), mais une étude sur les cosmogonies. Son étude relève des *Leçons sur les Hypothèses cosmogoniques* de H. Poincaré, qu'elle tend à compléter.

« Poincaré était trop mathématicien, écrit M. Véronnet, pour se contenter de l'â peu près dans la solution du problème (cosmogonique), et ici ce ne sont guère que des aperçus plus ou moins plausibles qui nous sont permis. Aussi Poincaré s'est-il cantonné fort sagement dans un rôle de critique. Il a déblayé ainsi le terrain de toutes les constructions caduques, en ne laissant que les parties solides sur lesquelles on pourra désormais essayer de construire.

» Qu'il me soit permis ici d'exprimer un regret. C'est que les exigences d'un cours de mathématique (2) n'aient peut-être pas permis à H. Poincaré de donner le même développement aux conditions physiques des problèmes et aux objections que l'on peut en tirer contre certaines hypothèses, comme celle de Laplace en particulier, ou certains détails de ces hypothèses. » Le but de M. Véronnet est de combler cette lacune, de « compléter la critique mathématique des hypothèses par l'étude scientifique de leurs conditions physiques. »

En outre, il lui a paru que Poincaré n'avait pas donné « à l'hypothèse de Kant, la première en date et celle qui contient tous les éléments essentiels de la solution, le développement que son importance semblait lui valoir. » Pour M. Véronnet Kant ne fut pas seulement un « précurseur », son œuvre n'a pas uniquement aujourd'hui une valeur historique, « elle mérite de rester et d'être plus connue ».

(1) Avril 1913-janvier 1914. Tiré à part : *Les Hypothèses cosmogoniques modernes*, par Alex. Véronnet, docteur en sciences. Un vol. in-8° de 171 pages. — Paris, A. Hermann et Fils, 1914.

(2) Les *Leçons* de Poincaré reproduisent son cours de Mécanique Céleste à la Sorbonne, en 1911.

Cinq chapitres se partagent le livre de M. Véronnet. Dans le premier, intitulé *Les données du problème*, il rappelle les lois de Képler, le principe de l'attraction universelle et « les trois quantités invariables ou indépendantes de toute hypothèse : la masse totale, le moment de rotation, l'énergie de condensation, ou l'énergie dépensée ».

Le second chapitre est consacré à un ample exposé de l'*hypothèse de Kant*, « précurseur de Laplace sur beaucoup de points ».

Vient ensuite, dans le troisième chapitre, l'*hypothèse de Laplace*. « L'étude scientifique (de cette hypothèse) n'a été faite qu'après lui » ; ses défenseurs « ont dû la corriger sur des points essentiels. Les corrections dans ce qu'elles ont de bon, la rapprochent de celle de Kant. »

Les *autres hypothèses*, celles de Faye, du Colonel du Ligondès, de M. Belot, de M. See et de Darwin sont brièvement exposées dans le chapitre quatrième.

Enfin, le dernier chapitre aborde l'*évolution du Soleil et de la Terre* : Condensation d'une nébuleuse cosmique. Histoire spéciale du Soleil. Histoire de la Terre et de sa chaleur. Évolution des étoiles et des nébuleuses.

On le voit, c'est le problème cosmogonique général, qui est ici envisagé, du moins dans ses grandes lignes ; l'auteur n'a pas la prétention de l'épuiser. S'inspirant d'un sage éclectisme, il a choisi dans les différents systèmes, et cherché à grouper les éléments qui lui ont paru les plus solides, et les conjectures les plus vraisemblables à ses yeux. Voici ses conclusions ; nous nous bornons à les transcrire.

« Dans cette critique des hypothèses cosmogoniques modernes, je me suis efforcé d'abord de résumer et de mettre en relief les résultats du magistral travail de Poincaré, pour bien montrer les limites qu'il avait tracées à la probabilité de ces différentes hypothèses et de leurs lignes principales. On m'excusera d'avoir essayé, en certains points de détail, d'y ajouter l'œuvre d'un modeste calculateur plutôt que mathématicien. Ces calculs pratiques et simples n'ont aucune prétention, sinon celle de préciser, par des chiffres réels, les résultats des formules mathématiques. On peut ainsi se rendre compte d'une façon plus nette de l'importance relative de tel ou tel phénomène, de l'influence de telles ou telles conditions physiques.

» Ceci est surtout frappant dans l'histoire spéciale du Soleil et de la Terre étudiée dans le dernier chapitre. Par exemple, le

refroidissement d'un astre est certainement retardé par le travail de contraction qui se produit quand il diminue de volume, travail qui se transforme en chaleur. Mais, pour la Terre, ce travail est insignifiant et ne régénère pas le dixième de la chaleur perdue par refroidissement. Pour le Soleil au contraire, en égard à sa masse, ce travail est énorme. Il fournit, non pas les $\frac{9}{10}$, mais les $\frac{999}{1000}$ de la chaleur perdue par son rayonnement. Le refroidissement demande 1000 fois plus de temps, et ce phénomène suffit pour expliquer la conservation de sa chaleur pendant des millions d'années.

» C'est ainsi encore que le calcul montre comment la nébuleuse gazeuse et chaude de Laplace était impossible, car les éléments qui ont donné naissance à la Terre exigeraient une température d'au moins 3000° pour se maintenir à l'état gazeux. Or l'astre central ne pouvait fournir la quantité de chaleur nécessaire sans perdre, en quelques années seulement, toute l'énergie que sa condensation a pu lui fournir depuis l'origine.

» Si nous parcourons maintenant d'un coup d'œil rapide le double travail accompli, nous pouvons résumer ainsi qu'il suit les différentes idées à conserver, les grouper en un tout assez cohérent dans sa généralité, et mettre dès lors en relief la part contributive de chaque auteur dans *l'essai provisoire*, qui semble actuellement rendre le mieux compte de l'origine de notre univers, si grandiose dans son admirable et si simple organisation.

» Comme point de départ, nous adopterons nécessairement la nébuleuse primitive de Kant. Nous supposerons toute la matière qui forme actuellement le Soleil, les planètes et les étoiles disséminée dans l'espace occupé par ces astres. La densité est tellement faible que les molécules élémentaires n'exercent aucune action directe les unes sur les autres, aucune pression. Nous n'avons pas un gaz, mais une poussière d'éléments. Toute la nébuleuse est froide, absolument froide, au zéro absolu. Ces molécules ne sont soumises qu'à une seule force, l'attraction (1).

(1) « Ces molécules sont elles-mêmes des systèmes très complexes, plus complexes peut-être que nos systèmes stellaires, et dont la formation par voie d'évolution a peut-être été encore plus longue. Mais nous manquons d'éléments pour l'étude vraiment scientifique de cette évolution, que Crookes a essayé de retracer. Nous prenons donc, faute de mieux, les molécules toutes formées, plongées dans le milieu d'électrons répulsifs, en équilibre et immobiles, qui leur a donné naissance, et que nous appelons l'éther, transmetteur général des ondes lumineuses, calorifiques, électriques, etc. »

Chacune d'elles attire toutes les autres et est attirée par toutes. Enfin toutes ces molécules sont au repos. Il est inutile du moins de leur supposer un mouvement quelconque, de leur donner une vitesse déterminée, dans une direction déterminée. La matière et son attraction, voilà les seuls éléments dont nous avons besoin, pour expliquer tous les mouvements et toutes les formations ultérieurs.

» Nous n'admettons pas de limite pour notre nébuleuse. Nous ne lui donnerons aucune forme spéciale. Nous admettons seulement qu'il s'y trouve, de loin en loin, des régions où la densité est plus forte que la moyenne, d'autres où elle est moindre. Que la différence soit excessivement faible, peu importe. Le temps seul en sera accru. Les régions à faible densité seront des zones de déchirure, les régions à forte densité des centres d'attraction prépondérante, c'est-à-dire des centres de condensation, germes des étoiles futures.

» Chacun de ces centres, par son attraction, fait le vide autour de lui, en absorbant peu à peu les molécules de sa région. Alors se dessinent les nébuleuses particulières qui donneront les étoiles, les amas stellaires se séparent, les voies lactées se différencient. De plus, chacun de ces centres agit sur tous les autres. Si l'amas stellaire n'est pas absolument sphérique, le mouvement de chacun d'eux se traduira par une rotation complexe autour du centre de l'amas, comme dans la condensation d'un ellipsoïde, par exemple. Il en sera de même pour le mouvement des amas stellaires à l'intérieur de la Voie lactée (1).

» Il en sera de même également pour les molécules des nébuleuses particulières. Attirées par leur centre, qui lui-même se déplace, elles transforment leur trajectoire presque rectiligne en une trajectoire curviligne. Ces divers mouvements de rotation se combinent, pour chaque nébuleuse, en un mouvement de rotation unique, tel que le moment de rotation total de toutes les nébuleuses soit nul.

» Mais des centres de condensation plus faibles se sont également formés à l'intérieur de chaque nébuleuse particulière, pendant sa condensation. Ils tendaient vers le centre suivant des trajectoires allongées, comme les autres éléments de la nébu-

(1) « L'étude des trajectoires des molécules ou des étoiles formant un ellipsoïde homogène, est due au Colonel du Ligondès. — Au moment du maximum de concentration en disque, comme la Voie lactée actuellement, les étoiles seraient beaucoup plus rapprochées les unes des autres qu'à l'origine. »

leuse, comme nos comètes actuelles. En arrivant vers le centre, ils ont rencontré le milieu résistant de la nébuleuse plus dense, ce qui a eu pour effet de les rapprocher du centre et de rendre leur trajectoire à peu près circulaire. La démonstration de ce fait est due à Faye et à See. Telle est l'origine de la formation des planètes.

» A leur tour, elles donnèrent naissance à leurs satellites et de la même manière. Ceux-ci durent se former en effet à l'intérieur de la nébuleuse de la planète, comme celle-ci à l'intérieur de la nébuleuse solaire. Les satellites rétrogrades, cependant, durent être captés (Poincaré), mais avant que la planète fut complètement condensée, alors que sa nébuleuse offrait un milieu suffisamment résistant. Nous n'avons nul besoin des anneaux de Laplace, qui ne pourraient ni se former ni se concentrer, comme on l'a vu.

» Nous avons vu également que la rotation des planètes pourrait être directe ou rétrograde, aussi bien dans le cas de Laplace que dans celui de Faye, suivant le point où se forme le centre de condensation. En tout cas, Faye a suffisamment expliqué la rotation rétrograde des planètes extérieures, en admettant qu'elles se sont formées à l'extérieur de la nébuleuse, et la rotation directe des autres formées à l'intérieur. Avec la formation des planètes indiquées plus haut l'explication est simple. C'est la résistance du milieu qui a rendu leurs orbites circulaires. Or cette résistance était plus grande vers l'intérieur à cause de la densité croissante. De là la rotation directe de la nébuleuse planétaire et de la planète, avec exception possible pour les plus éloignées, dont nous ne connaissons pas le sens de la rotation.

» L'anneau de Saturne s'est formé, comme l'explique Kant, des éléments de l'équateur de la planète encore liquide, quand, par la contraction, la force centrifuge est arrivée à contrebalancer la pesanteur. On doit à Laplace l'idée fondamentale que la contraction augmente la vitesse de rotation et par conséquent la force centrifuge. Si la Lune nous tourne toujours la même face, c'est que le frottement dû aux marées produites par la Terre sur la Lune, a rivé les deux rotations l'une à l'autre (Kant). Il ne semble pas que cette action des marées, généralisée par Darwin, ait exercé une autre action cosmogonique appréciable.

» Les comètes se sont formées à la périphérie de la nébuleuse solaire, ou plutôt ce sont des lambeaux chaotiques qui se sont

détachés tardivement des régions où l'attraction de deux centres tendait à se faire équilibre. Ainsi retardés, ils sont venus effectuer leur premier virage autour du Soleil, quand la nébuleuse était déjà condensée. Ils ont rencontré un milieu vide sans résistance, et conservé la même trajectoire allongée.

» On peut admettre également qu'un immense lambeau, resté suspendu entre deux centres d'attraction, a fini par être attiré par l'un d'eux, pour pénétrer dans sa nébuleuse en produisant des traînées en spirales, puis finalement par donner naissance aux planètes. Ce serait un rajournissement de la vieille hypothèse de Buffon, expliquant les planètes par l'action d'une comète qui serait venue frôler la surface du Soleil.

» Nous n'avons indiqué que les grandes lignes de la formation du monde et des mondes. La plupart de ces grandes lignes, pour ne pas dire toutes, avaient déjà été tracées magistralement par Kant. Il suffisait de les remettre au point. Il a donné, en effet, de la genèse des astres, à partir de la nébuleuse primitive, également de lui, une vue d'ensemble qui est encore extrêmement satisfaisante, comme on vient de le voir. Il a essayé d'expliquer les mouvements de concentration et de rotation par la seule attraction. Aucun autre après lui ne l'a même tenté. En tout cas son hypothèse est incomparablement plus simple et plus générale que la nébuleuse de Laplace avec son Soleil déjà condensé, son mouvement de rotation déjà acquis on ne sait comment et finalement les fameux anneaux qui seraient restés éternellement des anneaux, comme ceux de Saturne, c'est-à-dire des essais plus ou moins denses de planètes télescopiques, sans jamais donner naissance à de vraies planètes.

» Il semble bien, comme le remarque Poincaré quelque part, qu'il soit téméraire pour le moment de vouloir pousser plus loin les essais d'explication, d'essayer de rendre compte de plus de détails, de la masse ou de la densité des planètes, de l'inclinaison de leurs axes de rotation ou des plans de leurs orbites. Il faut signaler toutefois les formules remarquablement précises sur quelques-uns de ces points, que Belot a déduites de son hypothèse, la pénétration d'un tube tourbillon dans une nébuleuse amorphe. Il semble qu'on obtiendrait plus facilement et de façon plus plausible les mêmes formules par la pénétration d'un lambeau périphérique à l'intérieur d'une nébuleuse, avec épanouissement en éventail dans le plan de l'écliptique, suivant l'hypothèse indiquée plus haut. En tout cas, ces formules, qui resteront, doivent être une base de recherches pour l'avenir. »

Je laisse au lecteur le soin de peser ces conclusions qui, sous leur simplicité apparente couvrent maints problèmes bien embarrassants.

M. Alex. Véronnet ne parle pas, dans son étude, de William Herschel ; la raison en est évidente : l'illustre astronome anglais, qui a tant observé le ciel, ne nous a pas donné, à proprement parler, d'hypothèse cosmogonique. Mais il a ajouté à ses découvertes les remarques suggestives sur la genèse et l'évolution des amas d'étoiles et des nébuleuses. Ses idées sont dispersées dans ses nombreux mémoires des *PHILOSOPHICAL TRANSACTIONS*, et c'est à cela, sans doute, qu'elles doivent de n'avoir pas retenu l'attention.

M. C. J. G. See étudia les mémoires de W. Herschel en 1909, au moment de terminer le second volume de ses *Researches on the Evolution of the stellar Systems*, 1910. Il les a trouvés très importants pour l'étude de l'évolution céleste ; il s'en est inspiré et, par les développements qu'il leur a donnés, il en a tiré un parti excellent. On lira avec intérêt l'article *The law of nature in celestial evolution* que l'astronome américain a publié sur ce sujet dans la revue *SCIENTIA* I, III, 1914, pp. 169-186. Voici les différents paragraphes qui se partagent cet article :

I. L'étude des amas d'étoiles conduit à la loi fondamentale de l'évolution sidérale. — II. Les vues d'Herschel auraient dû être préférées à celles de Laplace. — III. Idées d'Herschel sur l'origine des amas. — IV. La méthode d'Herschel pour la détermination de l'âge d'un amas. — V. La théorie d'Herschel-See de la capture des étoiles grâce au pouvoir de la gravitation universelle de former des amas. — VI. Le phénomène de la capture produit aussi l'arrangement de la structure interne d'une nébuleuse en couches concentriques d'éclat uniforme. — VII. La lumière des nébuleuses est due en partie à la luminescence à basse température, comme dans les décharges électriques dans le vide. — VIII. La théorie de la capture dans l'évolution sidérale est essentiellement un développement des idées d'Herschel. — IX. Les conceptions cosmogoniques d'Herschel négligées à cause de la plus grande accessibilité des œuvres de Laplace. — X. Le récent mouvement pour la réédition des œuvres complètes d'Herschel. — XI. Liste succincte des principales autorités en cosmogonie destinée à faciliter l'étude de celle-ci. — XII. Les systèmes sidéraux sont mis à l'abri de la force destructive provenant de la gravité par l'action des forces projectives.

L'exposé de M. See n'est ni très didactique, ni très clair ; mais le désir qu'il éveille de lire les mémoires d'Herschel est excellent : on y trouvera plaisir et profit.

Ce que l'on disait du mouvement de la Terre au XIV^e siècle (1). — « Les historiens de la science et ceux de la philosophie ont trop longtemps représenté le moyen âge, faute de l'avoir étudié, comme une ère d'indifférence scientifique, comme une abdication de la raison humaine, comme une longue nuit sans étoiles... »

« Les admirables études historiques de M. Duhem (2) sont venues, au prix d'un inlassable labeur, faire justice de cette légende... C'est, pour toute une époque, l'histoire des origines scientifiques et des théories philosophiques entièrement renouvelée ».

Copernic, Galilée et même Léonard de Vinci ont eu, au XIV^e siècle, surtout au sein de l'Université de Paris, des « précurseurs » de grand mérite.

« Au premier rang, parmi ces bons ouvriers, M. Duhem a très justement distingué : Jean Buridan, l'inspirateur de Léonard de Vinci et de Galilée, l'un des fondateurs authentiques de la dynamique moderne ; Nicole Oresme qui près de deux siècles avant Copernic, soutient avec une inébranlable fermeté la possibilité de la rotation de la terre, et qui, trois siècles avant Descartes, imagine et applique la théorie des coordonnées.

» Malheureusement, poursuit le R. P. Bulliot, leurs écrits sont presque introuvables. Quelques rares exemplaires des œuvres imprimées, jalousement conservés par les grandes bibliothèques ; pour le reste, c'est-à-dire pour une part très considérable, encore inédite, des manuscrits en petit nombre, dispersés par toute l'Europe : et c'est tout. Pour remédier, dans la faible mesure de nos forces, à cette extrême pénurie, pour faciliter aux maîtres de l'enseignement chrétien, ainsi qu'aux érudits,

(1) J. Bulliot, *Jean Buridan et le mouvement de la Terre, question 22^e du second livre du « De Celo »* ; dans la REVUE DE PHILOSOPHIE, XIV^e année, n^o 7, 1 juillet 1914, pp. 5-24.

(2) *Les Origines de la Statique*, dans la REVUE DES QUESTIONS SCIENT., octobre 1903 à juillet 1906 ; tirés à part, 2 vol., Paris, A. Hermann. — *Études sur Léonard de Vinci*, 3 vol., Paris, A. Hermann, 1906-1913. — *Le Système du Monde*, 2 vol. parus, Paris, A. Hermann, 1913-1914. — *Articles sur le Mouvement absolu et le Mouvement relatif, sur le Temps et le Mouvement chez les Scolastiques*, dans la REVUE DE PHILOSOPHIE, etc.

curieux des origines de nos sciences, l'accès de cette scolastique inconnue, nous avons projeté de commencer à partir d'octobre prochain, avec l'aide d'un collaborateur également dévoué à leur mémoire, la publication des œuvres les plus importantes d'Oresme et de Buridan.

» Nous offrons aujourd'hui aux lecteurs de la REVUE DE PHILOSOPHIE la primauté d'un des chapitres les plus curieux d'un commentaire inédit du *De Cælo*. Buridan y traite avec ampleur la question, déjà très débattue de son temps, du mouvement de la terre. Il y prend encore parti, il est vrai, pour l'immobilité relative de la terre, à cause des nombreuses attaches de cette thèse avec l'ensemble de l'aristotélisme ; mais du moins est-il loin de méconnaître la valeur des raisons qui militent en faveur de la thèse opposée.

» Cette discussion d'ailleurs met en lumière un fait historique de haute importance déjà signalé par M. Duhem. Elle montre combien, au milieu du XIV^e siècle, le problème du mouvement de la terre était ardemment et librement discuté par des hommes d'Église au sein et autour de l'Université de Paris. »

Nous empruntons à Buridan les passages suivants :

Contre l'immobilité de la terre, dit-il, on argumente ainsi — suivent quatre raisons *à priori*. — Le problème est ardu, poursuit-il. Il y a, en effet, plusieurs difficultés sérieuses — il en propose brièvement trois, et insiste sur la quatrième :

4^e Enfin la théorie d'après laquelle la terre se meut en cercle autour de son centre et sur ses propres pôles, peut-elle se concilier avec les phénomènes que nous percevons ? Et c'est cette dernière question que nous allons discuter.

Beaucoup ont tenu pour probable qu'on peut, sans contredire à nos perceptions, admettre que la terre se meut ainsi en cercle ; que si l'on désigne une partie quelconque de la terre, cette partie achève chaque jour une révolution qui part de l'occident pour aller à l'orient, et revenir à l'occident. Dès lors il faudrait admettre aussi que la sphère des étoiles est immobile : c'est le mouvement de la terre qui nous donnerait le jour et la nuit, et constituerait le mouvement diurne. Notre cas serait pareil à celui d'un navigateur qui, sur son vaisseau en marche, se croirait immobile, et attribuerait le mouvement à un autre vaisseau, réellement en repos : car pour l'œil de l'observateur, l'impression est la même, quel que soit celui des deux navires qui se meut. Ainsi, supposé que la terre, en nous portant, tourne

autour du soleil, sans aucun doute le soleil se lèverait et se coucherait pour nous tout aussi bien que si nous sommes immobiles et le soleil en mouvement.

Cependant, si cette sphère des étoiles est immobile, il faut absolument accorder que les sphères des planètes sont en mouvement ; car autrement les planètes ne changeraient pas de position les unes par rapport aux autres et relativement aux étoiles fixes. Aussi a-t-on émis l'hypothèse que toute sphère planétaire se meut comme la terre, de l'occident à l'orient ; mais, comme le cercle de la terre est plus petit, son mouvement circulaire s'achève en moins de temps ; de même la lune met moins de temps que le soleil à parfaire son cercle, et ainsi de suite ; de telle sorte que la révolution de la terre s'opère en un jour naturel, celle de la lune en un mois, celle du soleil en un an. Il est incontestable que si les choses se passaient ainsi, notre perception du ciel serait quand même exactement ce qu'elle est.

Ceux qui soutiennent cette opinion ajoutent en sa faveur — peut-être pour le plaisir de discuter — quelques raisons de convenance — Buridan en cite cinq, puis il conclut :

Et cependant cette théorie n'est pas acceptable, d'abord parce qu'elle a contre elle l'autorité d'Aristote et de tous les astronomes. Il est vrai que ses défenseurs répondent : l'autorité ne fait pas preuve ; et d'ailleurs il suffit aux astronomes de sauver les apparences, qu'elles correspondent ou non à la réalité ; comme elles se trouvent sauvegardées dans les deux théories, ils peuvent choisir à leur gré.

D'autres raisonnent ainsi d'après les témoignages de nos sens : D'abord les sens nous attestent que les étoiles se meuvent de l'orient à l'occident. — On leur répond que l'apparence serait la même si les étoiles étaient immobiles et la terre en mouvement de l'occident à l'orient.

D'autre part, disent-ils, il semble que si la terre était animée d'un mouvement très rapide, nous devrions sentir une violente résistance de l'air, tout comme le cavalier sur son cheval qui l'emporte dans une course rapide. — Mais on leur réplique que la terre, et l'eau, et l'air des régions inférieures sont entraînés ensemble dans le mouvement diurne, ce qui suffit à expliquer pourquoi nous n'éprouvons pas la résistance de l'air.

Suivant les données de nos sens, le mouvement local produit de la chaleur ; si la terre se mouvait rapidement, elle devrait s'échauffer rapidement, et nous avec elle. — On répond que le

mouvement n'échauffe que par le frottement des corps, ou par leur broiement ou par leur désagrégation, ce qui n'a pas lieu dans l'espèce, puisque l'air, l'eau et la terre se meuvent tous ensemble.

Enfin un dernier phénomène, signalé par Aristote, est plus démonstratif : la flèche lancée verticalement par l'arc retombe ensuite au même lieu de la terre d'où elle est partie ; il n'en serait pas ainsi si la terre se mouvait avec tant de rapidité, mais avant la chute de la flèche, la partie de la terre d'où elle a été lancée se trouverait transportée à une lieue de distance. — Là encore on veut répondre qu'il en est ainsi parce que l'air, entraîné dans le même mouvement que la terre, emporte la flèche avec lui, quoique la flèche, à en juger par notre perception, ne paraisse animée que d'un mouvement vertical, le mouvement qu'elle partage avec l'air n'étant pas perceptible.

Mais cette échappatoire est insuffisante, car le violent élan ascensionnel de la flèche opposerait une résistance au mouvement latéral de l'air, de telle sorte que sa propre translation latérale serait moindre que celle de l'air ; de même que par un vent violent, une flèche lancée par l'arc n'est entraînée dans le mouvement latéral de l'air qu'avec une vitesse inférieure à celle du vent.

Ici, remarque le R. P. Bulliot, Buridan aurait sans doute conclu tout autrement s'il avait su utiliser ce qu'il a si clairement formulé lui-même dans les passages suivants de sa *Physique* : « Tandis que le moteur meut le mobile, il lui imprime un certain *impetus*, une certaine puissance capable de mouvoir ce mobile dans la direction même où le moteur meut le mobile, que ce soit vers le haut, ou vers le bas, ou de côté, ou circulairement... On pourrait dire que Dieu, lorsqu'il a créé le monde, a mù comme il lui a plu chacun des orbes célestes ; il a imprimé à chacun d'eux un *impetus* qui le meut depuis lors... Ces *impetus*, que Dieu a imprimés aux corps célestes, ne se sont pas affaiblis ni détruits dans la suite du temps, parce qu'il n'y avait en ces corps célestes, aucune inclination vers d'autres mouvements, et qu'il n'y avait non plus aucune résistance qui pût corrompre et réprimer ces *impetus* (1). »

A cette *expérience* (cum ista experientia), poursuit Buridan,

(1) *Questiones octavi libri physicorum, duodecima questio*. Cité et traduit par M. Duhem, dans *Études sur Léonard de Vinci*, III^e série : *Les précurseurs parisiens de Galilée*, Paris, A. Hermann, 1913, p. 42.

joignez quelques raisons probables. Il en donne deux, répond aux arguments des partisans du mouvement de la Terre, et examine les difficultés qu'ils opposent à l'opinion contraire. Manifestement, c'est « l'expérience » de la flèche surtout qui le fait pencher vers l'immobilité de la Terre.

Nicole Oresme, contemporain de Buridan, avec qui il était en relation, fut plus clairvoyant (1). Il avait composé en français, un *Traicté de l'Espère* (de la Sphère), quand « très excellent Prince Charles Quint de ce nom, par la grâce de Dieu Roy de France », le chargea de traduire et de commenter quelques-uns des écrits d'Aristote. Il donna, entre autres traités qui furent imprimés au XVI^e siècle, la traduction, avec commentaires, des quatre livres *Du Ciel et du Monde* d'Aristote; cette traduction n'a pas été imprimée, mais on en possède diverses copies manuscrites.

Au second livre du *De Coelo*, Aristote établit que la Terre demeure immobile au milieu du monde. Après avoir traduit et « glousé » les raisons qu'il en donne, Oresme fait connaître sa propre opinion. Elle tient dans ces trois propositions :

1. Que l'on ne pourrait prouver par quelconque expérience que le Ciel soit meü de mouvement journal et la Terre non.

2. Que ce ne pourrait estre prouue par raison

3. Plusieurs belles persuasions à montrer que la Terre est meue de mouvement journal et le Ciel non.

Après avoir montré très clairement, comme nous avons vu plus haut que le faisait Buridan, que l'expérience ne peut donner un sens précis à la question : qu'est-ce qui est immobile, qu'est-ce qui se meut, de la terre ou du ciel, parce que se mouvoir ou être immobile sont des termes tout relatifs, il passe « à la tierce expérience, qui semble plus forte, de la saecte (flèche) ou pierre jetée en haut, etc.

Il faut dire ce que la saecte traicte en haut, ouuecques ce trait, est meue vers orient très isvelment (rapidement) ouuecques l'aer par my lequel elle passe et ouuecques toute la masse de la basse partie du monde devant signée qui est meue de mouvement journal; et pour ca la saecte rechiët au lieu de terre dont elle est partie.

Et telle chouse appert possible par semblable, car, si un

(1) P. Duhem, *Un précurseur français de Copernic : Nicole Oresme (1377)*, dans la REVUE GÉNÉRALE DES SCIENCES PURES ET APPLIQUÉES, 20^e année, 1909, pp. 866-873.

homme estoit en une naif meue vers orient tres isvelment sans ce qu'il apperceust ce mouvement, et il troit sa main en descendant et en descendant une droite ligne contre le maast de la naif, il lui semblerait que sa main ne feust meue fors de mouvement droit; et ainsi, selon ceste oppinion, nous semble de la saecte qui descend ou monte droit en bas ou en haut.

Item, dedans la naif ainsi meue comme dit est, peuvent estre mouvements du long, du travers, en haut, en bas, en toutes manieres, et semblent estre du tout comme si la naif reposast...

Et il arrive ainsi au principe de la « Composition ou mixtion de mouvements ».

Oresme passe à sa seconde proposition et rétorque les arguments *à priori* que l'on apporte pour prouver l'immobilité de la Terre; citons celui-ci :

Au Quint, ou est dit que, si le Ciel ne faisait un circuit de jour en jour, toute astrologie serait faulse etc., je dis que non, car tous regars, toutes conjunctions, toutes oppositions, constellacions, figures et influences du Ciel seraient auxi comme ils sont du tout en tout, si comme il appert par ce que fut dit en la reponce de la premiere experience. Et les tables des mouvements, et tous autres livres auxi vrais comme ils sont, fors tant seulement que du Ciel selon apparence et en Terre selon vérité; et ne s'ensuit autre effet de l'un plus que de l'autre.

Parmi les « belles persuasions à montrer que la Terre est meue de mouvement journal et le Ciel non », il en est de plaisantes; elles répondent du tic au tac aux belles persuasions que ses adversaires apportaient en faveur de la thèse contraire :

Auxi, à parler familièrement, comme la chouse qui est roustie au feu reçoit environ elle la chaleur du feu pour ce que elle est tournée, et non pas pour ce que le feu soit tourné environ elle...

» Item, en signe que repos vault mieux, nous prions pour les mors que Dieu leur donne repos : *Requiem aeternam* etc.... »

Et Oresme conclut : « Considere tout ce que dit est, on pourrait par ce croire que la Terre est ainsi meue et le Ciel non; et n'est pas évident du contraire. »

Quand on lit ce que Copernic a écrit pour établir la possibilité et la vraisemblance du mouvement diurne de la terre, remarque M. Duhem, « on est frappé des analogies qui rapprochent la pensée du chanoine de Thorn de celle de l'évêque de Lisieux; volontiers on prendrait les chapitres du *De Revolutionibus Orbium coelestium* pour un résumé, trop concis et quelque peu

obscur, de ceux que nous avons trouvés au *Traité du Ciel et du Monde* ».

Les passages que nous avons cités des écrits de Buridan et d'Oresme n'en donnent qu'une idée très incomplète ; il faut les lire en entier, celui d'Oresme surtout, qu'il est intéressant de comparer aux C. VII et VIII du *De Revolutionibus* de Copernic.

Parmi les objections que Ptolémée oppose à l'hypothèse de la rotation de la Terre, il en est une qui a dû lui sembler très sérieuse et peut-être sans réplique :

Si la Terre tournait en vingt-quatre heures, dit-il, les points de sa surface seraient animés d'une vitesse énorme et, de leur rotation naîtrait une force de projection capable d'arracher de leurs fondements les édifices les plus solides et de disperser leurs débris dans les airs (1).

Copernic crut pouvoir tout concilier par une distinction qu'il emprunte à Aristote : qui admet la rotation de la Terre, dit-il, admet aussi que ce mouvement est *naturel*, produit par sa nature même ; on ne peut donc assimiler ses effets à ceux du mouvement *violent* de la roue qu'une force extérieure a lancé.

Buridan n'eût pas admis cette distinction ; pour lui le mouvement naturel de la Terre est rectiligne ; si « la figure sphérique convient aux corps auxquels est dû un mouvement circulaire, elle convient aussi à un corps naturellement immobile au centre d'un système. » — Oresme eût, sans doute, répondu comme le fit plus tard Copernic ; mais ni Buridan ni Oresme ne rencontrent l'objection de Ptolémée.

N. N.

(1) L'objection repose sur une confusion que les vrais principes de la mécanique pouvaient seuls dissiper. Il faut distinguer, dans un corps qui tourne, la vitesse absolue v des points situés à sa surface, et la vitesse angulaire ω de la rotation. La force projective, qu'invoque Ptolémée, et que nous nommons *force centrifuge*, a pour expression à l'Équateur, où elle est la plus grande, $\frac{v^2}{R}$, R étant le rayon équatorial de la Terre ; or on a $\omega = \frac{v}{R}$, d'où $\frac{v^2}{R} = \frac{v}{R}v = \omega v$, ou encore $\omega^2 R$. Il est vrai que v est très grand, mais ω est extrêmement petit : la moitié de la vitesse angulaire de l'aiguille des heures qui fait deux fois le tour du cadran en 24 heures. En poussant le calcul à bout, on voit que cette force de projection diminue le poids des corps, à l'Équateur, de 3 grammes environ par kilogramme. Mais ce calcul dépassait de beaucoup les connaissances mécaniques de Copernic et même de Galilée.

S. S. LE PAPE BENOIT XV

Lorsqu'au mois de juillet de l'année dernière la REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES publiait sa dernière livraison, rien n'annonçait encore le deuil qui, peu de semaines plus tard, allait atteindre l'Église en la personne de son chef suprême, Sa Sainteté le Pape Pie X. Rien non plus ne permettait de prévoir les tragiques circonstances qui nous empêcheraient de saluer l'avènement de son successeur. Depuis lors, les mois ont succédé aux mois : le monde catholique s'est habitué à répéter le nom de Benoît XV, et il est maintenant trop tard pour venir dire sur quoi se fondaient les espérances que ce nom a fait naître et qui ont déjà reçu un premier accomplissement.

Celui qui, avant de monter sur le siège de S. Pierre, devait, pendant quelques mois à peine, s'appeler le Cardinal Giacomo della Chiesa, naquit à Pegli, dans le diocèse de Gênes, le 21 novembre 1854. Ordonné

prêtre le 21 décembre 1878, élevé peu de temps après aux honneurs de la prélature romaine, il remplit, de 1883 à 1887, les fonctions de secrétaire de la Nonciature à Madrid. Rappelé ensuite à Rome, il entra aussitôt à la Secrétairerie d'État, où le cardinal Rampolla se l'attacha comme secrétaire particulier. Durant près de dix-sept années, il fut le collaborateur et le confident de l'illustre cardinal, qui fut lui-même associé si activement au glorieux pontificat de Léon XIII. Dès cette époque, des esprits avisés se plaisaient à dire que l'on verrait un jour Mgr della Chiesa jouer un rôle agrandi dans une situation plus élevée. Ces prévisions semblèrent d'abord mises en défaut, quand au conclave d'août 1903, la diplomatie austro-hongroise eut opposé son veto à l'élection du cardinal Rampolla au trône pontifical. En réalité, les événements avaient conspiré pour préparer Mgr della Chiesa à sa mission future. En décembre 1907, il quittait la chancellerie Apostolique pour le siège archiépiscopal de Bologne devenu vacant par la mort du cardinal Svampa. Les sept années qu'il passa dans l'administration de cet important diocèse lui donnèrent de connaître par expérience toutes les nécessités du ministère pastoral. Aussi, lorsqu'au mois de mai de l'année 1914, il reçut la pourpre romaine, dans le dernier consistoire du pape Pie X, son élévation ne laissa pas de provoquer un mouvement d'attention chez ceux qui se rappelaient l'ancien secrétaire du cardinal Rampolla. Moins de

quatre mois après, le Sacré-Collège, dans les rangs duquel il venait à peine d'entrer, l'appelait au gouvernement de l'Eglise.

La *Société scientifique de Bruxelles* dépose aux pieds de Sa Sainteté Benoît XV l'hommage de son plus profond respect et de son filial dévouement.

L'Astrologie au Moyen Age

Au Moyen Age, que pensait-on de l'Astrologie ? Avant de tenter de donner la moindre réponse à cette question, il convient de circonscrire la trop large indétermination que comporte le mot : on.

Que pensaient de l'Astrologie tous ceux, nobles ou vilains qui, n'étant pas clercs, se trouvaient livrés, par leur ignorance, aux plus ridicules excès de la superstition ?

Que pensaient de l'Astrologie les charlatans qui vivaient de cette prétendue science, en dupant les gens crédules ?

Que pensaient enfin de l'Astrologie les hommes versés dans la Science et accoutumés à la réflexion, les philosophes et les théologiens ?

Telles sont les trois formes que peut prendre, en se précisant, la question que nous avons posée tout d'abord.

De multiples raisons, au premier rang desquelles se doivent placer la rareté et l'imprécision des documents, nous engagent à délaissier, sans essayer d'y répondre, les deux premières questions. La troisième seule nous retiendra. Nous nous contenterons de retracer l'enseignement que les esprits les plus éminents du Moyen Age ont donné tout haut de l'Astrologie ; encore restreindrons-nous notre enquête en interrogeant presque exclusivement les savants qui ont professé à Paris ou qui ont subi l'influence de l'Université parisienne.

L'histoire que nous nous proposons de retracer

d'une manière extrêmement sommaire peut se diviser en deux périodes.

Durant une première période, qui s'étend du milieu du XII^e siècle au milieu du XIV^e siècle, les docteurs ne songent guère à contester aux astrologues le pouvoir de deviner l'avenir par l'examen des constellations : mais, chrétiens orthodoxes, ils se contentent de borner la portée de cette divination et de lui soustraire tout présage incompatible avec le libre arbitre de l'homme. Cette première période est donc consacrée à la constitution d'une *Astrologie chrétienne*.

C'est seulement dans la seconde période, après le milieu du XIV^e siècle, que nous voyons surgir des *Adversaires de l'Astrologie*. Ceux-ci, s'autorisant du bon sens, contestent ou dénie à l'art judiciaire l'aptitude à prédire les événements à venir, même dans les circonstances où ces prédictions ne contreviendraient en rien à la doctrine chrétienne.

PREMIÈRE PARTIE

L'Astrologie chrétienne

§ I. — ABOU MASAR ET L'HOROSCOPE DES RELIGIONS

Les principes sur lesquels il avait établi sa Dynamique conduisaient Aristote à ce corollaire : chaque orbe céleste est mû par une intelligence séparée de la matière. Éternelle et immuable, cette intelligence ne peut être qu'un Dieu. Ainsi, la Physique péripatéticienne justifiait la seule religion que, déjà, Platon regardât comme véritable, la religion qui adore les astres. Après Aristote, les diverses écoles néo-platoniciennes avaient continué de regarder comme divines aussi bien les sphères célestes que les intelligences et

les âmes qui président à leurs mouvements ; tout au plus, ceux des Néo-platoniciens auxquels l'Islamisme, le Judaïsme ou le Christianisme avaient enseigné qu'il n'y a qu'un Dieu, consentaient-ils à ramener au rang d'anges les intelligences et les âmes qui meuvent les orbes.

En même temps qu'elle divinisait les moteurs des cieux, la Physique péripatéticienne trouvait, dans les révolutions uniformes et éternelles des orbes, les causes de toutes les générations, de toutes les destructions, de tous les changements qui se produisent dans la cavité circonscrite par la sphère de la Lune ; elle déclarait que tout ce qui se passe dans le monde inférieur est produit et déterminé, d'une manière nécessaire, par les circulations du monde supérieur : en même temps que l'Astrolâtrie, Aristote justifiait l'Astrologie. Les diverses philosophies qui avaient succédé au Péripatétisme, le Stoïcisme aussi bien que le Néo-platonisme, s'étaient, d'ailleurs, empressées de recueillir cet héritage aristotélicien, et de soumettre toutes les choses de la région sublunaire à l'inflexible destinée dont les mouvements des astres promulguent les lois.

Après avoir ébranlé les fondements de la Dynamique péripatéticienne, après leur avoir substitué des principes dont, un jour, découlera la mécanique moderne, la Physique parisienne du xiv^e siècle était parvenue à chasser des cieux les intelligences qu'Aristote y avait introduites. Mis en branle par Dieu au jour de la création, disait-elle, les corps célestes se meuvent, depuis ce temps, comme se meut la toupie que l'enfant a lancée ou l'horloge que l'homme a montée. La nouvelle science du mouvement avait enfin débarrassé la Philosophie des restes de l'Astrolâtrie hellénique.

Restait à la débarrasser de l'Astrologie.

C'était une rude besogne qu'il fallait accomplir.

Contre l'Astrologie, les Pères de l'Église avaient mené un combat acharné ; aussi, tant que les Écoles du Moyen Age avaient demandé au seul enseignement patristique d'inspirer leur philosophie, les doctrines de l'art généthliaque étaient-elles demeurées exclues de la Science ; le vulgaire seul donnait dans l'Astrologie.

En 978, par exemple, Helpéric semble regarder avec quelque mépris les astrologues, ceux qui traitent du hasard, *tractatores hasartis*, comme il les nomme (1). Ses considérations sur les signes du Zodiaque ne présentent aucune trace de superstition astrologique.

Au milieu du XI^e siècle, Guillaume de Conches lit déjà Julius Firmicus et un traité astrologique de Ptolémée, qui est vraisemblablement la Τετράβιβλιος σύνταξις. Ces écrits sont, pour lui, ceux où l'on parle des corps du Ciel suivant la méthode qu'il nomme astronomique, ceux où l'on révèle la nature véritable de ces corps, qu'elle apparaisse ou non, « *dicere ea de illis quæ sunt, sive ita videatur, sive non* » (2). Il entend, par là, qu'on y établit les propriétés physiques réelles de chaque astre, qu'on y examine s'il est chaud ou froid, sec ou humide.

Cette connaissance qui constitue, selon lui, l'Astronomie, il ne la regarde pas comme la suite de spéculations métaphysiques sur la substance céleste, sur les intelligences ou les âmes qui la meuvent, sur l'influence

(1) Bibliothèque nationale, fonds latin, ms. n^o 1518, fol. 4, v^o. Voir : Seconde partie, ch. III, § VI ; t. III.

(2) *Philosophicarum et astronomicarum institutionum Guilielmi Hirsangiensis olim abbatis, libri tres*, Basilea excudebat Henricus Petrus, Mense Augusto, Anno MDXXI, Lib. I : Quot modis tractatur de superioribus ; p. 30. — *Venerabilis Bedæ Elementorum Philosophiæ libri quatuor*, lib. II. [VENERABILIS BÆDÆ OPERA. Accurante Migne, t. I. (PATROLOGIE LATINE, t. XC) coll. 1140-1141] — *Honorii Augustodunensis De Philosophiâ Mundi libri quatuor*. Lib. II, cap. V : Quot modis auctoritas loquatur de superioribus. [HONORII AUGUSTODUNENSIS OPERA. Accurante Migne. (PATROLOGIE LATINE, t. CLXXII)].

qui en émane; il veut qu'elle soit une conquête de l'observation. Comment, par exemple, à son avis, est-on parvenu à reconnaître que la planète Saturne est froide? « Voici comment les anciens astrologues ont prouvé que cette étoile est froide : en certaines années, ils ont vu que le Soleil, alors qu'ils le savaient dans le signe du Cancer, brûlait les terres moins que de coutume ; comme ils savaient, d'ailleurs, que cela ne pouvait provenir de la nature du Soleil, ils se sont enquis de la planète qui était dans le même signe que le Soleil ; trouvant que c'était Saturne, ils ont dit qu'en Saturne, était une cause de froid. »

Ainsi mises en évidence, les qualités physiques des planètes donnent l'explication des autres propriétés que les astrologues ont attribuées à ces astres ; ils ont dit, par exemple, que Saturne était une planète nuisible. « C'est à cause de sa froideur qu'elle est dite nuisible (1) ».

Les fables des païens sur ces planètes divinisées ne sont que symboles des qualités physiques dont elles sont douées : « On dit (2) que Mars est le Seigneur des combats, parce qu'il confère chaleur et sécheresse, qualités d'où provient le courage ; ce sont, en effet, les tempéraments chauds et secs qui sont courageux. » C'est, de même, parce qu'elle communique la chaleur unie à l'humidité que Vénus est dite déesse de la volupté, car les voluptueux sont de tempérament chaud et humide.

(1) *Philosophicarum et astronomicarum institutionum, Guilielmi Hirsangiensis olim abbatis, libri tres*. Basileæ excudebat Henricus Petrus, Mense Augusto, Anno MDXXXI. Lib. I : De Stella nociva, et Saturno falcigero, p. 36. — *Venerabilis Bedæ Elementorum Philosophiæ libri quatuor*. lib. II. [VENERABILIS BEDÆ OPERA. Accurante Migne, t. I (PATROLOGIE LATINE, t. XC), col. 1115]. — *Honorii Augustodunensis De Philosophia Mundi libri quatuor*. Lib. II, cap. XVII : De Saturno. [HONORII AUGUSTODUNENSIS OPERA. Accurante Migne (PATROLOGIE LATINE, t. CLXXII) col. 62].

(2) Hirsangiensis, lib. I. *De Marte tertio planetarum*, p. 36. — Beda, lib. II, col. 1145. — Honorius, lib. II, cap. XIX : *De Marte* ; col. 63.

Ainsi réduite par Guillaume de Conches à n'être qu'une Astronomie physique, l'Astrologie abandonne toute prétention à la divination de l'avenir ; en fait, le *Περὶ διδασκείων* ne renferme pas la moindre allusion aux horoscopes et aux autres pratiques de l'art judiciaire ; la prétendue science des généthliques demeure entièrement exclue de l'encyclopédie scientifique composée par le maître chartrain.

Cet exemple nous montre clairement que la raison des Chrétiens d'Occident, ou, du moins, des plus instruits d'entre eux, échappa à l'emprise de la superstition astrologique, tant qu'elle demeura étrangère à la Science du monde hellène et du monde musulman.

Il en fut autrement à partir du moment où les traducteurs eurent commencé de révéler à la Chrétienté latine ce qu'on pensait chez les Arabes.

La pensée des sages de l'Islam, en effet, était toute embrumée de rêveries astrologiques ; l'Astrologie s'insinuait partout, aussi bien dans les systèmes des philosophes que dans les calculs des Astronomes ; à dire vrai, les systèmes des philosophes semblaient avoir pour principal objet d'assurer les principes de l'Astrologie, et les instruments, les canons, les tables des Astronomes tendaient uniquement à rendre possibles et aisées les opérations de cet art.

Ces doctrines dont l'art généthliaque semblait le couronnement, envahirent, au XII^e siècle, les écoles chrétiennes d'Occident. Avant que ce siècle fût au milieu de son cours, Hermann le second adressait à Robert de Rétines sa traduction abrégée de l'*Introductorium in Astronomiam* où Abou Masar avait exposé tous les principes essentiels de la fausse science astrologique.

L'Astrologie, telle que la présentait Abou Masar, n'invoquait plus le fatalisme rigide et absolu dont se réclamaient les doctrines des Stoïciens et des Chal-

déens ; elle ne supposait plus le déterminisme, négateur de toute liberté, dont s'indignaient les Pères de l'Église. Albumasar, nous l'avons vu (1), admettait qu'il y eût, parmi les choses à venir, des effets contingents, dont la production ou la non existence résulterait du choix de notre libre arbitre. A la vérité, sur ce choix même que nous accomplissons librement entre deux futurs contingents également possibles, les étoiles ne sont pas dépouillées de toute influence, mais cette influence ne s'exerce que d'une manière indirecte : les astres ont le pouvoir de modifier l'harmonie qui existe entre le corps et l'âme de l'homme et, par là, d'incliner l'âme à choisir dans tel sens plutôt que dans le sens opposé ; d'ailleurs, cette influence indirecte, il semble bien que notre astrologue la regarde comme limitée ; il la tient pour capable de solliciter notre décision ; il ne paraît pas croire qu'elle suffise à la déterminer entièrement.

Ainsi définie, l'Astrologie n'avait plus rien qui s'opposât essentiellement aux enseignements de l'Église catholique ; les docteurs chrétiens pouvaient l'admettre ou, tout au moins, la tolérer ; c'est, nous le verrons, ce qu'ont fait la plupart d'entre eux.

En revanche, lorsqu'Abou Masar, non content d'avoir posé les principes de la Science astrologique, passe en revue les principales applications qu'on en peut faire à la prévision des événements futurs, il lui arrive d'apporter des affirmations ou des conjectures dont les croyants de toute religion, et donc, en particulier, les Chrétiens pouvaient, à juste titre, s'inquiéter.

C'est qu'en effet des événements que l'astrologue a le pouvoir de prédire, Abou Masar n'exclut pas, bien au contraire, la naissance ou le déclin des religions ; bien souvent, dans ses écrits, il prend soin d'affirmer

(1) Voir : *Le Système du Monde*, Première Partie, Ch. XIII, § XIV ; t. II, pp. 373-376.

que tel phénomène astronomique annonce les changements des sectes religieuses, *permutationes et vices sectarum*.

Il est, par exemple, un phénomène céleste auquel tous les astrologues arabes attribuaient, dans leurs pronostics, une extrême importance ; c'est la conjonction de Saturne et de Jupiter avec la tête du Bélier. Le *Liber de proprietatibus elementorum*, que le Moyen Age attribuait fort naïvement à Aristote, entretenait déjà ses lecteurs des graves conséquences des conjonctions en général, et de cette conjonction-là en particulier (1). Parlant de ceux qui croient à une lente permutation des continents et des océans, l'auteur du *Livre des éléments* écrivait :

« Ils admettent que les évènements qui se produisent sur la terre ont pour cause le mouvement des corps célestes, de l'élément noble qui est l'orbe, et ce qui découle de ces corps ; car ceci est l'agent qui opère en toutes choses.

» Ainsi, prétendent-ils, le déluge qui a eu lieu sur la terre n'a pas eu d'autre cause que la conjonction des étoiles [errantes] dans le signe des Poissons ; le vent qui, dans Hadramoth, a fait périr les nations a été produit par la conjonction qui s'est faite dans le signe des Gémeaux ; la conjonction qui a eu lieu dans le signe de la Vierge est la seule cause de la peste qui a désolé la terre de Lamén ; il en est de même des autres évènements qui surviennent au moment des rassemblements d'étoiles et des conjonctions...

» Les années de stérilité et les années d'abondance proviennent uniquement de la permutation des étoiles

(1) *Aristotelis Liber de proprietatibus elementorum* (cité d'après les *ARISTOTELIS OPERA* que termine le colophon suivant : *Impressum (sic) est præsens opus Venetiis per Gregorium de Gregoriis expensis Benedicti Fontanæ Anno salutifere incarnationis domini nostri MCCCCXCVI. Die vero XIII Julii. Fol. 366 (marqué 466), v^o. et fol. 367 (marqué 467), 1^o.*

[errantes], d'un signe à l'autre, au-dessus des sept climats.

» La mortalité qui fait disparaître les nations et les vacances des royaumes se font au moment de la conjonction de deux des planètes, savoir de Saturne et de Jupiter. C'est lorsqu'elles passent d'une triplicité à une autre qu'adviennent les grands accidents. »

Abou Masar partage toutes les croyances des astrologues dont parle le *Livre des éléments* : s'il est un phénomène céleste dont il attend les effets les plus considérables, c'est, assurément (1), « la conjonction des deux planètes supérieures, » c'est-à-dire de Saturne et de Jupiter, « au point équinoxial mobile du printemps, conjonction qui se reproduit toutes les 960 années solaires. » Or, « pour le temps de la conjonction des deux planètes supérieures dans le Bélier (2), se trouve annoncé le commencement de quelque une des choses universelles, ..., d'une secte ou d'une autre chose semblable ».

Mais Albumasar ne se contente pas de ces indications générales ; il va plus loin ; il précise et détaille.

« Certains astrologues, écrit-il (3), ont dit que l'intervalle de temps au bout duquel la fortune passe d'une secte à une autre secte comprend dix révolutions de Saturne... Ils prétendent, en effet, que la permutation de Saturne se produit lorsque dix révolutions de cet astre sont accomplies. » Tous les 290 ans, donc, doit se produire quelque grand changement dans la

(1) Albumasar *de magnis conjunctionibus : annorum revolutionibus : ac eorum profectionibus : octo continens tractatus*. Colophon : Opus albumazaris de magnis conjunctionibus explicit feliciter. Impressum Venetis Mandato et expensis Melchiorem (*sic*) Sessa. Per Jacobum pentium de Leuco. Anno domini 1515. Pridie kal. Junii. Tract. I, differentia I, fol. sign. Aiii, r^o.

(2) Albumasar, *Op. laud.*, Tract. I, diff. I, fol. sign. Aiiii, r^o.

(3) Albumasar, *Op. laud.*, Tract. II, diff. VIII, fol. précédant de deux rangs le fol. sign. D, r^o, et fol. précédant immédiatement le fol. sign. D, r^o.

distribution des empires ou, mieux encore, quelque grande innovation religieuse.

Selon notre auteur, c'est à la fin d'une de ces périodes, formées de dix révolutions de Saturne, « qu'apparut le noble Alexandre, fils de Philippe, et que la chance quitta les Perses. Lorsque Saturne eut accompli dix autres révolutions, apparut Jésus, fils de Marie, qui est l'objet de prières, et il y eut un changement de secte. Après dix nouvelles révolutions, apparut Manès, et il vint, apportant une loi intermédiaire entre celle des Nazaréens et celle des Paiens. Et parce que dix révolutions de Saturne étaient de nouveau accomplies, le Prophète vint, avec la loi manifeste des Maures. — *Quia completæ sunt 10 revolutiones Saturni, in diebus Daribindar, fuit apparitio Alexandri, filii Philippi nobilis, et remotio vicis Persarum. Et quia completæ sunt ei 10 revolutiones alie ex revolutione sua, apparuit Jesus, filius Mariæ, super quem fiunt orationes, cum permutatione sectæ. Et quia completæ sunt 10 alie revolutiones ex revolutione sua, apparuit Meni, et venit cum lege quæ est inter Paganos et Nazarenos. Et quia completæ sunt 10 alie revolutiones ei ex revolutione sua, venit Propheta cum lege Maurorum manifesta* ».

Né en 356, Alexandre mourut en 323 av. J.-C. Manès fut mis à mort en 274 de J.-C. Né vers 570, Mahomet s'enfuit à Médine en l'an 622 qui ouvrit l'ère de l'*hégire*, et il mourut en 632. Il faut quelque bonne volonté pour découvrir, dans les dates que nous venons de citer, la période de 290 ans qu'Abou Masar croit y voir.

Notre astrologue, d'ailleurs, a soin de nous prévenir que les vicissitudes des religions ne suivront pas avec une entière rigueur la loi périodique que leur assignent les révolutions de Saturne.

« Peut-être, dit-il, ce changement se produira-t-il

avant l'achèvement des dix révolutions, en sorte que l'accident se produira durant la neuvième révolution ; peut être, aussi, l'accident aura-t-il lieu après l'accomplissement des dix révolutions, en sorte qu'il se produira dans la seconde révolution. »

A cette latitude qu'on accorde à la loi, si l'on a soin de joindre une indétermination suffisante de la prédiction ; il faudrait être bien malechanceux pour se trouver désappointé.

Cet *horoscope des religions* était bien fait pour piquer la curiosité des Chrétiens qui lisaient les œuvres d'Abou Masar ; il était bien fait aussi pour inquiéter leur orthodoxie.

L'opinion d'un fidèle à l'égard de cette suite de prédictions pouvait varier selon les principes par lesquels l'astrologue la prétendait justifier.

Entendait-il affirmer que les astres sont les causes des événements qu'ils annoncent ? Que Saturne, par conséquent, détermine et produit, par son influence, les religions nouvelles qui se manifestent chaque fois qu'il a accompli dix révolutions ? La religion apportée au monde par Jésus, fils de Marie, n'est plus, alors, qu'un effet fatal des mouvements du Ciel. Une telle impiété mérite tous les anathèmes.

L'astrologue, au contraire, déclare-t-il que les astres ne sont point causes des événements qu'ils annoncent, que ces événements sont œuvres de Dieu, et que les mouvements célestes, simples signes, n'ont d'autre rôle que de manifester aux hommes ce que la Providence divine a ordonné ? Il semble alors, que l'horoscope des religions perde tout caractère blasphématoire, et qu'un chrétien lui puisse accorder crédit sans péril pour sa foi.

Voilà donc que les esprits soucieux de savoir si l'Astrologie se peut accorder avec la religion chrétienne, sont ramenés à ce débat, si fortement agité au

temps du Néo-platonisme hellénique (1) : les astres sont-ils causes des événements qu'ils annoncent, ou bien n'en sont-ils que les signes ?

§ II. — LES **Tables de Marseille** ET L'ASTROLOGIE

PIERRE ABAILARD. — SAINT-JEAN DAMASCÈNE

Bien avant qu'ils n'eussent connaissance des livres d'Abou Masar et des astrologues musulmans, les Chrétiens d'Occident lisaient saint Augustin et Macrobe. Ils savaient donc que, pour échapper au matérialisme des Stoïciens sans renoncer à l'Astrologie, certains philosophes anciens avaient affirmé cette doctrine : que les astres ne sont point causes des événements qu'ils annoncent ; ils se bornent à les signifier. Il était naturel qu'à ces Chrétiens d'Occident l'idée vint de reprendre la thèse soutenue par Plotin et d'en user pour éviter toute contradiction entre les enseignements de la foi catholique et les théories de l'Astrologie.

Dès l'an 1140, dès l'année, donc, où Hermann le second révélait aux Chrétiens l'*Introductorium in Astronomiam* d'Albumasar, cette idée était conçue et exposée avec une extrême clarté par l'auteur des *Tables de Marseille* (2).

Au préambule de ces *Tables*, l'auteur consacre deux chapitres. le troisième (3) et le quatrième (4), à justifier les principes de l'Astrologie : le troisième chapitre se termine par une suite de textes de la Bible que l'auteur

(1) Voir : *Le Système du Monde*, Première partie, Ch. XIII, §§ VII et IX ; t. II, pp. 300-318 et pp. 324-341.

(2) Au sujet de ces *Tables*, voir : *Le Système du Monde*, Deuxième partie, Ch. IV, § VI ; t. III.

(3) Bibliothèque nationale, fonds latin, Ms. n° 14704, fol. 112, col. a à fol. 113, col. b.

(4) Ms. cit., fol. 113, col. b, à fol. 113, col. d.

juge favorables à la science qu'il cultive et le quatrième chapitre est, en entier, consacré à invoquer l'autorité des auteurs païens.

C'est au troisième chapitre que nous lisons ce qui suit (1) :

« Personne ne doit douter, personne ne doute que Dieu n'ait créé tout ce qui existe, ni qu'avant de faire ce qui doit être, il ne l'ait prévu ou prédéterminé ; dès lors, certaines des choses futures qu'il a prévues ou prédestinées, il peut, avant qu'elles ne soient produites, les montrer, par le moyen des planètes, aux êtres doués de raison ; il le fait, afin que l'intelligence humaine, voyant les merveilles que Dieu produit, et connaissant les œuvres qu'il accomplit, brûle de l'amour qui s'allume en elle à l'égard de son Créateur...

» Lors donc que nous disons : Telle planète signifie d'avance qu'un méchant homme doit advenir, nous n'avons pas d'autre sentiment que celui-ci : les planètes agissent sur l'ordre de leur Créateur ; c'est à titre de créatures mises à son service, qu'elles imitent sa prescience et qu'elles nous manifestent ce méchant homme. Il ne faut donc dire d'aucune manière que les planètes exercent sur cet homme une force destinée à le rendre méchant, pas plus que la prescience de Dieu n'a une semblable action. Si les hommes allaient accuser les prédictions figurées par les planètes, ils accuseraient par là même la Providence ; les planètes, en effet, ne nous signifient rien que Dieu n'ait prévu ou prédestiné. »

Les astres n'ont aucune action sur les choses d'ici-bas ; par leurs mouvements et leurs configurations, ils sont simplement un langage dont Dieu se sert pour révéler d'avance à l'homme quelques-uns des décrets de sa Providence ; telle est la thèse que beaucoup de

(1) Ms. cit., fol. 112, coll. *b* et *c*.

Chrétiens vont soutenir, et par laquelle ils penseront concilier leur foi avec la croyance aux prédictions de l'Astrologie, fût-ce à l'horoscope des religions.

D'autres garderont, à l'égard de l'Astrologie, une attitude moins confiante ; ils restreindront davantage le domaine des événements que l'observation des planètes et des étoiles peut annoncer d'avance ; ils demeureront plus étroitement unis à la pensée des Pères de l'Église et, en particulier, de saint Augustin.

De ce nombre sera Pierre Abailard.

C'est dans son *Exposition de l'œuvre des six jours* qu'Abailard discute la légitimité et la valeur de l'Astrologie. Cette œuvre est, croit-on, la dernière à laquelle il ait mis la main ; elle a dû précéder de peu sa mort, survenue en l'an 1142 ; elle doit donc être presque exactement contemporaine des *Tables de Marseille*.

Non seulement Pierre Abailard ne veut pas que les astres soient tenus pour causes des futurs contingents ; mais, d'une façon très formelle, il leur dénie tout pouvoir d'annoncer d'avance ces événements ; sa thèse s'oppose nettement à celle que soutenait l'auteur des *Tables de Marseille*.

« Certaines gens, dit-il (1), prisent à tel point la Science astronomique et exaltent à tel degré la force des astres, qu'à leur avis, les futurs contingents eux-mêmes peuvent être signifiés d'avance par ces astres ; ils croient pouvoir juger, par cet art, même des événements que les philosophes déclarent inconnus à la nature : en sorte que les astres joueraient le rôle de signes non seulement, comme nous l'avons dit, pour les effets naturels, mais encore, selon la mensongère affirmation de ces gens, pour les futurs contingents. »

Notre auteur a lu Aristote ; il sait que le Stagi-

(1) *Petri Abailardi Expositio in Heracleron*, De quarta die. (PETRI ABAILARDI OPERA (PATROLOGIE LATINE, accurate J. P. Migne, t. CLXXVIII), coll. 753-756).

rite désigne les futurs contingents par l'expression : *ad utrum libet* (ὁπότῃρα) ; il les définit comme les définit le traité *De l'interprétation* : « Les futurs contingents sont ceux qui se comportent indifféremment à l'égard de ces deux alternatives : advenir et ne pas advenir (*feri et non feri*) ; il n'y a d'avance, dans la nature des choses, aucune cause qui les oblige d'advenir ou de ne pas advenir ; et personne ne peut savoir d'avance s'ils adviendront ou n'adviendront pas, si, par exemple, je lirai [ou ne lirai pas] aujourd'hui ; il en est ainsi de tout ce que notre libre arbitre a le pouvoir de faire ou de ne pas faire.

» Il y a des futurs naturels ; leur venue est, pour ainsi dire, déterminée ; on les peut prévoir, pourvu seulement qu'à leurs causes, qui préexistent, on adjoigne quelque moyen naturel ; c'est pourquoi l'on dit qu'ils sont, dès maintenant, connus de la nature...

» Des futurs contingents, au contraire, on dit que la nature même ne les connaît pas, car aucune opération ou institution naturelle ne permet de les prévoir.

« Aussi m'étonné-je d'entendre certaines gens déclarer qu'ils les connaissent par le moyen de l'Astronomie, qu'ils en peuvent juger et que, pour ainsi dire, ils les devinent. L'Astronomie, en effet, est une des espèces de la Physique, c'est-à-dire de la Philosophie naturelle ; comment peuvent-ils, à l'aide de cette science, savoir ce que la nature même ignore, au dire des philosophes, c'est-à-dire ce que la nature d'aucune chose ne permet de prévoir ? »

La conclusion d'Abailard est celle que formulaient nombre de Pères de l'Église :

« Quelqu'un promet-il d'obtenir, par les enseignements de l'Astronomie, quelque certitude au sujet des futurs contingents que, comme nous l'avons dit, la nature elle-même ne connaît pas ? On ne doit pas le regarder comme faisant de l'Astronomie, mais comme

faisant de la diablerie (*non tam astronomus quam diabolicus habendus est*)... Que personne n'attribue les divinations de ce genre à l'art astronomique mais à une machination diabolique. »

Tout en déniait à l'Astrologie le pouvoir d'annoncer aucun futur contingent. Abailard lui concède largement la faculté de prévoir les futurs naturels.

« Nous ne nions pas, dit-il, que certains futurs naturels ne soient connus par l'Astrologie comme il en est de connus par la Médecine. D'après la complexion du corps, les médecins peuvent former nombre de pronostics touchant les malades ; ils peuvent prévoir si un malade se tirera d'affaire ou non. De même, ceux qui ont l'expérience des astres ; qui en connaissent les natures, causes du chaud et du froid, du sec et de l'humide ; ceux auxquels l'Astronomie a fait connaître ces parties du ciel qu'on appelle les *maisons* des planètes, et d'où ces astres, lorsqu'ils y résident, exercent au plus haut point leur action, ceux-là peuvent former, au sujet des futurs naturels, nombre de pronostics : ils peuvent annoncer, par exemple, s'il y aura, dans l'avenir, grande sécheresse ou abondance de pluie, forte chaleur ou froid excessif ; ces prévisions sont de grande valeur, non seulement pour qui doit pourvoir à la culture de la terre, mais encore pour qui doit administrer avec précaution un médicament. Voilà pourquoi les philosophes ont osé donner aux planètes le nom de dieux, et les regarder, en quelque sorte, comme les directeurs du monde ; en effet, notre situation ici-bas éprouve de grandes variations selon leurs natures et qualités ; c'est en vertu de ces natures et de ces qualités, comme nous l'avons dit, que nous avons tantôt la famine et tantôt l'abondance ; qu'il faut faire les semailles tantôt dans les terres sèches et tantôt dans les terres humides ; qu'il faut, par l'application

des médicaments, tantôt procurer la sécheresse au malade, et tantôt l'humidité. »

Accorder plein crédit à l'Astrologie, pourvu qu'elle se contente de prédire les effets naturels, qu'elle ne prétende pas annoncer les futurs contingents, qu'elle ne porte aucune atteinte au libre arbitre, voilà ce qu'Abailard recommande à ses disciples et à ses lecteurs.

Abailard était mort depuis peu d'années lorsque Burgundion, entre 1145 et 1153, traduisit l'Ἐχδοσις τῆς ὀρθοδόξου πίστεως de saint Jean Damascène. Dans cet ouvrage, qui eut de suite, auprès d'eux, la plus grande autorité, les maîtres de la Scolastique latine trouvèrent, au sujet des jugements d'Astronomie, une doctrine toute semblable à celle du Dialecticien armoricain ; ils y lurent, en effet, un passage où saint Jean de Damas résumait, avec beaucoup de clarté et de fidélité, l'enseignement des Pères de l'Église touchant l'Astrologie. Transcrivons ici ce passage dont les docteurs chrétiens s'autoriseront bien souvent (1) :

« Les Grecs affirment que toutes choses, ici-bas, sont gouvernées par le lever, le coucher, la conjonction des astres. du Soleil et de la Lune ; c'est, en effet, de cela que s'occupe l'Astrologie. Pour nous, nous disons que ces astres fournissent des signes de la pluie ou du temps serein, de la chaleur ou du froid, de l'humidité ou de la sécheresse, des vents et de toutes choses semblables ; mais de nos propres actions, non pas. Le Démonstrateur, en effet, nous a créés libres, en sorte que nous sommes les maîtres de nos propres actions. Si nous agissons en vertu du mouvement des astres, c'est par nécessité que nous ferions tout ce que nous faisons ; or ce qui est fait par nécessité n'est ni

(1) S. Joannis Damasceni, *De fide orthodoxa*, lib. II, cap. VII [S. JOANNIS DAMASCENI OPERA OMNIA QUÆ EXSTANT, t. I (PATROLOGIE GRÆCÆ, accurate J. P. Migne, t. XCIV), coll. 891-894].

vertu ni vice ; exempts de vertu comme de vice, nous ne mériterions ni récompense ni châtement ; il se trouverait donc que Dieu est injuste en donnant le bonheur aux uns, le malheur aux autres. D'ailleurs, si tout est fait et mû par nécessité, Dieu n'exerce plus ni gouvernement ni providence sur les choses qu'il a créées. Enfin, c'est inutilement que se trouvera, en nous, la faculté de raisonner ; puisqu'en effet, nous ne sommes maîtres d'aucune action, il serait vain pour nous de délibérer ; or, si la faculté de raisonner nous a été attribuée, c'est uniquement pour que nous puissions délibérer ; aussi tout être raisonnable est-il, aussi, un être libre.

» Nous disons donc que les astres ne sont les causes d'aucun des êtres soumis à la génération, qu'ils ne sont causes ni de la production ni de la génération des choses qui naissent et meurent. Nous disons plus volontiers qu'ils sont [seulement] les signes des pluies et des changements de temps. Peut-être pourrait-on dire aussi (Ἰσως δ' ἂν τις εἴποι) que, tout en n'étant point causes des guerres, ils en constituent des signes ; que la qualité de l'air, produite par l'action du Soleil, de la Lune et des astres, détermine, suivant les circonstances, des constitutions, dispositions et tempéraments différents ; et que nos tempéraments influent sur les actes qui dépendent de nous ; ceux-ci, en effet, sont soumis à l'empire de la raison qui les accomplit comme il lui convient. »

Pierre Lombard, qui avait assurément lu ce texte, se montre plus prudent et plus réservé que Pierre Abailard et, surtout, que saint Jean Damascène ; tout ce qu'il accorde à l'Astrologie (1), c'est que les astres « sont signes du temps serain ou du mauvais temps. » Les docteurs chrétiens seront portés à lui concéder un

(1) Petri Lombardi *Sententiarum* lib. II, dist. XIV.

pouvoir plus étendu lorsqu'ils auront médité les écrits d'Aristote et des philosophes arabes.

§ III. — GUILLAUME D'Auvergne et l'ASTROLOGIE

LE *De legibus*

L'auteur des *Tables de Marseille* a été, semble-t-il, le premier des astronomes du Monde latin qui ait usé des *Tables de Tolède* ; introducteur de l'Astronomie arabe dans la Chrétienté occidentale, il avait, sans doute, éprouvé, des premiers, la séduction de l'Astrologie à laquelle la plupart des savants de l'Islam s'adonnaient avec une véritable fureur. Les discussions qu'il nous conte en son ouvrage semblent prouver que, dès ce moment, cette séduction entraînait nombre de Chrétiens par de puissants attraits. Mais l'entraînement de l'Astrologie devint autrement intense au XIII^e siècle, lorsque la Chrétienté latine n'eut pas seulement en mains les nombreux traités où Ptolémée et les Arabes avaient tracé les règles de l'« art judiciaire », mais encore les livres où les Métaphysiques du Péripatétisme et du Néoplatonisme établissaient le gouvernement des circulations célestes sur toutes les choses du monde inférieur ; aux Chrétiens d'Occident, l'Astrologie parut être ce qu'elle avait semblé aux philosophes hellènes et musulmans, le suprême couronnement de toute la Sagesse.

A ce moment, un homme se rencontra qui vit, dans leur plénitude, les dangers que les Métaphysiques d'Aristote et d'Avicenne allaient faire courir à la foi catholique ; ce même homme aperçut clairement ce qu'il y avait, dans les pratiques de l'Astrologie, d'hétérodoxe et, tout à la fois, d'insensé. En même temps, donc, qu'il déclarait la guerre « à Aristote et à ceux de sa suite », Guillaume l'Auvergnat, évêque de Paris,

mena rudement le combat contre les « jugements d'Astronomie ».

Dans cette lutte, Guillaume se montrait le continuateur des Pères de l'Église, le gardien de la tradition scolastique des Latins, qui n'avait fait, jusqu'alors, que prolonger l'enseignement patristique ; aussi, les arguments dressés par les Pères contre les « Chaldéens », les « Mathématiciens », les « Généthliques » se reconnaissent-ils, parfois, dans la discussion qu'il mène ; mais plus encore qu'aux autorités traditionnelles, il demande des armes à son bon sens d'enfant d'Aurillac ; bon sens un peu gros, peut-être, mais solide, mais sûr et, souvent, bien défendu par un joyeux éclat de rire contre les conclusions fallacieuses des Métaphysiques subtiles.

La première attaque de Guillaume d'Auvergne contre l'Astrologie se lit dans son traité *Des religions* (*De legibus*). Ce qui excite au combat l'Évêque de Paris, c'est, en effet, l'impiété de ceux qui font, de toutes les religions, sans en excepter ni la religion juive, ni la religion chrétienne, des résultats de l'action des planètes.

La forme sous laquelle Guillaume présente cette doctrine n'est pas celle de l'horoscope des religions qu'Abou Masar nous a fait connaître ; mais ce changement de forme n'ôte rien au caractère blasphématoire de la thèse qu'il va combattre.

« Parlons maintenant, dit-il (1), de la diversité des religions, et racontons les opinions de ceux qui, dans le monde, ont la réputation de savants...

» Il en est qui attribuent aux cieux et aux étoiles la diversité des religions, comme ils leur attribuent les

(1) Guillelmi Parisiensis episcopi *De legibus*, cap. XX (Guillelmi Parisiensis episcopi *Opera*, ed. Parisiis, 1516, t. 1, pars 1, fol. XXVII, col. b, à fol. XXVIII, col. d.)

autres différences et conditions qui affectent les hommes.

» Ils disent que la religion des Hébreux est issue de Saturne et de son ciel ; c'est pourquoi les Juifs célèbrent particulièrement le jour de Saturne qui est le jour du sabbat. » Par des diverses propriétés de Saturne, ils expliquent les caractères de la Loi mosaïque et les vicissitudes éprouvées par le peuple juif.

» Ils pensent de la même façon au sujet de la religion des Sarrasins et de leur royaume ; ils croient et affirment nettement que cette loi a été promulguée le jour de Vénus, et c'est par Vénus, c'est-à-dire par la luxure, qu'elle demeure en vigueur ; c'est pour cette raison, disent-ils, que les Sarrasins célèbrent particulièrement, chaque semaine, le jour de Vénus...

» De la religion chrétienne, ils prétendent qu'elle est la religion du Soleil et que son royaume est le royaume du Soleil. C'est pourquoi le peuple chrétien célèbre particulièrement le jour du Soleil ; c'est pourquoi celui qui, dans ce royaume, préside aux choses spirituelles, c'est-à-dire le pontife romain, siège dans la ville du Soleil...

» Quant aux sectes particulières, c'est-à-dire aux hérésies qui existent outre ces trois religions, elles ont pour causes, disent-ils, les conjonctions et les participations diverses des planètes les unes avec les autres. Ils pensent, dès lors, qu'ils peuvent deviner d'avance et pronostiquer les changements des religions, des sectes et des royaumes, qu'il s'agisse des grandes religions, qui sont les trois dont nous avons parlé plus haut, ou des religions moindres. On peut lire beaucoup de choses à ce sujet dans les livres qui traitent des jugements d'Astronomie. »

Voilà l'hérésie contre laquelle Guillaume s'élève avec indignation.

Nous n'énumérerons pas tous les arguments qu'il lui oppose ; nous choisirons seulement les plus marquants.

En voici un, tout d'abord, que l'Évêque de Paris regardait comme essentiel, car il le rappellera plus tard, lorsqu'il écrira son *De universo* :

« Il est impossible qu'une chose plus vile soit la cause d'une chose plus noble. Partant, il est impossible que les vertus des cieux, des étoiles et des luminaires soient, en nous, causes de la science, des vertus et des bonnes mœurs, car toutes ces choses là sont plus nobles que les vertus attribuées aux cieux par ces auteurs.

» En outre, les vertus dont proviennent ces opérations sont ou bien corporelles ou bien spirituelles. » Et Guillaume va examiner successivement ces deux hypothèses.

« Vous avez déjà appris ailleurs que les vertus corporelles n'agissent que par le contact [direct] de l'agent et du patient, ou bien par le contact de chacun d'eux avec un milieu ; ce milieu, il faut qu'il touche l'agent et le patient et qu'il transporte une propriété de celui-là à celui-ci...

» Les opérations des vertus corporelles seront donc interrompues par l'interposition d'un obstacle, à moins que l'obstacle interposé ne soit, lui-même, apte à pâtir de la part de cet agent. Lors donc qu'un homme entre dans sa maison ou dans quelque abri, voilà que toutes les opérations célestes sont, pour lui, interrompues, tout comme se trouve interrompue, lorsqu'il entre dans sa maison, l'opération par laquelle le Soleil l'éclairait... Les vertus célestes ne peuvent donc rien sur les hommes, si ce n'est lorsque ceux-ci sont hors de leurs demeures. Dès lors, chaque fois qu'un homme entrera dans sa demeure, il lui arrivera de changer de mœurs, de religion et de secte ; ou du moins, s'il y reste quelque temps et s'y repose, en lui se détruiront tous les

effets reçus des vertus célestes, comme il perd, par le séjour et le repos dans une maison fraîche et obscure, tout ce qu'il avait éprouvé de la chaleur et de la lumière du Soleil. »

Disons-nous, alors, que les actions exercées par les astres sont des actions spirituelles ? Que les astres façonnent à leur guise les choses d'ici-bas comme l'intelligence de l'artiste façonne la matière ? Guillaume observe alors que notre intelligence ne saurait produire au dehors aucune opération purement spirituelle. L'opération spirituelle intérieure à notre âme met en mouvement les organes de notre corps et ceux-ci, à leur tour, meuvent leurs instruments. « Telle est donc la manière d'opérer des substances spirituelles qui sont conjointes à ces corps ; ces substances effectuent d'abord, en elles-mêmes, des opérations purement spirituelles ; par ces opérations, elles accomplissent alors des opérations corporelles sur les corps qui leur sont conjoints ; par ces premières opérations corporelles, elles en accomplissent d'autres dans les corps qui leur sont étrangers ; l'ordre suivant lequel procèdent ces opérations est tel : au fur et à mesure qu'elles s'éloignent de la subtilité et de la noblesse spirituelle, on les voit, pour ainsi dire, devenir de plus en plus grossières. »

Dès lors, il est manifeste que cette façon d'opérer ne peut être celle à laquelle on attribue l'influence des astres sur les mœurs et les religions. « L'âme du Soleil n'use du corps du Soleil que pour agir sur les corps, en les éclairant et les échauffant... De cette manière, donc, ne peuvent être imprimées que des dispositions corporelles dénuées de toute noblesse, et nullement les sciences, les arts, le don de prophétie ni aucune vertu. »

Partant, il faudra que les astrologues admettent une action spirituelle que les âmes des astres exercent

directement sur nos âmes ; mais « ces âmes ne peuvent faire découler en nous que ce qu'elles possèdent ou des dispositions semblables à celles qu'elles possèdent ». Alors, ou bien un astre infusera sans cesse les mêmes dispositions spirituelles dans les choses d'ici-bas ; ou bien il faudra supposer que les vertus de l'âme de cet astre changent suivant la diversité des opérations effectuées dans ces êtres inférieurs ; voilà donc ces vertus contraintes d'être différentes selon que l'astre est dans son ascension, ou au méridien, ou dans telle ou telle des maisons que distinguent les astrologues, dans tel ou tel des angles et des lieux qu'ils marquent au ciel.

Ainsi, de quelque manière qu'on la veuille prendre, la supposition que les religions et les mœurs résultent de l'influence des astres conduit à des absurdités.

Assurément Guillaume a rencontré des Chrétiens qui, comme l'auteur des *Tables de Marseille*, pensaient concilier l'Astrologie et la foi en regardant les astres comme de simples signes de l'avenir. L'Évêque de Paris va leur montrer que le faux-fuyant auquel ils recourent est impuissant à les sauver du fatalisme.

« Ou bien, dit-il, les constellations, les positions des étoiles et des lumineaires ne sont que signes des événements d'ici-bas, ou bien ils en sont, à la fois, signes et causes.

» Si ces phénomènes en sont seulement signes, ou bien la chose signifiée les accompagnera nécessairement ou bien non.

» Si oui, comme les signes sont nécessaires, que rien ne les peut détourner ni changer, les événements seront, eux aussi, incapables d'être changés ni détournés ; tout arrivera donc d'une manière nécessaire dans le domaine des choses morales.

» Si ce sont, au contraire, des signes que n'accompagnent pas nécessairement les événements d'ici-bas,

il sera possible de disjoindre les événements de leurs signes ; mais un signe dont la chose signifiée est disjointe, [en sorte qu'elle ne l'accompagne plus], est un signe menteur, car un semblable signe peut tromper ; dès lors, des significations de semblables signes, il ne saurait y avoir de science ; la science ni l'art, en effet, ne porte sur ce qui est sujet à erreur...

» Si ces phénomènes sont, à la fois, signes et causes des événements d'ici-bas, comme ces phénomènes, considérés en eux-mêmes, sont nécessaires, il faudra bien que les événements le soient aussi. En effet, le mouvement des cieux, avec toutes les dispositions qui en résultent, est nécessaire et ne peut être changé... En même temps, donc, tous les événements créés par les constellations seront nécessaires, et rien ne les pourra détourner. »

§ IV. — GUILLAUME D'AUVERGNE ET L'ASTROLOGIE (*Suite*)

LE *De universo*

Au *De legibus*, vers la fin de sa discussion contre l'Astrologie, Guillaume d'Auvergne écrivait :

« Quelle est la vérité au sujet des jugements d'Astrologie ; jusqu'à quel point s'y peut-on fier sans danger pour la foi et la piété, ce sont questions à la solution desquelles je surseois. C'est, en effet, une affaire qui requiert un traité plus long et une discussion plus complète. » Ce traité plus long et cette discussion plus complète, l'Évêque de Paris les devait donner dans son *De universo*.

Le *De universo* est un traité plus savant que le *De legibus* ; Guillaume d'Auvergne y cite nombre d'auteurs dont il admet ou combat les opinions. Nous avons dit ailleurs quels philosophes il connaissait et réunissait sous cette désignation collective : *Aristoteles*

et ejus sequaces. Mais il n'a pas lu que les œuvres des philosophes ; au sujet des marées, par exemple, il nous apprend (1) « qu'il a lu ce qu'Albumasar a écrit dans son livre qu'il nomme : *Introductorium judiciorum astronomorum* ». Ailleurs, il cite le *Centiloquium* attribué à Ptolémée (2).

L'*Introductorium* d'Abou Masar n'était d'ailleurs pas, très certainement, la source unique de ses connaissances touchant les principes de l'Astrologie ; ces principes, en effet, il les possède avec une plénitude et une précision que cet ouvrage n'eût pas suffi à lui donner.

C'est à propos de la Grande Année que Guillaume expose (3) le système par lequel les philosophes justifiaient non seulement le retour périodique de l'état du Monde au bout de cette Grande Année, mais encore le gouvernement des circulations célestes sur les choses d'ici-bas.

Ce que dit à ce sujet l'Évêque de Paris mérite d'être rapporté en entier. Nous y verrons, tout d'abord, avec quelle exactitude il était informé des doctrines qu'il se proposait de combattre. Nous y verrons aussi, au sujet de la définition astronomique de la Grande Année, quelle opinion avait cours de son temps.

« Après ce que nous venons de dire, écrit-il, il est logique d'examiner s'il y a renouvellement du Monde, s'il n'y a qu'un Monde ou s'il y en a plusieurs...

» Je vous exposerai donc, tout d'abord, l'opinion des

(1) Guillelmi Parisiensis *De universo*, Primæ partis principalis pars I (Guillelmi Parisiensis *Opera*, ed. 1516, tract. III, cap. XXXIX, t. II, fol. cxxviii, col. d.).

(2) Guillelmi Parisiensis *De universo*, Primæ partis principalis pars I (Guillelmi Parisiensis *Opera*, ed. 1516, tract. III, cap. XXXI, t. II, fol. cxxviii, col. b.).

(3) Guillelmi Parisiensis *De universo*, Primæ partis principalis pars II (Guillelmi Parisiensis *Opera*, ed. 1516, t. II, fol. cxlvii, coll. c. et d.).

Anciens. L'opinion de ces Anciens, des astronomes et de quelques poètes est donc la suivante :

» Au bout de l'Année qu'ils nomment Année cyclique (1), il y aura rénovation de l'Univers ; toutes choses seront alors comme elles étaient au début même de la création de l'Univers ; pendant la seconde Grande Année, les siècles s'écouleront tous de la même façon qu'ils se sont écoulés durant la première ; en chacun des nouveaux siècles, on verra revenir les mêmes choses qui ont existé au cours des premiers siècles.

» On verra, par exemple, revenir le même Platon, le même Aristote ; tous les autres hommes reviendront les mêmes ; ils renaîtront dans le même ordre, accomplissant exactement les mêmes actions, subissant les mêmes passions qu'ils ont accomplies ou subies en leurs temps ; d'une manière générale, dans chaque partie du Monde, tous les événements seront identiques à ceux qui les ont précédés. Cette rénovation, donc, c'est simplement le retour de toutes choses non seulement à leur état antérieur, mais encore à tout leur cours antérieur, actions, passions et événements de toutes sortes.

» A leur avis, cette Grande année contient 36 000 ans. Il en est ainsi, parce que, selon ce qu'a démontré Ptolémée, chacune des étoiles fixes se meut d'un degré en cent ans ; or tout cercle céleste contient trois cent soixante degrés ; chacune des susdites étoiles accomplira donc sa révolution totale, et décrira tout un cercle céleste en autant de centaines d'années que le cercle contient de degrés, partant en trois cent soixante centaines d'années. La Grande Année des étoiles fixes contient donc 36 000 ans. Quant aux sept astres errants, ils pensent qu'au bout de ce même nombre

(1) Au lieu de : *annum vertentem*, le texte de 1516 porte : *annum virtutem*.

d'années, ils reviennent aussi, sans aucun changement, à leur état primitif. La durée dont nous avons parlé est donc celle de la révolution du ciel entier et du retour de tous ses mouvements à leur point de départ.

» Venons maintenant au monde de la nature, au monde de la génération et de la destruction qui est contenu dans la sphère de la Lune et que, pour cette raison, on nomme sublunaire. Selon leur opinion, ce monde admet le monde supérieur pour chef, pour cause de tous ses mouvements et de tous ses changements ; le monde sublunaire suit donc nécessairement le monde supérieur ou céleste ; en même temps que ce dernier, pris en sa totalité et dans chacune des choses qui lui appartiennent, il reprendra son état primitif.

» Cela veut dire que tous les hommes, que tous les animaux, que toutes les autres choses contenues dans ce monde sublunaire seront régénérés et réparés, de façon à redevenir les mêmes ; à partir de ce moment, toutes ces choses suivront leur cours, soumises, par l'effet de révolutions célestes qui seront les mêmes, aux mêmes destructions, aux mêmes générations, aux mêmes événements de toutes sortes ; il en sera ainsi jusqu'au moment où le Monde et la durée de trente-six mille ans atteindront une seconde fois leur accomplissement. Cet accomplissement sera suivi d'une répétition semblable, et il en sera de même à l'infini.

» Parmi les hommes qui admettent cette opinion, les uns ont supposé le Monde éternel ; d'autres, au contraire, ont pensé qu'il avait été créé depuis un certain temps. Les uns, donc, ont été contraints de supposer qu'il y avait eu, déjà, une infinité de rénovations de ce genre et qu'il y en aurait, à l'avenir, une infinité. Les autres, au contraire, ont supposé qu'il y avait une infinité de rénovations à venir, mais qu'il n'y avait pas eu une infinité de rénovations passées ; le fait que le

Monde a été innové, qu'il a eu un commencement, ne le permet pas.

» Il vous faut savoir, en outre, qu'au dire de certains, cette Grande Année, nommée aussi Année du Monde, comprend une durée de 40 000 ans ; et je crois que s'ils le disent, c'est, peut-être, à cause de la diversité que présente le retour des sept astres errants. Quelle est, à ce sujet, la vérité, il vous est facile de le voir, car on connaît les mouvements des planètes, et on trouve aisément ce qu'ils seront à n'importe quelle époque donnée ; mais cela n'a point trait à l'objet du présent traité. »

Nous voyons que les astronomes et astrologues auprès desquels Guillaume d'Auvergne s'était enquis de la Grande Année regardaient comme égales entre elles deux périodes distinctes :

1° La durée attribuée par Ptolémée à la lente révolution des étoiles fixes.

2° La durée qui s'écoule entre deux dispositions identiques des astres errants par rapport aux étoiles fixes.

La valeur commune de ces deux durées, trente-six mille ans, mesurait la Grande Année ou Année du Monde.

Les Chrétiens avaient certainement reçu des Arabes cette définition de la Grande Année. Nous avons vu (1) que les Frères de la Pureté et de la Sincérité professaient très exactement à cet égard, la doctrine que Guillaume vient de nous exposer. Les Arabes, d'ailleurs, tenaient sans doute cette définition des Indiens.

Que la durée de trente-six mille ans fût, au temps de Guillaume d'Auvergne, regardée comme l'évaluation la plus probable de la Grande Année, Joannes de

(1) Voir : *Le Système du Monde*, Première Partie, ch. XII, § V ; t. II, pp. 215-220.

Sacro-Bosco nous en est témoin. Dans son traité du *Comput ecclésiastique*, qui fut rédigé soit du vivant de Guillaume d'Auvergne, soit peu de temps après la mort de ce prélat, voici comment il s'exprime au sujet des années (1) :

« Parmi les années, on distingue l'année particulière de chaque astre errant, et l'année commune à tous ces astres : celle-ci reçoit spécialement le nom d'Année du Monde ou Année parfaite...

» La Grande Année est l'espace de temps au bout duquel tous les astres errants, avec les étoiles fixes de tout le firmament, reviennent aux places qu'ils occupaient lors de la première origine du Monde. C'est de cette Année que Josèphe a fait mention en ces termes : ... »

Après avoir cité le texte où l'Historien juif parle d'une Grande Année de six cents ans, notre auteur poursuit ainsi :

« Il existe un avis plus véritable des Philosophes, définissant par une durée de 15 000 ans la Grande Année, qui est l'Année du Monde tout entier ; d'où ces vers :

Millia ter quinque Mundus complectitur annos,
Ut Plato testatur, quos Magnum nuncupat Annun.
Ex his bis centum minus uno, millia quinque
Præcessere tuæ novæ legis tempora, Christe.

» Toutefois, l'Année parfaite du Monde paraît contenir 36 000 révolutions du Soleil. »

Nous avons trouvé un enseignement qu'on peut rapprocher du précédent dans un très court opuscule manuscrit qui nous a été communiqué par M. Jacques Rosenthal, le savant libraire de Munich.

(1) Libellus Ioannis de Sacro Busto, *De anni ratione, seu ut vocatur vulgo Computus Ecclesiasticus. Cum Prefatione Philippi Melanthonis*, 1545. Colophon : Impressum Vitebergæ, apud Vitum Creutzer. Anno MDXLV. — De annis, fol. sign. L 3, V^o, et fol. sign. L 4, r^o et v^o.

Cet opuscule est intitulé : *Quid sit annus solaris* RUB.

Quel est ce Robert (*Rubertus*) qui s'est proposé de définir l'année solaire ? Serait-ce Robert Grosseteste, évêque de Lincoln, que souvent, dans les manuscrits, désigne le simple prénom de Robert, et qui avait ainsi coutume de rédiger de très courtes pièces ? L'hypothèse est assez vraisemblable ; mais elle n'est point certitude.

L'opuscule débute par cette définition de l'année solaire :

« *Annus est solaris anfractus cum, peractis trecentis sexaginta quinque diebus, [Sol] ad eadem loca siderium (sic) redit* ».

Il prend fin par ces paroles :

« *Quot autem sunt anni ab origine Mundi dictum est sub hoc.* »

Or, dans ce petit écrit nous lisons le passage que voici :

« *Magnus autem annus completur reversis planetis omnibus ad loca sue creationis, quod fit annis non paucioribus CCCCXXX. Mundi vero annus erit omnibus stellis ad prima loca reversis quod fit demum post XV millia annorum. Magister dicit in historia Gen., ubi agit de ebrietate Noe, quod magnus annus impletur per circula sex-centorum annorum.* — La Grande Année est accomplie lorsque tous les astres errants sont revenus aux lieux qu'ils occupaient lors de leur création, ce qui ne se fait pas en moins de cinq cent trente ans. Quant à l'Année du Monde, elle sera accomplie lorsque toutes les étoiles seront revenues à leurs places primitives, ce qui a lieu après quinze mille ans. Dans l'histoire de la Genèse, là où il traite de l'ivresse de Noé, le Maître (Moïse) dit que la Grande Année s'accomplit par cycles de six cents ans. »

Cet enseignement de Joannes de Sacro Bosco et de

Robert s'accorde visiblement avec celui de Guillaume d'Auvergne, bien qu'il soit moins clair et moins complet. Il nous apprend que la pensée de la Grande Année platonicienne, de l'Année qu'embrasse la vie du Monde, hantait les écoles du Moyen Age ; les computs versifiés qu'y apprenaient les jeunes élèves n'avaient garde d'omettre la détermination de cette période ; la tradition la plus communément répandue lui attribuait une durée de quinze mille ans ; mais les hommes plus instruits regardaient la durée de trente-six mille ans comme plus probable. En combattant donc la croyance à la Grande Année, Guillaume d'Auvergne ne se battait pas contre une chimère ; l'erreur qu'il condamnait était bien vivante chez ses contemporains.

Nous ne suivrons pas dans tous ses détails la lutte que l'Évêque de Paris mène contre la superstition astrologique ; plusieurs longs chapitres du *De universo* sont consacrés à cette discussion, dont nous ne retiendrons que quelques chefs principaux.

Il est, d'ailleurs, des parties de cette discussion où l'auteur reprend ce qu'il avait déjà dit au *De legibus*, et il a soin d'en faire la remarque (1) :

« Déjà, dans un autre traité, vous m'avez entendu dire beaucoup de choses à ce sujet, et je vous ai donné les principes propres à détruire ces opinions.

» Le premier de ces principes était le suivant : Aucune vertu ne saurait donner ce qui est plus grand ou plus noble qu'elle-même. Tous les philosophes s'accordent en ce point, car tout don est meilleur et plus grand dans celui qui donne que dans celui qui reçoit.

» Dans ce même traité, j'ai également fait usage de cet autre principe : Les vertus spirituelles et les dons spirituels, tels que les arts, les sciences et les autres

(1) Guillelmi Parisiensis *De universo*. primæ partis principalis pars I (Guillelmi Parisiensis *Opera*, ed. 1516, tract. III, cap. XXXI, t. II, fol. cxliii, col. b).

perfections des âmes humaines ne proviennent point de corps pris en eux-mêmes et en tant que corps. »

Nous ne nous arrêterons pas aux passages où le *De universo* reprend en les expliquant, les détaillant, les illustrant d'exemples, les arguments que le *De legibus* avait opposés à l'Astrologie ; de cette discussion, renouvelée et étendue, nous nous bornerons à citer deux passages : dans l'un, nous verrons Guillaume user de sa verve spirituelle ; dans l'autre, nous l'entendrons faire appel à son bon sens.

Voici d'abord pour l'esprit (1) :

« Quelqu'un, qui me l'a conté en personne, s'est joliment moqué d'un mage qui lui promettait une haute dignité... » — « Si Dieu, lui répondit-il, ne veut pas que j'obtienne cette dignité, pourrez-vous faire que je l'obtienne ? » — « Si Dieu ne le veut pas, je ne le pourrais faire d'aucune façon. » — « Et si Dieu veut que je l'obtienne, pourrez-vous empêcher que cela ne soit ? » — « Ni moi ni personne d'autre ne le peut. » Alors notre homme de dire au mage : « Tout est donc à la volonté de Dieu ; aussi, je m'en remets à lui pour tout ce qu'il a décrété. »

Voici maintenant comment le bon sens renverse la supposition de la Grande Année (2) : « Pourquoi cette intention naturelle se portera-t-elle à deux objets contraires ? Pourquoi la nature tendra-t-elle non seulement à engendrer, mais aussi à corrompre et détruire ce qu'elle a engendré ? Il ne paraît pas possible qu'une seule et même nature ait l'intention de produire deux effets contraires ; cette intention serait ridicule, comme serait ridicule, chez un maçon, l'intention de bâtir et de démolir une même maison ; un homme qui bâtit

(1) Guillaume d'Auvergne, *loc. cit.* ; éd. 1516, t. II, fol. cxvii (marqué cxvii), col. b.

(2) Guillelmi Parisiensis *De universo*, primæ partis principalis pars II [Guillelmi Parisiensis *Opera*, ed. 1516, t. II, fol. cl, col. c].

une maison et qui, en même temps qu'il la bâtit, la démolit, fait comme s'il ne la bâtissait pas...

» J'ai dit qu'une vertu de ce genre tendait à produire un effet infini ; mais on aurait pu dire semblablement, comme il paraît, qu'elle tend au néant ; de même, en effet, qu'elle tend à l'existence par une génération continuelle, de même, par une destruction continuelle, tend-elle au non-être, c'est-à-dire au néant. »

Par une admirable intuition, Guillaume a compris que l'œuvre de la nature doit se poursuivre dans un sens bien déterminé et toujours le même ; que cette œuvre ne peut consister en deux opérations alternatives et de sens opposés qui se compensent l'une l'autre. Cet éclair met en évidence l'impossibilité d'un Monde qui, éternellement et périodiquement, parcourrait le même cycle, du Monde que concevaient la plupart des philosophies antiques ; en même temps, il fait entrevoir le Monde de la Science moderne, le Monde qui n'admet pas de mouvement perpétuel, qui se soumet aux lois de Sadi Carnot, de Clausius, de William Thomson.

Mais laissons les objections de Guillaume contre l'Astrologie et demandons lui ce qu'il regarde comme véritable dans les actions qu'on prête aux astres.

« Afin que je vous donne l'exposé complet des principes relatifs aux jugements astronomiques, écrit l'Évêque de Paris (1), voici ce que je vous dirai par un bref discours : Ce qui semble le plus probable touchant les vertus et effets des étoiles et des astres, on le déduit des opérations qu'exercent les vertus des autres choses telles que les animaux, leurs diverses parties, les herbes, les médecines, les pierres précieuses ; les

(1) Guillelmi Parisiensis *De universo*, primæ partis principalis pars I (Guillelmi Parisiensis *Opera*, ed. 1516, tract. III, cap. XXXI ; t. II, fol. cxxii, col. d).

vertus de ces choses sont comme leurs aspects et manières d'être à l'égard des autres choses. »

Guillaume va donc étudier les actions mutuelles, attractives ou répulsives, que les choses d'ici-bas exercent les unes sur les autres.

Dans cette étude, nous pourrions peut-être nous attendre à trouver, de la part de notre auteur, une attitude quelque peu sceptique à l'égard des innombrables sympathies et antipathies qu'admettait la science du Moyen Age. Il venait, en effet, de se montrer sévère envers ceux qui invoquent sans cesse de nouvelles actions de ce genre. A la suite d'une objection qu'il avait opposée aux partisans de l'Astrologie, il avait dit (1) :

« Ici, ils n'ont, pour fuir, que deux voies, dont une n'est autre que les ténèbres ; ces ténèbres, beaucoup de gens les regardent comme une retraite et un refuge pour leur ignorance ; toutes les fois, en effet, qu'on les interroge au sujet d'une cause qu'ils ne connaissent pas, ils recourent à des vertus occultes ; cette cause, disent-ils, c'est une cause occulte et une vertu cachée par laquelle telle chose est de cette façon. »

Le bon sens de Guillaume lui montre qu'on n'explique rien en invoquant une cause occulte ; mais sa crédulité se montre trop accueillante aux fables qui se débitaient communément autour de lui. La première action répulsive dont il invoque l'exemple (2) n'est-elle pas celle par laquelle cette innocente bête qu'est le basilic tuerait l'homme à distance, par son simple regard ? Pouvons-nous, toutefois, demander à notre auteur de ne point être de son temps ?

Ne nous étonnons donc pas trop de l'entendre attribuer aux gemmes une foule d'actions physiologiques qui

(1) Guillaume d'Auvergne, *loc. cit.*, éd. 1516, p. cxxii, col. b.

(2) Guillaume d'Auvergne, *loc. cit.*, éd. 1516, t. II, fol. cxxii, col. d.

font aujourd'hui sourire notre science mieux informée. Ces attributions, d'ailleurs, il est trop prudent pour les prendre à son compte ; par les « on dit », « on suppose », « les médecins attestent », qui émaillent son discours, il laisse à qui de droit la responsabilité des enseignements qu'il nous transmet. Le jaspe et les sardoines arrêtent les hémorragies, écrit-il (1), « si ce que les expérimentateurs en disent est vrai, *si vera sunt quae dicunt experimentatores de eis.* »

Sa crédulité a des bornes, d'ailleurs ; elle s'arrête au moment où les effets attribués à certains corps excèdent nettement ce qu'on peut attendre d'actions physiques : « On a étendu, dit-il (2), ces aspects et vertus des pierres précieuses ; par une supposition en faveur de laquelle on ne peut opiner (*ponentes inopinabiliter*), on en a fait des êtres spirituels ; ainsi on a imposé à l'émeraude un aspect à l'égard des richesses, un aspect attractif, dis-je, car on a prétendu qu'elle attirait la richesse vers son possesseur. »

Les superstitions de ce genre se reliaient, d'ailleurs, à l'Astrologie ; on donnait l'action des pierres précieuses pour une participation de l'action céleste ; « selon ceux qui y croyaient, toute vertu d'une pierre réside en cette pierre parce qu'en elle, il y a de la cinquième essence (3). »

L'erreur séduit l'esprit par la part de vérité qu'elle contient ; si les charlatans obtenaient crédit pour toutes les vertus merveilleuses qu'ils attribuaient aux pierres précieuses, c'est qu'ils en pouvaient montrer certaines propriétés bien réelles. « Toutes les pierres précieuses

(1) Guillelmi Parisiensis *De universo*, primae partis principalis pars I (Guillelmi Parisiensis *Opera*, ed. 1516, tract. III, cap. XXXIX, tom. II, fol. cxxviii, col. d).

(2) Guillelmi Parisiensis *De universo* primae partis principalis pars I (Guillelmi Parisiensis *Opera*, ed. 1516, tract. III, cap. XXXI ; t. II, fol. cxxii, col. d).

(3) Guillaume d'Auvergne, *loc. cit.*, éd. 1516, t. II, fol. cxxiii, col. b.

et bien polies ont un certain aspect d'amour à l'égard des fétus de paille très légers (1). » Si l'émeraude bien polie et frottée attirait un fétu à distance, ne pourrait-on, aussi bien, la croire capable d'attirer les richesses ?

Guillaume connaît les attractions qu'exercent les corps électrisés ; il se montre également informé des actions magnétiques.

Parmi les actions à distance qu'il énumère, et qu'il nomme des aspects, il distingue deux espèces, l'aspect d'amour et l'aspect de haine, c'est-à-dire l'attraction et la répulsion.

« A l'égard de la pierre d'aimant, dit-il (2), le fer a deux aspects et, en outre, un troisième qui est, pour ainsi dire, intermédiaire entre les deux premiers et formé de leur mélange.

» Par le premier aspect, le fer se comporte, en quelque sorte, à l'égard de la pierre, comme l'amant à l'égard de l'objet aimé ; de quelque façon qu'on déplace cette pierre, il la suit, pourvu qu'il en soit à une distance limitée.

» Il y a un aspect contraire, une manière d'être opposée du fer à l'égard d'une pierre d'aimant d'un autre genre ; il la fuit comme il fuirait un ennemi.

» Il y a, enfin, un troisième aspect à l'égard d'un troisième genre de pierre magnétique ; celle-ci, par une de ses parties, attire le fer ; par l'autre, elle le repousse et le met en fuite. Cet aspect est, en quelque sorte, composé des deux premiers. »

Guillaume sait qu'on peut observer non seulement des attractions magnétiques, mais encore des répulsions ; il sait aussi qu'une pierre d'aimant peut, par ses deux pôles, manifester des propriétés contraires.

(1) Guillaume d'Auvergne, *loc. cit.*, éd. 1516, t. II, fol. cxxii, col. d.

(2) Guillaume d'Auvergne, *loc. cit.*, éd. 1516, t. II, fol. cxxii, col. d.

Mais ses connaissances, bien que véridiques, sont encore confuses. Elles ne se précisent pas en ces deux lois :

Deux pôles magnétiques de même nature se repoussent ;

Deux pôles magnétiques de natures contraires s'attirent.

L'ignorance de Guillaume à l'égard de ces deux lois lui est-elle particulière ? Lui est-elle, au contraire, commune avec ses contemporains ? Comme l'Évêque de Paris paraît avoir été l'un des hommes les plus instruits de son temps, la seconde supposition est plus vraisemblable que la première. Si elle est exacte, la science des actions magnétiques va faire des progrès rapides, car en 1269, dans sa célèbre *Lettre sur l'aimant*, Pierre de Maricourt, dit le Pèlerin, connaîtra exactement les deux lois des actions magnétiques et les établira à l'aide d'expériences très claires.

Les attractions et répulsions très réelles des corps aimantés, les forces très réelles qu'exercent les corps électrisés, tels sont, nous le voyons, les exemples qui accréditaient, auprès des hommes du Moyen Age, tant de sympathies et d'antipathies fabuleuses entre corps terrestres : de même, l'action très véritable que la Lune et le Soleil exercent sur les eaux de la mer garantissait la créance que les astrologues accordaient aux influences célestes. Si l'homme ne possède jamais l'entière vérité, jamais, non plus, il ne se trompe tout à fait.

« Outre les opérations (1), les aspects et les relations que nous avons cités, on en peut trouver une foule d'autres qui favorisent l'avis de ceux qui veulent opiner avec les astronomes... En raisonnant donc d'après la réunion de tous ces faits (*aggregata ratio-*

(1) Guillaume d'Auvergne. *loc. cit.* ; éd. 1516, fol. cxxiii, coll. a et b.

cinatione), on pourrait dire comme par une sorte de conjecture : S'il y a, dans les corps terrestres, des vertus si nombreuses et si puissantes, qui sont occultes, bien que les opérations en soient manifestes, il n'est pas étonnant qu'il y ait, dans les corps célestes ou dans les cieux, une multitude de vertus admirables et occultes.

» Je vais donc vous dire s'il y a quelque vérité dans les opinions des astronomes, quelle elle est, et de quelle manière elle est vraie.

» Il est manifeste que l'aspect de la Lune agit sur ce qui est froid et humide, sur le froid même et sur l'humidité même ; aussi la Lune agit-elle sur l'humidité pour l'augmenter ou la diminuer, sur le froid pour en faire croître ou décroître l'intensité.

» Cela est très évident pour le plus grand des corps froids et humides qui est la mer ; la mer augmente ou diminue suivant que la lumière de la Lune augmente ou diminue.

» Il est manifeste que les choses se passent de la même manière pour le cerveau et la moelle des animaux ; les bouchers et les chirurgiens l'ont reconnu par une expérience très certaine.

» Qu'il en soit encore de même pour la moelle des arbres, c'est-à-dire pour les humeurs qu'ils renferment, cela se manifeste aux bûcherons.

» Mais ce qui arrive accidentellement par suite de ces accroissements et de ces flux ne peut être prédit, si ce n'est d'une manière conjecturale ; ainsi en est-il, par exemple, de la destruction des maisons ou des petits villages proches de la mer, des submersions et bris de navires, des noyades d'hommes et d'animaux [qui peuvent résulter de la marée]. De bien des manières, en effet, on peut empêcher que ces résultats ne se produisent par suite du flux de la mer ; à l'aide de digues et de barrages, on résiste à la mer et on en

évite l'inondation ; les hommes et les animaux fuient, en sorte que la mer ne les prend pas ; d'une foule de manières, connues des navigateurs et des hommes de mer expérimentés, on veille au salut des vaisseaux...

» On doit penser de même au sujet des inondations ignées que produisent trois montagnes, savoir le Volcan, l'Étna et la Chimère. Mais ces éruptions ne sont pas toujours égales et ne se font pas d'une manière unique ; il est donc manifeste qu'elles ne proviennent pas de la seule vertu de la Lune ; ... il en résulte nécessairement que d'autres planètes ou étoiles fixes participent avec le Soleil aux opérations de ce genre. »

Telles sont donc les actions que Guillaume regarde comme provenant certainement de la Lune et des astres ; ce sont celles que, depuis l'Antiquité, personne ne leur contestait ; parmi ces actions, il en est une, celle qui détermine le flux et le reflux de la mer, qui est très certaine ; quant aux autres, la croyance populaire leur accorde, encore aujourd'hui, une fréquente confiance ; si l'on tient compte de la commune crédulité au temps où vivait Guillaume, on le peut, semble-t-il, féliciter de sa réserve.

Mais plus encore que la prudence des conclusions, la forme du raisonnement qui les a fournies mérite d'être louée.

L'Évêque de Paris a commencé par réunir tout ce que l'expérience enseigne au sujet des actions que les corps d'ici-bas peuvent, à distance, exercer les uns sur les autres. Une induction conjecturale l'a conduit, alors, à admettre que les astres pouvaient, sur les corps terrestres, produire des effets de même nature. Mais c'est encore à l'observation et à l'expérience qu'il demande de manifester quelles actions émanent réellement de la Lune ou des autres astres.

La méthode suivie par Guillaume est rigoureusement scientifique. Sans doute, elle ne l'empêche pas

de professer des erreurs ; il se trompe, parce que ses contemporains, auxquels il se fie, parce que médecins, chirurgiens, bouchers, bûcherons lui donnent des propositions imaginaires ou douteuses pour vérités confirmées par une expérience constante ; mais, en dépit de ces erreurs qu'il lui eût été bien malaisé d'éviter, sa méthode le conduit à une affirmation dont l'importance est grande, et c'est celle-ci : L'action par laquelle la Lune meut la mer est semblable à celle par laquelle l'aimant attire ou repousse le fer, à celle par laquelle une pierre précieuse frottée attire les fétus de paille. Lorsque nous traiterons des marées, nous l'entendrons reprendre et développer cette analogie.

Si Guillaume d'Auvergne admet la réalité de certaines actions exercées par les astres, c'est parce que ces actions sont de même nature que celles dont les corps terrestres nous offrent des exemples. Que nous voici loin des principes à l'aide desquels le Péripatétisme ou le Néoplatonisme justifiait l'Astrologie ! Pour ces philosophes, en effet, si les mouvements célestes gouvernaient les choses d'ici-bas, c'est parce que les orbes et les astres étaient éternels, immuables et divins, absolument différents, par leur nature, des choses sublunaires.

Guillaume sait, d'ailleurs, combien le raisonnement inductif par lequel il rend vraisemblable l'existence de certaines actions émanées des astres diffère de ceux par lesquels les Astrologues prétendent justifier leurs principes. Ils eussent pu, dit-il, employer cette argumentation conjecturale, *s'ils y avaient songé* : « *Aggregata igitur ratiocinatione tanquam per aliquam conjecturam dicere potuissent, si animadvertissent...* »

Notre auteur a parlé, jusqu'ici, en physicien ; il a dit quelles actions le raisonnement inductif lui permettait d'attribuer à la Lune et, peut-être, à certains autres astres. Ces actions sont-elles les seules qui

émanent des corps célestes ? « Aux deux luminaires, aux étoiles, voire même aux cieux, peut-on attribuer des vertus qui ne soient pas semblables à celles que je vous ai nommées ?... Là est la question. » Une longue discussion des prétentions des astrologues et devins va conduire l'Évêque de Paris à sa conclusion définitive ; il ne va plus dire en physicien quelles actions astrales lui semblent réelles ; il va, en philosophe et en théologien, tracer la frontière entre les influences qu'il est permis d'attribuer aux astres et celles qu'on ne leur saurait concéder.

« Dans deux autres traités, écrit-il (1), vous m'avez entendu, déjà, développer de nombreuses objections contre cette erreur.... Je vais donc mettre fin à cette discussion et je dirai :

» On doit, comme je vous l'ai démontré dans les précédents chapitres, accorder que des vertus célestes s'exercent sur les choses contenues par la sphère de la Lune ; ces vertus ont pouvoir sur les natures radicales, c'est-à-dire sur les éléments, sur les humeurs et sur les corps qui en sont composés ; comme je vous l'ai dit précédemment, elles ont aussi pouvoir sur les êtres animés ; sur les brutes animées, elles exercent leur action avec force et d'une façon dominante, car ces êtres animés suivent, d'une manière nécessaire, les natures radicales....

» Il en est de même pour les hommes ; elles ont un certain pouvoir sur les hommes. mais elles ne l'exercent qu'autant que les hommes le veulent ; ce n'est pas, en effet, d'une manière naturelle que les hommes suivent ou fuient les natures radicales. mais bien par une libre volonté.

» Mais le vulgaire et la multitude, par suite de la

(1) Guillelmi Parisiensis *De universo*, primæ partis principalis pars I (Guillelmi Parisiensis *Opera*, ed. 1516, tract. III, cap. XXXII, t. II, fol. cxxvi, col. d, et fol. cxxvii, col. a.

pauvreté et d'autres dispositions mauvaises, suivent, en majorité, les natures radicales presque à la façon des brutes.... Ainsi, durant les chaleurs prolongées du mois de juin, la bile s'aigrit ; les hommes se mettent plus aisément et plus violemment en colère ; de là des rixes, des conflits, des guerres ; ces troubles, d'ailleurs, se trouvent surtout excités dans les pays chauds.... Ceux donc qui prévoient ces causes peuvent prédire qu'il y a aura des troubles dans ces pays, mais ils ne les peuvent prédire que d'une façon conjecturale, et en parlant d'une manière générale ; pour chaque homme pris en particulier, ils ne sauraient prévoir ni prédire rien de tel ; les sages, en effet, ceux qui dominant leurs esprits, savent qu'il ne faut pas suivre ces passions ; volontairement, à l'aide d'une force libre, ils ne les suivent pas ; ils les compriment et les éteignent en eux-mêmes ; ils pourront bien, cela est manifeste, souffrir à l'occasion de l'excès du froid ou de la chaleur, ; mais, s'ils cèdent à ces afflictions ou à ces passions, c'est d'une manière libre et volontaire ; ils ne peuvent donc pas être contraints par les opérations célestes, et aucune nécessité ne leur est imposée. »

En laissant ainsi champ ouvert aux suppositions des astrologues pourvu que le libre arbitre de l'homme soit sauf, Guillaume d'Auvergne suit la tradition des Pères de l'Église et, notamment, de saint Augustin ; à son tour, il sera généralement suivi par les docteurs catholiques du XIII^e siècle et, en particulier, par l'Université de Paris.

P. DUHEM.

LES FORÊTS CONGOLAISES

Parmi les questions qui intéressent le plus vivement l'avenir agricole, et par suite l'avenir économique de notre colonie, il faut compter celles qui se rapportent aux forêts.

Bien souvent nous sommes revenu sur la forêt tropicale congolaise, et nous avons même été amené à entamer à ce sujet une discussion avec notre confrère berlinois le D^r Mildbraed, botaniste de l'Expédition scientifique centro-africaine du Prince Ad. de Mecklenbourg. Dans le dernier fascicule du livre consacré par le D^r Mildbraed à la botanique de cette importante expédition qui a traversé la partie nord-est de notre colonie, depuis la Ruzizi jusqu'à Stanleyville, notre confrère examine quelques-uns des arguments que nous avons présentés contre une de ses thèses : la forêt tropicale vierge congolaise est très étendue, elle occupe non seulement des galeries le long des rivières, mais s'étend loin au delà des rives des cours d'eau dans l'intérieur des terres ; les habitants du pays n'ont eu, jusqu'à ce jour, que peu d'action sur elle. Cela au moins dans le nord du Congo (1).

Dans nos *Documents sur la Géo-botanique congolaise*, nous avons exposé notre avis sur divers points de cette thèse, montrant entre autres que, dans bien des cas, l'indigène, suivi par le blanc — ce que nous

(1) *Wiss. Ergebn. d. Deutsch Zentral-Afrika Exped.*, 1907-1908. Bd. II, Bot. Lief. 7, 1914.

avons désigné sous le nom global de « civilisation » — tend à détruire la forêt; non seulement celle-ci s'appauvrit en essences typiques de la forêt vierge primitive, mais elle diminue en surface (1).

Or cela n'est-il pas des plus préjudiciable à l'avenir de la colonie ?

M. le Dr Mildbraed, dans l'étude très documentée dont nous parlons, a bien voulu reproduire certains passages des analyses que nous avons consacrées à son premier travail paru peu après le retour de la mission. Nous disions dans la *CHRONIQUE COLONIALE ET FINANCIÈRE* du 7 novembre 1909 : « Le long de la rivière (Aruwimi-Ituri), dans la zone fréquemment soumise aux crues, la forêt est certes encore à peu près vierge, mais à une certaine distance du fleuve, la forêt que le Dr Mildbraed compare aux forêts riches de l'Amazonie, l'est-elle encore ? En un mot, existe-t-il partout de la forêt primaire ? Nous ne le pensons pas. La forêt tropicale primitive disparaît rapidement, et, si nous ne prenons des mesures spéciales de conservation, il ne nous sera bientôt plus possible de déterminer exactement quels sont les types végétaux qu'il faut considérer comme caractéristiques de cette forêt primaire, vraiment vierge. La civilisation qui a pénétré partiellement dans l'Ituri, comme dans toute la partie orientale du Congo — nous faisons allusion ici à la civilisation indigène, à la pénétration des indigènes venant du nord —, a dû modifier l'aspect de ces forêts et faire apparaître des types végétaux que l'on rencontre, actuellement, dans toute la forêt congolaise, et qui sont admis par la plupart des botanistes-voyageurs comme des types caractéristiques des forêts tropicales secondaires.

» Certes, comme le dit M. Mildbraed, la forêt

(1) *Documents sur la Géo-botanique congolaise*. Bruxelles 1913, p. 407 et suiv.

s'étend à l'ouest vers celles du Cameroun et de la Côte occidentale d'Afrique: mais si, ce qui est possible, elle a été continue dans le temps, elle est interrompue de nos jours, et cela, on pourrait presque l'affirmer, par l'action de l'homme qui, à l'aide des incendies et de ses cultures irrationnelles, a réussi à diminuer fortement l'aire de dispersion de la forêt, laissant tout envahir par la *brousse* dont il peut difficilement tirer profit. »

M. le Dr Mildbraed objecte à cette manière de voir, que l'Aruwimi-Ituri n'est guère soumis aux crues et que la civilisation n'a pas pu agir sur la forêt. Nous pouvons admettre jusqu'à un certain point la première objection, bien que, au dire de nombreux ingénieurs, dans la forêt nord-est du Congo, un peu plus à l'ouest peut-être de la partie visitée par l'expédition allemande, la forêt est inondée partiellement pendant une partie de l'année, ce qui favorise grandement sa conservation, en empêchant l'indigène de s'y fixer ou d'y faire des cultures. Mais nous ne pouvons admettre la seconde partie, car il existe là des indigènes qui cultivent, et toutes les cultures sont faites après destruction de la forêt. Cela ne change donc rien à ce que nous avons écrit, nous maintenons notre appréciation, en la renforçant, car actuellement nous ne dirions certainement plus « on pourrait presque l'affirmer », mais bien « on peut l'affirmer ».

D'une de nos études parue dans la REVUE DES QUEST. SCIENT., octobre 1912, le Dr Mildbraed reprend ceci : « Nous croyons cependant que dans la région de l'Ituri, la grande forêt tropicale est réduite à des *rûleaux forestiers*, plus ou moins épais, et nous sommes persuadé que cette grande forêt tropicale n'est pas, dans le Congo, aussi compacte qu'on l'a fréquemment dit et écrit, et qu'en outre elle est rarement vierge ».

Contre cette appréciation notre confrère doit, dit-il,

fortement s'élever; de même contre celle que nous avons émise dans nos *Documents pour l'étude de la Géobotanique congolaise*, p. 173, où nous disions : « Il faut bien noter que dans ses pérégrinations, le botaniste de l'Expédition allemande a surtout exploré les galeries des rivières et que cette circonstance a peut-être influencé son appréciation de la flore de l'est de la zone indiscutablement forestière, car ce sont certainement les bords des rivières qui ont vu, nous en avons indiqué les raisons, leur flore le moins modifiée par l'action de l'homme ».

M. Mildbraed insiste sur le caractère très net de grande forêt de haute futaie que présentent les bois de l'Ituri : « Il semble, ajoute-t-il, que De Wildeman a comparé la région de l'Ituri avec celle du Bas- et Moyen-Congo ». Puis il constate qu'il n'existe pas de galerie le long de l'Aruwimi, mais bien la forêt continue.

Admettons-le : il paraît actuellement peut-être assez bien établi que l'Aruwimi et une bonne partie de ses affluents, se trouvent dans la grande forêt ; mais faisons remarquer que M. le D^r Mildbraed dit lui-même que cette situation n'est pas celle que l'on rencontre partout dans le Congo. Il dit même expressément (1), à propos des galeries forestières du Bas-Congo et de l'Angola, dont la flore est, d'après lui, très semblable à celle de la « Hylaea », qu'on peut considérer ces galeries comme des reliques, des restes d'une époque où la forêt était beaucoup plus étendue. Toutefois cette diminution de la forêt ne serait pas due, d'après lui, à l'intervention de l'homme, mais surtout à une diminution de la chute d'eau et à une augmentation de la température.

(1) Mildbraed, *loc. cit.*, p. 690.

Certes ces facteurs ont pu agir dans le passé, mais actuellement leur action, si elle se fait peut-être encore sentir, nous paraît bien moins importante que celle de l'homme.

Si, comme le dit M. le D^r Mildbraed, pour essayer de prouver le peu d'influence de l'homme et de l'introduction de ses cultures sommaires, on doit faire des étapes de dix, vingt et souvent trente kilomètres pour trouver des traces de villages indigènes autour desquels la forêt est plus ou moins détruite, il faut reconnaître que les photographies publiées sur la région, entre autres par M. Mildbraed lui-même, nous montrent pas mal de plantes considérées par les forestiers africains comme typiques de la forêt secondaire. Cette constatation n'impose-t-elle pas la question : « La forêt est-elle encore vierge ? »

On peut affirmer en tout cas qu'autour des postes, peu nombreux, nous voulons bien l'accepter, la forêt a subi et subit encore journellement l'action de l'homme, même dans la région de l'Aruwimi-Ituri.

Nous pourrions citer à l'appui de notre appréciation de l'origine secondaire de certaines brousses de l'intérieur de la grande forêt congolaise, les observations de M. F. Thonner. Il a remarqué, surtout vers la limite nord de cette forêt, le morcellement qu'elle présente. Dans la description sommaire de son voyage de Mandungu vers le Nord, il écrit : « D'Abumonbazi, je me mis en route vers Yakoma. Après avoir quitté les plantations et traversé l'Ebole, on marche d'abord sous la haute futaie, mais après deux heures de marche, la forêt cesse brusquement et on entre presque sans transition dans une savane formée de graminées de deux mètres de hauteur où quelques arbustes sont dispersés. Puis on rentre dans la forêt... Graduellement les grands arbres deviennent plus rares, et on se trouve

de nouveau parmi les broussailles qui s'étendent jusqu'au village du Congo (1). »

D'autre part, M. C. Janssen, secrétaire général de l'Institut colonial international, vient d'exposer, dans *Le Régime forestier aux Colonies*, ses idées relativement à l'action des habitants du Congo, sur la forêt du centre africain (2). « Les forêts de cette colonie, dit-il, à propos du Congo belge, ne sont exploitées que par les indigènes qui y coupent les arbres destinés à la confection de leurs pirogues et le bois nécessaire à la construction de leurs cases et aux autres usages domestiques; les Européens y coupent, de leur côté, le bois nécessaire à la construction de leurs habitations et à l'alimentation des chaudières des vapeurs naviguant sur le haut fleuve et ses affluents. Une exploitation intense n'était donc pas à redouter; le seul danger consistait dans l'incendie des forêts provenant soit de l'imprudence des indigènes, soit de l'extension des feux de brousse que les natifs ont l'habitude d'allumer à certaine saison pour préparer des terrains de culture, fumer leurs terres, détruire les animaux parasites ou se livrer à la chasse. Mais il ne paraît pas que ce danger se soit jamais produit et que de vastes portions de forêts aient été détruites par le feu. On comprend que, dans ces conditions, le Gouvernement n'ait pas cru devoir légiférer sagement en matière forestière et constituer, dès à présent et à grands frais, tout un cadre d'agents forestiers, occasionnant des dépenses qu'il a cru affecter à des nécessités plus utiles et plus urgentes. »

M. C. Janssen n'attache donc pas une grande importance aux actions destructives de l'homme sur la forêt.

(1) F. Thonner in De Wildeman, *Études Flore du district des Bangala et Ubangi*, p. xv.

(2) C. Janssen, *Le Régime forestier aux Colonies*, Bruxelles, vol. III, pp. 198-201, et LE MOUVEMENT GÉOGRAPHIQUE, 5 avril 1914, p. 193.

Nous ne sommes ni de son avis, ni de celui de M. Mildbraed. On reconnaît que l'indigène congolais, encore très nomade, détruit la forêt pour ses cultures qu'il déplace constamment. On a même très régulièrement admis qu'il n'est pas possible actuellement de maintenir l'indigène dans des limites étroites, qu'il fallait le laisser se mouvoir sur de vastes espaces sur lesquels d'ailleurs il semble avoir acquis certains droits. Or, s'il se déplace dans une région forestière, comment cette région pourrait-elle être conservée intacte?

D'ailleurs nous ne sommes pas seul à attribuer aux pratiques indigènes une très large part dans la destruction des forêts et à la constitution en leur lieu et place de ces brousses qui deviennent rapidement sans utilisation possible au point de vue agricole.

M. Maury qui a voyagé entre Irumu et Beni, nous a, dans une lettre, donné du pays la description suivante : « Les villages que j'ai rencontrés en forêt entre Irumu et Beni, par exemple, occupaient en général des clairières (sauf pour les Wambiti). Les indigènes les créaient souvent eux-mêmes en abattant les arbres aux endroits où ils désiraient cultiver ; ils attaquaient pour cela les plus gros par le feu, mis à la base. Quand le village émigre, par suite de diverses circonstances, le terrain ne tarde pas à être envahi par une brousse intense, où l'on retrouve dans les premiers temps certaines plantes caractéristiques, telles que des bananiers et des ricins. »

Inutile d'insister sur ces genres de plantes qui accompagnent les indigènes, et sont une preuve irréfutable de leur présence antérieure dans la brousse considérée.

Étudiant au Congrès colonial de Gand, en août 1913, la protection de la flore et de la faune, dans les régions tropicales (1), M. le baron F. Fallon a pu citer ce pas-

(1) L'AGRONOMIE TROPICALE, VI^e année, janv. 1914, part. II, p. 4.

sage très suggestif d'un rapport du conservateur des Forêts de l'Afrique orientale anglaise (1) : « L'une des choses les plus difficiles, écrit M. Hutchins, dans tout pays neuf, où les terres sont concédées à une population nouvelle, c'est d'empêcher l'aliénation, avec les terres, des forêts de valeur qui devraient être conservées comme domaine de l'État. Une fois les forêts aliénées, on n'a jamais trouvé le moyen de veiller efficacement à leur conservation... Il y aurait lieu de se montrer plus sévère dans l'octroi des concessions forestières et de réserver d'urgence, au profit de l'État, de grandes étendues de forêts contenant encore de beaux peuplements. »

Nous avons là des opinions très nettes sur l'action dévastatrice de l'homme, indigène et colon, et nous pouvons en conclure, comme nous l'avons fait antérieurement, non seulement la nécessité d'empêcher ces destructions souvent inutiles, mais aussi celle d'enrayer l'extension des feux de brousses, qui, quel que soit leur but, viennent se greffer sur une première destruction de forêt, et sont toujours nuisibles. De fait, tous les gouvernements coloniaux se sont préoccupés de ces feux de brousses ; il faut chercher à les restreindre en appliquant le plus sévèrement possible les règlements promulgués.

On nous répondra à coup sûr que le terrain dont la couverture forestière a été détruite, soit par les indigènes pour l'extension ou le déplacement de ses cultures, soit par le blanc pour la création de stations ou de grandes cultures de rapport, pourra, s'il est abandonné à lui-même, ce qui sera rapidement le cas pour les champs des cultures indigènes, se recouvrir spontanément d'une nouvelle forêt. Cela peut être partiellement vrai si des conditions éminemment favorables

(1) *Report on the Forest of Brit. East Africa*. London, 1909, Colon. office.

à la reforestation se présentent ; elles sont, ne l'oublions pas, très rares sous les tropiques. Mais jamais la forêt qui se reproduit dans ces conditions, il ne faudrait pas non plus le perdre de vue, ne prend les caractères de la sylvie primitive ; jamais, si l'homme n'intervient pas par des mesures protectrices, nous ne verrons réapparaître les bois durs à végétation lente, qui sont, parmi les plantes de l'association forestière primitive, celles qui ont le plus de valeur.

On semble aussi perdre de vue ce que disait en 1908. le Dr Busse, dans son étude : *Die periodischen Grasbrände in tropischen Afrika*, paru dans les MITTEILUNGEN AUS DEN DEUTSCHEN SCHUTZGEBIETEN, en examinant, p. 118, les suites directes de la déforestation en Afrique. « Man Kann es als mit Gewissheit erwisen betrachten, dass sich nur in bestimmten, relative seltener Fällen und unter ausnahmsweise günstigen Bedingungen auf der einmal freigelegten Fläche eine natürliche Regeneration des Waldbestandes in seiner ursprünglichen Zusammensetzung vollzieht. » Et après avoir souligné cette phrase il ajoute que cela n'est d'ailleurs possible que si le développement des arbres n'est pas empêché par de nouveaux incendies.

M. Louvel, garde général des Eaux et Forêts à Madagascar, a récemment appuyé fortement, dans une étude sur les forêts de l'ouest de la grande île, sur la manière dont se sont constitués, dans cette région, les taillis, les clairières et les vastes savanes. Les feux de brousse produisent d'après lui les transformations suivantes (1) : au premier incendie, les essences à écorce lisse et mince sont détruites ; ne peuvent résister que celles dont les écorces sont puissantes et le bois protégé

(1) Louvel. *Les forêts de l'Ouest de Madagascar*. Paris, Challamel, 1914. 1 vol. in 8°, 69 p., fig. dans le texte, 1 carte en couleurs hors texte.

par un liège épais, crevassé irrégulièrement et parfois plus ou moins gorgé d'eau.

C'est ce que l'on voit dans la plupart des brousses africaines actuelles : tous les arbres qui ont résisté sur les confins de la forêt ou dans la brousse sont des arbres relativement réduits, à écorce épaisse tels que certains *Erythrina*.

Dans l'ouest de Madagascar, les arbres forestiers possèdent un enracinement profond, moyen naturel de lutter contre la sécheresse et de reformer des rameaux aériens aux dépens des racines, si la tige principale vient à être détruite.

Il en est certainement de même dans notre Congo, où, dans les brousses, les plantes buissonnantes possèdent indiscutablement cette propriété.

Il suffit de rappeler comme possédant ce mode de végétation les *Landolphia Thollonii* Dew. et *Landolphia humilis* K. Schum., si abondants dans les brousses congolaises ou à la lisière des forêts ; c'est grâce au développement de leur pivot radical que ces plantes ont pu, jusqu'à présent, résister aux incendies périodiques des herbes de la plaine (1).

D'ailleurs cette structure n'est pas spéciale à l'Afrique et très souvent elle a été décrite pour des plantes des régions désertiques de l'Amérique ; ces déserts n'ont peut-être pas les mêmes origines que nos brousses africaines, mais les conditions extérieures y étant les mêmes, les plantes ont pris les mêmes aspects et se sont protégées de même façon (2).

A Madagascar, comme au Congo, le feu, soit dès

(1) Cf. De Wildeman, *Mission Ém. Laurent*, vol. 1, p. 454, fig. 84, p. 491, fig. 106 et De Wildeman, *Mission permanente de la C^e du Kasai*, p. 80, pl. VI.

(2) W. A. Cannon, *The root habits of desert plants*. Carnegie Institution of Washington, p. 131. — Fr. E. Lloyd, *Guayule. A Rubberplant of the Chihuahuan Desert*. Carnegie Institution of Washington, n. 139. — W. A. Cannon, *Botanical features of the Algerian Sahara*. Carnegie Institution of Washington, n. 178.

la première apparition, soit après une reprise, détruit la tige principale : il se forme alors après les pluies une cépée de rejets, plus ou moins vigoureux, qui vont permettre à la plante de continuer à vivre. Vienne un nouvel incendie, les rejets sont infailliblement détruits car ils sont trop faibles pour résister ; ils peuvent cependant, grâce à la force vitale des racines, être reformés après la saison des pluies, mais leur vigueur est fortement atténuée.

On voit ainsi se substituer à la forêt un taillis qui petit à petit disparaîtra, pour faire place à la brousse d'où émergera de-ci de-là un arbre rabougri dont les extrémités seront, à chaque feuillaison, roties par les feux de brousse, mais dont l'écorce épaisse, gorgée de suc protégera le tronc et permettra la conservation, dans les racines, d'une force suffisante pour maintenir la plante.

Et M. Louvel, n'hésite pas à ajouter que c'est là ce que « quelques personnes, peu initiées aux choses forestières, considèrent comme étant la forêt en voie de reconstitution, alors que c'est le dernier stade par lequel elle passe avant de disparaître ».

Il déclare en outre que l'« on peut évaluer sans exagération, à deux mille hectares la surface boisée détruite annuellement dans la province de Morandava. »

Sans avoir eu connaissance des travaux de M. le Dr Busse, M. Louvel arrive donc comme lui à la conclusion que la forêt, une fois détruite, c'est la brousse qui s'empare du terrain. Certes M. le Dr Busse est amené à dire que l'épaisse forêt tropicale humide n'est que peu attaquée par le feu, qu'elle peut résister par ses constituants à structure spéciale, mais il reconnaît qu'à la lisière l'attaque se produit, et que cette attaque répétée doit finir par faire reculer la forêt.

Or elle le fera d'autant plus vite que les populations seront mieux outillées, et déjà l'influence du blanc, qui

a apporté des outils plus perfectionnés, se fait sentir sur la destruction des forêts. Aussi, cette reformation forestière que Pechuel-Loesche décrivait, en 1887, dans la région de Tshiloango et du Kwilu ne s'observe-t-elle plus guère.

Mais supposons, malgré tout ce que nous venons de rappeler, que les conditions de la reconstitution forestière soient des plus favorables et qu'après la destruction par le feu, au lieu d'une brousse, une forêt secondaire apparaisse. Il se pose alors un nouveau problème que nous ne pouvons pas actuellement élucider complètement, mais à la solution duquel il faudrait s'attacher.

Quelles sont les essences à considérer comme caractéristiques de la forêt vierge ? Quelles sont celles d'entre elles qu'il convient de protéger ? Et d'autre part, quelles sont les plantes dont la présence permet d'affirmer une déforestation ? Pour répondre à cette dernière question — la seule que nous envisageons ici — on a signalé un certain nombre de végétaux parmi lesquels le *Musanga Smithii* ou parasolier. Ce dernier paraît en effet très typique des forêts secondaires. On a renseigné aussi l'*Elaeis*, qui lui indiquerait la forêt secondaire due à la présence antérieure, en un endroit donné, de l'indigène qui aurait amené avec lui le palmier à huile pour tirer de celui-ci des produits utiles.

A l'appui de cette thèse il faut remarquer que fréquemment, comme me le signalait dans une lettre. M. Maury, du Service cartographique du Congo, au Ministère des colonies : « les confins de la grande forêt sont marqués par de grandes palmeraies ». Cette observation a été faite dans l'Ituri et dans le Maniema par exemple. Mais vers le Ruwenzori et vers Irumu, elle n'a pu être constatée, argument en faveur de l'opinion du D^r Mildbraed que dans l'Ituri la forêt

aurait sur sa lisière mieux conservé que presque partout ailleurs, ses caractères primitifs.

M. Fr. Thonner signale également vers la lisière de la forêt dans la région Abumonbazi-Gugo de nombreux *Elaeis*, autour des villages, « palmiers à huile qui sont très clairsemés vers le sud » (1).

On peut refaire la même observation dans le nord de l'Entre-Congo-Ubangi où, sur toute la limite de la forêt, il existe de grands peuplements de palmiers à huile.

Mais à ce propos, et pour cette région, il faut aussi remarquer que l'on trouve des *Elaeis* dans des endroits où l'indigène n'a pu se fixer, par exemple dans les vastes marais de cet Entre-Ubangi-Congo. Cela est en particulier le cas dans le bassin de la rivière Giri, un de ces cours d'eau, assez nombreux en Afrique, dont le lit actuel très large, peu profond et sinueux ne s'est pas définitivement fixé (Voyez pl. I-III).

L'*Elaeis*, dont il est tant question de nos jours, n'est donc peut-être pas un type excellent pour caractériser les forêts secondaires, puisqu'il pourrait apparaître spontanément dans une région.

Dans le cas de l'Entre-Ubangi-Congo, il indiquerait simplement la présence d'une terre ferme s'élevant au-dessus du niveau des hautes eaux; il formerait pour ainsi dire le noyau d'une nouvelle forêt s'installant sur une terre ferme de plus en plus développée; terre ferme qui arriverait à influencer les courants et à isoler la rivière.

Quels seront les caractères définitifs de cette nouvelle forêt; sera-t-elle à comparer à la forêt vierge primaire, à celle que l'on a si souvent décrite, mais que l'on connaît scientifiquement fort mal; sera-t-elle

(1) Fr. Thonner in De Wildeman, *Études sur la Flore des districts des Bangala et de l'Ubangi*, p. xv.

PLANCHE I



Cliché A. Sapin, 1913

LA GIRI ENTRE BOMANA ET LE VILLAGE GIRI



Cliché A. Sapin, 1913

LA GIRI PRÉS BOSESERA

LA PLAINE HERBEUSE ET MARÉCAGEUSE. A LA PLAINE HERBEUSE FAIT SUITE

LA GALERIE A PALMIERS

PLANCHE II



Cliché A. Sapin, 1912

LA GIRI AUX ENVIRONS DE BOMANA
LA PLAINE MARÉCAGEUSE A HAUTES HERBES AU DELA DE LAQUELLE SE TROUVE
LA GALERIE A *Elaeis*



Cliché A. Sapin, 1912

Elaeis SUR UN ILOT ENTRE BOMANA ET GUNDU, SUR LA GIRI

PLANCHE III



Cliché A. Sapin, 1913

VILLAGE MOLENGA PRÈS BOSESERA, SUR LA GIRI



Cliché A. Sapin, 1913

ASPECT DE LA GIRI ENTRE BOMANA ET BOSESERA

de constitution analogue aux forêts secondaires, et cela en particulier par le fait que, plus rapidement envahie par l'homme, elle n'aura pas le temps d'atteindre le stade le plus avancé de son évolution?

Ce sont-là des questions auxquelles il est de toute impossibilité de répondre pour le moment et dont nous n'aurons, fort probablement, jamais le dernier mot.

Il convient cependant d'envisager ces problèmes, car, de leur solution approchée dépend largement l'avenir de la colonie congolaise. C'est pourquoi nous persistons à penser qu'il est loin d'être inutile, comme beaucoup le pensent, de créer, pour notre Congo, un service forestier *sérieux*, capable de faire marcher de pair les études scientifiques, techniques et pratiques, relatives au maintien, et à la mise en valeur, de notre forêt tropicale congolaise.

On ne pourrait d'ailleurs assez insister sur la très grande importance de la conservation des forêts : on l'oublie trop souvent, les forêts ont une très grande action sur le climat et l'hydrologie, surtout dans les régions tropicales.

Cela a été démontré à plus d'une reprise et récemment encore M. Th. Altona, forestier à Lawang (Indes Néerlandaises), publiait dans les « notes de la réunion des planteurs de Java (29 novembre 1913), à Blitar » une étude sur cette question. Nous y voyons que la surface forestière n'atteint à Java et Madoera que 18 à 20 %. Or on estime qu'en Europe, sous un climat beaucoup plus favorable à la conservation des propriétés culturales du sol, la réserve forestière devrait atteindre au moins 20 %. Java se trouverait donc dans une situation inférieure à celle de l'Europe : aussi de plusieurs côtés réclame-t-on du reboisement et non sans raison.

Pareille conséquence s'impose pour la plupart des régions tropicales, que l'on considère souvent à tort,

comme vierges ; il faut donc à tout prix éviter à l'avenir les déboisements et multiplier les réserves. A Java celles-ci atteignent 7 % seulement ; au Congo il en est à peine question.

On compare souvent la forêt tropicale africaine avec celles du Brésil ; mais à la suite de certaines enquêtes, on a sur ces dernières des données qui, tout en étant peut-être un peu au-dessus de la vérité, sont cependant approchées : elles font voir que la *Hylaea brasiliiana* est bien plus dense qu'en Afrique et que dans les autres pays du monde ; il y a là incontestablement, si on les met en exploitation rationnelle, des réserves considérables comme le fait voir le tableau ci-contre(1).

Trouverons-nous encore au Congo belge de tels pourcentages de forêts ? Nous en doutons fort.

Et cependant si l'on veut dans tous les pays, aussi bien au Congo, que dans nos régions tempérées, conserver l'eau dans les rivières ; si l'on veut protéger les sources, régulariser les courants, c'est non seulement sur les bords de ces derniers et autour des sources qu'il faudra maintenir des arbres, mais sur de grandes surfaces, en particulier dans les parties montagneuses et même sur les coteaux, qui sont plus facilement dégradés, en l'absence de couverture, par les rayons solaires.

M. Altona considère l'état actuel à Java, auquel nous avons fait allusion plus haut, comme si grave, qu'il souhaiterait qu'il ne fut plus permis de détruire désormais le moindre terrain boisé, sans avoir pu s'assurer, par des recherches précises, que la forêt à supprimer peut l'être sans porter préjudice au régime des eaux ou à la production future du bois.

Cette dernière condition pourrait être considérée

(1) Dr Pedro de Toledo. *Relatorio apresentado ao Presidente da Republica dos Estados Unidos do Brasil*. Vol. III. Rio de Janeiro, 1911, p. 75.

| ÉTATS | Surface totale kilom. carrés | Forêts kilom. carrés | Campos et autres formations kilom. carrés | Pourcentage des forêts par rapport à la surface totale |
|---------------------------|---------------------------------|-------------------------|--|--|
| Acre | 192 000 | 192 000 | 0 000 | 100 00 |
| Amazones | 1 832 800 | 1 683 427 | 149 373 | 91 85 |
| Para | 1 220 000 | 921 954 | 298 046 | 75 57 |
| Maranhao | 340 360 | 145 368 | 194 992 | 42 71 |
| Piauhv | 231 180 | 62 449 | 168 761 | 27 00 |
| Ceara | 157 660 | 67 951 | 89 709 | 43 10 |
| Rio grande do Norte . . | 56 290 | 14 314 | 41 976 | 25 43 |
| Parahyba | 52 250 | 19 087 | 33 163 | 36 53 |
| Pernambuco | 95 260 | 32 521 | 62 739 | 34 14 |
| Alagôas | 30 500 | 8 525 | 21 975 | 27 95 |
| Sergipe. | 21 840 | 8 970 | 12 870 | 41 07 |
| Bahia | 587 500 | 245 436 | 372 064 | 36 67 |
| Espirito Santo. | 39 120 | 29 942 | 9 178 | 76 54 |
| Rio de Janeiro | 44 350 | 35 981 | 8 360 | 81 13 |
| S. Paulo. | 250 000 | 161 750 | 88 259 | 64 70 |
| Parana | 180 340 | 160 350 | 19 990 | 83 37 |
| Santa Catharina | 110 620 | 86 789 | 23 531 | 78 67 |
| Rio Grande do Sul | 283 410 | 89 132 | 194 278 | 31 45 |
| Minas Geraes | 607 940 | 278 619 | 329 321 | 45 83 |
| Goyaz | 640 580 | 179 362 | 461 218 | 28 00 |
| Matto Grosso | 1 554 300 | 606 799 | 947 501 | 38 04 |
| Total du Brésil | 8 528 000 | 5 000 696 | 3 527 304 | 58 63 |

comme secondaire, bien qu'elle ait une importance notable, le bois étant une matière qui devient de plus

en plus rare sur les marchés; mais le régime des eaux est de loin la considération la plus importante.

Cette situation est-elle si particulière à Java? Nous ne le pensons pas. Au contraire nous croyons que la situation est la même presque partout. Dans les possessions anglaises, dans les États fédérés malais on se plaint déjà vigoureusement des modifications sensibles du climat par suite des déboisements faits pour l'installation des plantations.

Si nous pouvions envisager ce côté de la question, nous observerions certainement la même chose au Congo où, dans bien des régions, certaines cultures sont impossibles faute de régularité dans les chutes d'eau ou dans le niveau des rivières.

Il est certainement désirable de faire de la culture, mais avant de l'entreprendre il s'agit de savoir si les conditions ambiantes, à première vue très favorables, se maintiendront. Il faut se demander si un beau terrain forestier, une fois en partie épuisé par la végétation nouvelle qu'on lui impose, brûlé en grande partie par le soleil tropical, pourra continuer à nourrir les récoltes de l'avenir.

Malheureusement ce que nous connaissons de la forêt tropicale congolaise se traduit en des opinions divergentes; une connaissance insuffisante de la flore et de la Géo-botanique de l'Afrique tropicale ne permet ni de les approuver ni de les désapprouver.

Nous ne connaissons même pas dans ses détails la limite de la grande forêt centro-congolaise, tant on s'est peu préoccupé de tracer sur une carte les limites de son extension. Certaines cartes ont bien été publiées, donnant soit pour l'ensemble de la colonie, soit pour certaines de ses parties, la limite de la forêt, mais quand on compare entre elles ces données géo-botaniques on est frappé des oppositions qu'elles présentent; et cependant la connaissance, relativement très exacte,

des limites de la forêt et des brousses plus ou moins étendues que l'on y rencontre, a pour l'avenir agricole de la colonie une importance considérable.

Cette conclusion que nous tirons à propos de la grande forêt centro-congolaise, s'applique aussi aux bois du sud du Congo, du Haut-Kasai-Kwango et du Katanga qui ne peuvent cependant être comparés au point de vue floristique avec ceux qui constituent la *Hylaea africana* comparable elle, jusqu'à un certain point, à la *Hylaea americana*, en particulier à celle de l'Amazonie dont le volume III du *Relatorio apresentado ao Presidente da Republica dos Estados Unidos do Brasil* par le ministre Don Pedro de Toledo, s'est occupé très spécialement. Là nous trouvons une carte forestière destinée, dit le rapport, à offrir une base aux premières études pour la création de réserves.

Il est vrai qu'en 1910, en annexe à la brochure publiée par le Ministère des Colonies à l'occasion de l'inauguration du Musée du Congo belge, on trouve une carte physique au $\frac{1}{4\,000\,000}$, sur laquelle on a tracé la limite de la forêt d'après les documents reçus du Congo. Mais il est certain que la forêt tropicale n'est pas aussi étendue qu'elle est figurée sur cette carte; il ne peut, en effet, être question de considérer comme forêt tropicale les galeries, souvent de très faible épaisseur qui bordent les rivières descendant de la crête de séparation du bassin Congo-Zambèse.

Sans doute nous savons actuellement que la forêt centrale pousse des prolongements en galerie très loin du centre et qu'il n'y a pas à la forêt une limite, formant sur la carte un contour régulier, mais bien une ligne très sinueuse.

Mais il serait bien facile à un connaisseur, botaniste ou forestier, de reconnaître qu'il n'y a dans ces gale-

ries, plus ou moins éloignées du centre, que fort peu de types végétaux tout à fait caractéristiques de la forêt vierge, et au contraire beaucoup de plantes à large dispersion africaine, ou encore, suivant les régions, des plantes de transition entre la plaine et la forêt, celles de la plaine augmentant au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'embouchure des rivières et que l'on se rapproche des brousses.

Le Ministère des Colonies possède évidemment, sur la distribution actuelle des forêts dans le Congo belge, des documents nouveaux, et s'il faisait publier une nouvelle carte, elle différerait sensiblement de celle de 1910. Un croquis établi d'après des rapports de fonctionnaires nous a d'ailleurs été obligeamment communiqué par M. Maury.

Grosso modo nous pourrions, d'après ce document, établir la limite de la forêt comme suit. Au nord, de l'Ubangi jusqu'au 24^{me} degré de longitude, la limite est parallèle au 4^{me} degré de latitude nord : à partir du 24^{me} degré, la limite s'infléchit irrégulièrement vers le sud pour atteindre à l'est Kilo. A l'est elle forme, à partir de Kilo, une ligne oblique jusqu'à l'intersection du 3^{me} degré de latitude sud et du 28^{me} degré de longitude, présentant entre l'Équateur et le 1^r degré sous l'Équateur une indentation profonde. Au sujet de cette indentation M. Maury voulait bien nous écrire : « Elle est occupée par les villages d'Opedi sur la crête Congo-Nil, mais je ne saurais dire si le recul de la forêt en ce point est dû aux indigènes, ou si les indigènes ont profité de ce recul pour s'établir. En tout cas cette boucle correspond également à un changement de niveau, assez marqué, provenant d'un contre-fort qui domine toute la plaine de la Semliki et la forêt environnante. »

Nous avons tenu à reproduire cette appréciation pour bien faire voir combien il sera difficile de tirer au clair l'origine des brousses congolaises actuelles.

A partir du point d'intersection du 3^{me} degré de latitude sud et du 28^{me} degré de longitude, la limite de la forêt, fort mal connue encore, et présentant indiscutablement plus de prolongements vers le sud que vers le nord sous forme de galeries, oblique vers l'ouest jusque vers Lusambo, d'où elle se dirige irrégulièrement vers Bena-Makima pour obliquer vers le nord-ouest et se terminer, en galeries, le long du Congo, entre Lukolela et Yumbi.

Mais si, considéré dans ses grandes lignes, ce tracé semble nous donner une assez bonne idée de la dispersion de la forêt congolaise, quand on l'examine de près, on doit reconnaître qu'il est en bien des points assez peu exact et que parfois il donne une trop grande étendue à la forêt. Nous citerons en particulier le cas de l'Entre-Ubangi-Congo, là, indiscutablement la limite de la forêt s'infléchit beaucoup plus fortement vers le sud que ne l'indique la délimitation ci-dessus. et comme le démontrent la carte publiée par M. Fr. Thonner (1), les itinéraires manuscrits de M. A. Sapin et les planches I-III ci-jointes, dont les clichés ont été faits en 1913.

Dans toute cette zone les rivières sont à courant très lent; elles forment de vastes marais entrecoupant fortement la forêt de leurs innombrables méandres, au point qu'elle est même tout à fait absente, dans la zone dite forestière, sur de très vastes espaces.

C'est dans cette région que l'on pourrait peut-être le mieux étudier, comme nous l'avons rappelé plus haut, la formation de la forêt sur les terres sortant du sein de l'eau, se relevant d'abord par la constitution de banes d'herbes, puis par la naissance de *Raphia* qui végètent dans la vase retenue par la végétation herbacée; à

(1) Cf. De Wildeman, *Études sur la flore des districts des Bangala et de l'Ubangi*, Bruxelles, 1911.

l'intérieur de cette ceinture de *Raphia*, pourraient prendre pied des *Elacis* dont la couronne se remarque de loin dominant les autres palmiers.

Les quelques clichés photographiques dont nous offrons des reproductions dans les planches I à III, donnent une bonne idée de l'aspect de ces vastes étendues d'eau s'étendant dans une région considérée comme forestière, en même temps qu'elles font voir la constitution d'îlots herbeux, sortes d'îles plus ou moins flottantes, dans l'intérieur desquelles on voit apparaître les *Raphia* et des *Elacis* spontanés.

Pour en revenir à notre sujet, nous pensons donc que la limite de la forêt est un peu différente de celle que nous pourrions établir d'après les données auxquelles nous avons fait allusion.

Mais encore, à l'intérieur de ces limites la forêt est-elle continue? On peut affirmer que non! Nous venons de le rappeler à propos de l'Entre-Ubangi-Congo. Dans la Giri, par exemple, on serait forcé, si l'on pouvait tenir compte du détail, de laisser dans le coloriage d'une carte de nombreux vides, comme on devrait en laisser autour de chaque village localisé dans la forêt.

On serait aussi amené à établir des interruptions de forêt dans d'autres parties de la cuvette centrale du Congo; interruptions qui ne sont peut-être pas le résultat des agissements irrationnels de l'indigène. Il se pourrait en effet que les arêtes de séparation des bassins des divers affluents du Congo, fréquemment envahies par la brousse, soient naturellement privées de forêt: comme il se pourrait aussi que ces endroits ayant été primitivement choisis par les indigènes pour l'établissement de leurs villages et de leurs cultures, à cause de leur situation favorable, soient ceux qui présentent le dernier stade de transformation forestière auquel M. Louvel faisait allusion dans les termes que nous avons rapportés plus haut.

Nous pouvons donc affirmer qu'au Congo belge la surface recouverte de forêts, même à l'état secondaire, est beaucoup moins étendue qu'on le suppose fréquemment. Atteint-elle les 20 % de la surface totale ? Personne ne pourrait le dire, mais ce qui est indéniable c'est que cette surface est en décroissance et que dès lors il convient de la protéger.

Il faut donc, malgré quelques avis contraires, régler la destruction de la forêt tant par le blanc que par l'indigène.

Certes il ne peut être question d'appliquer rigoureusement, dans une colonie encore en enfance, des lois forestières ; mais des règlements peuvent être imposés dès maintenant dans certains centres où l'administration est suffisamment établie, et leur application peut s'étendre, si on le veut, assez rapidement.

Le meilleur moyen d'ailleurs d'arriver à appliquer les règlements relatifs à la conservation des forêts est d'amener le noir à modifier ses méthodes de culture tout à fait irrationnelles, et à cultiver suivant des procédés de plus en plus modernes, sans devoir, après épuisement de son terrain, rechercher dans la forêt des terres propres à la production de plantes comestibles.

Le travail plus profond du sol, les assolements, l'apport d'amendements permettront d'arriver à ce résultat, et du coup les forêts seront protégées. Elles pourront alors être régulièrement aménagées et exploitées, non seulement pour le bois d'œuvre, mais encore et surtout pour les nombreux autres produits utilisables qu'elles renferment.

Nous attachons donc une immense importance à la formation de l'indigène : nous ne pourrions assez le répéter, c'est de cette formation que dépend l'avenir des colonies tropicales. Nous devons employer tous les moyens pour fixer le noir au sol, pour changer cet

indigène nomade en un véritable paysan, ayant appris à connaître la valeur du sol sur lequel il vit (1).

On ne pourrait donc, quel que soit le point de vue où l'on se place, assez insister sur l'importance de l'étude de la forêt tropicale congolaise.

La plupart des gouvernements coloniaux de l'Afrique tropicale qui possèdent sur leurs territoires des ramifications de notre *Hylaea africana* ont compris cette importance; ils ont non seulement visé à protéger leurs forêts par la mise au jour de décrets, mais ont également envoyé sur place des missions spéciales dont les résultats, sans être toujours des plus riches au point de vue de l'application immédiate, ont été en tout cas intéressants, car ils ont ouvert des horizons peu soupçonnés.

Nous ne devons pas nous le dissimuler, de vastes enquêtes, prolongées pendant un certain temps, sont seules capables de nous faire connaître la vraie valeur économique des forêts coloniales.

Souhaitons dans l'intérêt de l'avenir de notre Colonie que de telles enquêtes soient entreprises, sans tarder, en divers points de notre Congo.

É. DE WILDEMAN.

(1) De Wildeman, *Ressources végétales du Congo* in LA REVUE GÉNÉRALE, mai 1908, p. 632. et De Wildeman, *Sciences biologiques et colonisation*, Bruxelles, 1909, p. 34.

LA

QUOTITÉ DE VIE D'UNE NATION

PAR

KILOMÈTRE CARRÉ

Nous avons publié dans le n° d'octobre 1911 de la REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES (3^e série, t. XX. pp. 509-524) un article intitulé : *La quotité de vie d'une nation comme index unique de sa situation économique et morale*. Nous nous proposons de le compléter, en utilisant pour la Belgique les données du recensement du 31 décembre 1910 : elles n'étaient pas publiées quand notre article a paru. Nous indiquons en même temps le moyen de comparer la quotité de vie dans des pays dont les ressources naturelles sont analogues. Enfin nous faisons remarquer le peu de portée d'un autre procédé de comparaison.

La *quotité de vie* est le produit de la vie moyenne des habitants d'un pays à un jour donné par le nombre de ces habitants ; ou si l'on aime mieux c'est la somme des années de vie de tous ces habitants au jour choisi.

La détermination du nombre des habitants des pays civilisés de l'Europe se fait maintenant avec soin par recensement, tous les dix ou tous les cinq ans.

La détermination de la vie moyenne se déduit des

données de la statistique d'une manière assez pénible, parce que ces données ne sont pas recueillies avec la précision nécessaire par les organes administratifs qui en sont chargés.

Pour la Belgique, la vie moyenne a été déterminée quatre fois seulement, en 1829, en 1856, en 1890 et en 1901. Comme nous l'avons dit dans l'article antérieur, on peut représenter par une expression algébrique simple, la loi d'accroissement de la vie moyenne w , pour notre pays, depuis 1829, jusqu'à l'année x , par la formule

$$w = 31,42 + (x - 1829) [0,24667 - 0,00068 (x - 1856)].$$

Pour obtenir cette formule, nous avons employé la seconde règle d'interpolation de Newton (1).

On en déduit 48,43 pour la vie moyenne en 1910.

Le recensement du 31 décembre 1910 a donné pour la population de la Belgique à cette date 7 423 784 habitants.

Ce chiffre nous a permis de corriger les indications relatives à la population de notre pays obtenues au moyen des excédents du nombre des naissances sur celui des décès, de 1900 à 1910. Nous avons pu ainsi former le tableau suivant :

(1) Pour arriver à ce résultat simple, nous avons augmenté de 0,07 la valeur de la vie moyenne que nous avions trouvée pour 1901. Dans le texte du premier article, nous avons écrit par erreur $+ 0,00068$ au lieu de $- 0,00068$; mais les calculs ont été faits avec la formule exacte telle que nous la donnons ici. Voici l'indication de quelques autres fautes d'impression : p. 516, la vie moyenne indiquée est celle de 1880, non de 1881; p. 521, la vie moyenne pour l'année 1903 est 47,31 et non 47,41. A la page 520, les accroissements de population de 1901 à 1909 contiennent à tort au début le nombre 64743 qui doit être barré; les nombres qui viennent ensuite doivent être remontés tous d'une ligne; le dernier doit être remplacé par 61870 et il aurait dû être suivi de l'excédent du nombre des naissances sur les décès en 1909, savoir 58860. L'excédent analogue pour 1910, donné dans l'ANNUAIRE DE STATISTIQUE pour 1911, page 110, est 63587.

| | | |
|-------------------|------------------|-----------------------|
| 1900. Recensement | 6 693 548 | <i>Accroissements</i> |
| 1901 | 6 780 875 | 87 327 |
| 1902 | 6 860 742 | 79 867 |
| 1903 | 6 937 695 | 76 953 |
| 1904 | 7 013 236 | 75 541 |
| 1905 | 7 085 657 | 72 421 |
| 1906 | 7 156 370 | 70 713 |
| 1907 | 7 229 488 | 73 118 |
| 1908 | 7 294 684 | 65 196 |
| 1909 | 7 356 871 | 62 187 |
| 1910. Recensement | 7 423 784 | 66 913 |

L'accroissement de la population en dix ans est de 730 236 hommes, donc en moyenne de 73 024. Nous disons comme en 1911 : « On ne peut pas ne pas être frappé de la diminution progressive des accroissements annuels dans la dernière période. Elle provient de la décroissance du nombre annuel des naissances ». Il était de 200 077 en 1901, de 176 413 en 1910.

Au moyen des résultats précédents et des valeurs de la vie moyenne de 1900 à 1910, on trouve la quotité de vie pour ces années, savoir :

| | <i>Population en milliers d'habitants</i> | <i>Vie moyenne</i> | <i>Quotité de vie en milliers d'années</i> | <i>Accroissement</i> |
|------|---|--------------------|--|----------------------|
| 1900 | 6694 | 46,81 | 313,35 | |
| 1901 | 6781 | 46,98 | 318,57 | 5,22 ou 1,6 % |
| 1902 | 6861 | 47,14 | 323,43 | 4,86 ou 1,5 » |
| 1903 | 6938 | 47,31 | 328,24 | 4,81 ou 1,5 » |
| 1904 | 7013 | 47,47 | 332,91 | 4,67 ou 1,4 » |
| 1905 | 7086 | 47,63 | 337,51 | 4,60 ou 1,4 » |
| 1906 | 7156 | 47,80 | 342,06 | 4,55 ou 1,3 » |
| 1907 | 7229 | 47,96 | 346,70 | 4,68 ou 1,4 » |
| 1908 | 7295 | 48,11 | 350,96 | 4,26 ou 1,2 » |
| 1909 | 7357 | 48,27 | 355,12 | 4,16 ou 1,2 » |
| 1910 | 7424 | 48,43 | 359,54 | 4,42 ou 1,2 » |

L'accroissement en dix ans est de 46,19 millions d'années, près de 15 % de la quotité de vie en 1900.

La Belgique, l'Allemagne, la France ont respectivement 11, 9, 14 ‰ de terres stériles, 18, 26, 16 % de forêts à moitié productives, ce qui égalise à peu près entre elles les conditions économiques. L'Angleterre avec le pays de Galles est dans une situation un peu meilleure (v. Seydlitz-Oehlman, *Geographie*, 1908, p. 510).

Comparons ces divers pays au point de vue de la quotité de vie par kilomètre carré. On trouve ainsi les résultats suivants pour les années 1880 ou 1881, d'après des données empruntées à l'ouvrage de Leclerc (*Tables de mortalité ou de survie et table de population pour la Belgique*, pp. 66, 81).

| | |
|------------|-------------|
| Belgique | 8075 années |
| Angleterre | 7345 » |
| Allemagne | 3200 » |
| France | 2935 » |

Nous ne pouvons faire la même comparaison pour ces quatre pays en 1901, parce que nous ne connaissons pas la vie moyenne à cette date en Angleterre et en Allemagne. Mais voici la quotité de vie en Belgique et en France, par kilomètre carré, en 1901.

| | |
|----------|---------------|
| Belgique | 10 800 années |
| France | 3 450 » |

On ne peut pas évidemment comparer la quotité de vie par kilomètre carré de la Belgique avec celle de pays comme la Suisse, le Danemark, la Suède, la Norvège, la Russie où les conditions de la vie économique sont complètement différentes. Mais on pourrait

peut-être les comparer au point de vue des *accroissements annuels* en pour cent de la quotité de vie.

Parmi les bases de comparaison souvent employées, il y en a une qui n'a vraiment qu'une faible valeur quand on l'applique à la fois à de petits et à de grands pays ; c'est celle du commerce avec les pays étrangers (exportation, importation, transit) des uns et des autres.

La France et l'Allemagne sont dix-huit fois plus étendues que la Belgique. Supposez-les divisées l'une et l'autre en dix-huit districts à peu près égaux en superficie à la Belgique. Pour pouvoir comparer raisonnablement le commerce de la France ou de l'Allemagne à celui de la Belgique, il faudrait évidemment ajouter aux données habituelles le commerce des dix-huit districts les uns avec les autres : on ne le fait jamais et on ne conçoit pas comment on pourrait le faire. Les comparaisons du commerce des nations grandes et petites n'ont donc guère la portée qu'on leur attribue souvent dans notre pays.

PAUL MANSION.

LES PLÉIADES

Pendant les belles soirées d'hiver, on aperçoit dans la constellation du Taureau une lueur discrète, vaporeuse qui semble un lambeau perdu de la Voie lactée. L'attention et surtout de bons yeux y découvrent un groupe de petites étoiles frissonnantes : ce sont les Pléiades.

Ce nom traduit vraisemblablement l'impression que nous donnent, au premier regard, leur nombre et leur disposition : « hinc nomen Pleiades, dit un vieil auteur, quia plures et turmatim apparent, quasi πλείονες » (1).

De tout temps et sous tous les climats, elles ont attiré et retenu l'attention. Jadis elles rendaient aux marins et aux laboureurs d'excellents services ; aujourd'hui les découvertes des astronomes en ont fait une des merveilles de l'Univers stellaire.

Nous nous proposons de raconter leur histoire ; mais nous devons rappeler d'abord les visées pratiques que poursuivait l'astronomie primitive.

I

La science du Ciel, comme toutes les autres, est née de la nécessité. Avant de devenir l'objet d'une curiosité savante et de profonds calculs, l'observation des astres eut un but purement utilitaire.

(1) Nous verrons qu'on ne s'est point contenté de cette étymologie.

Socrate, nous dit Xénophon dans ses *Mémoires* (1), recommandait d'apprendre assez d'astronomie pour pouvoir connaître le moment ($\acute{\omega}\rho\alpha$) de la nuit, du mois ou de l'année, en cas de voyage, de navigation, de garde ou pour tout ce qui se fait après le coucher du Soleil, dans le mois ou au cours de l'année. Ce qu'il importe, disait-il, c'est d'avoir « des repères permettant de distinguer des moments dans ces divers temps ; mais il est facile de les apprendre des chasseurs de nuit, des marins et de bien d'autres personnes qui ont intérêt à les connaître. »

L'astronomie, à l'origine, était donc chose purement pratique : on observait le ciel comme nous consultons nos calendriers et nos montres, sans autre but que celui de connaître la date et l'heure, et avec bien moins de souci de l'exactitude ; aujourd'hui les trains partent à l'heure... parfois, quelques minutes de retard nous exposent à les manquer ; les anciens ignoraient ces préoccupations.

Le mot $\acute{\omega}\rho\alpha$ qu'emploie Xénophon n'était nullement, comme pour nous le mot heure, un instant précis ou une durée absolument constante, mais l'indication vague des phases successives du jour et de la nuit, ou une fraction de leurs durées variables suivant les saisons. Encore le mot « saison » ne doit-il pas s'entendre, au début de l'astronomie, d'une partie déterminée de l'année solaire, mais des époques assignées, sous un climat donné, à quelque travail agricole ou à quelque expédition lointaine : la saison des labours, de la navigation, etc.

Pour atteindre le but qu'elle poursuivait, cette astronomie pratique dut se donner des repères sur la

(1) IV, 7 ; cité par P. Tannery, *Recherches sur l'Histoire de l'Astronomie ancienne*, Paris, 1893, p. 6.

voûte étoilée, ce qui l'amena à partager le ciel en constellations.

Ce partage ne fut évidemment ni l'œuvre d'un jour ni celle d'un seul homme. On le retrouve, rudimentaire et varié, chez tous les peuples où il reflète les préoccupations locales et présente certains traits communs dont l'aspect du firmament suffit généralement à rendre raison. Partout aussi ses origines remontent à la plus haute antiquité et son achèvement, au sein des nations civilisées, fut l'œuvre des siècles. Il est certain, par exemple, que la division du ciel telle que les Grecs la connurent ne se compléta qu'au cours des vi^e et v^e siècles avant notre ère.

C'est cette sphère grecque que les modernes ont adoptée ; ils ont précisé les limites de ses constellations et en ont créé de nouvelles en étendant au ciel entier ce groupement des étoiles ; mais les procédés d'observation se sont complètement transformés.

C'est la culmination des astres, à l'instant précis de leur passage au méridien, que les modernes observent en s'aidant d'instruments et avec toute l'exactitude qu'exigent les visées singulièrement élargies de l'astronomie. Les anciens, au contraire, observaient les astres à l'horizon, au moment de leur lever et de leur coucher ; la précision de ces observations n'avait évidemment rien de mathématique, mais elle suffisait au but pratique que l'on avait en vue.

A qui sait s'orienter, la situation du Soleil sur l'horizon permet d'évaluer approximativement la fraction écoulée de la durée du jour ; la nuit, les étoiles peuvent lui rendre le même service. Au moment, en effet, où le Soleil se couche, la constellation zodiacale qui lui est opposée se lève ; elle présidera à la nuit qui commence, comme le Soleil a présidé au jour qui s'achève, entraînant après elle d'autres constellations.

Peu à peu, on en vint à la division complète du

zodiaque en douze signes égaux, ou supposés tels. Dès lors, le partage de la durée de la nuit fut rendu à la fois plus facile et moins conjectural pour qui connaissait le dénombrement des astres qui se lèvent ou se couchent pendant que se lève ou se couche chaque signe du zodiaque. C'est sur ce dénombrement qu'insistent les premiers écrits astronomiques, les ancêtres de la *Connaissance des temps*, destinés aux marins, mais où les agriculteurs trouvaient aussi leur part.

On sait qu'au cours de l'année les constellations du zodiaque se dégagent tour à tour des rayons du Soleil, brillent quelque temps pendant la nuit et se perdent ensuite dans la clarté du jour. *Chaque astre* — étoile ou constellation, en dehors des circompolaires — passe donc par quatre phases fixant quatre repères dans la durée de l'année, un peu comme les phases de la Lune au cours du mois.

La première phase stellaire est le *lever apparent du matin*, ou le *lever héliaque* de l'étoile ou de la constellation : elle a lieu quand, pour la *première* fois au cours de l'année, on aperçoit l'astre à l'horizon oriental *un peu avant* le lever du Soleil (1).

La seconde est le *coucher apparent du soir*, ou le *coucher héliaque* : elle se produit quand, pour la *dernière* fois au cours de l'année, l'astre apparaît à l'horizon occidental un peu après le coucher du Soleil.

De même la troisième et la quatrième phase, le *lever apparent du soir* et le *coucher apparent du matin*, ont lieu respectivement quand on voit l'astre se lever pour la *dernière* fois peu après le coucher du

(1) Le lever *vrai* du matin, ou le lever cosmique, a lieu quand l'astre est à l'horizon oriental en *même temps* que le Soleil : il échappe à l'observation ; l'éclat du Soleil absorbe celui de l'étoile. Il faut que le Soleil soit abaissé d'un certain nombre de degrés sous l'horizon pour que les étoiles puissent être aperçues. Les anciens supposaient que cet abaissement devait être de 18° environ pour les petites étoiles et de 10° à 12° pour les étoiles principales.

Soleil, et quand on le voit pour la *première* fois se coucher peu avant son lever.

Un choix convenable et suffisamment fourni d'étoiles ou de constellations permettait donc de multiplier et de distribuer ces repères dans l'année de façon à établir une concordance, pour un climat donné, entre ces phases stellaires et les travaux agricoles ou les époques intéressant plus spécialement la vie publique. Aujourd'hui, grâce à notre calendrier solaire fixe, l'énoncé d'une date suffit à tous ces besoins; mais « avec une année lunisolaire d'une longueur variable et dont le commencement se déplaçait dans l'intervalle d'un mois. écrit P. Tannery (1), les Grecs devaient nécessairement, pour assigner et prévoir les moments des travaux de la vie pratique, recourir à un autre moyen que la fixation d'une date du comput civil. Ce moyen, ils l'avaient trouvé dans l'observation des levers et des couchers du matin et du soir des constellations les plus remarquables. »

Toutes ces observations, celles-ci et celles qui concernaient la division du jour et de la nuit, se faisaient sans instrument, voire en se promenant : témoin Thalès qui tombe dans un puits pendant qu'il astronomise. Beaucoup de patience et un peu d'habitude, de bons yeux et un horizon libre suffisaient à tout, et tout le monde était astronome.

II

Parmi les constellations que l'astronomie pratique a de tout temps utilisées, figure très honorablement le groupe des Pléiades. On a cru les trouver renseignées

(1) P. Tannery, *Recherches sur l'Histoire de l'Astronomie ancienne*, p. 15.

déjà dans la *Bible* ; les Septante ont, en effet, non sans vraisemblance, donné leur nom à l'une des constellations dont parle Job (1). Qu'il nous suffise de faire remonter leur histoire aux monuments les plus anciens des lettres grecques, aux poèmes d'Homère et d'Hésiode.

Quand Homère fait voyager le divin Ulysse de l'île de Calypso vers la terre des Phéaciens, il nous le montre, la nuit, au gouvernail du radeau qu'il s'est construit et dont il vient de larguer les voiles, « contemplant les *Pléiades* et le *Bouvier* lent à se coucher, avant l'*Ourse* que l'on appelle aussi vulgairement *Charriot*, celle qui tourne sur place en se gardant d'*Orion*, et seule n'a point part aux bains de l'Océan (2) ». Ulysse cherchait-il l'oubli de ses malheurs en rêvant aux étoiles ? — Nullement, il leur demandait l'heure et la route à suivre, il consultait sa montre et sa boussole.

Si aux *Pléiades*, au *Bouvier*, à l'*Ourse* et à *Orion*, nous ajoutons les *Hyades* et le *Chien d'Orion* (3), nous aurons vraisemblablement toutes les constellations connues d'Homère (4) ; nous n'en voyons point d'autres sur le bouclier d'Achille (5) où Vulcain « avait représenté la Terre, le Ciel et la Mer, le Soleil infatigable et la Lune dans son plein, et tous les astres dont le Ciel

(1) Job, IX, 9; XXXVIII, 31.

(2) *Odyssée*, V, 272-275.

(3) *Iliade*, XXII, 25-31.

(4) Et, à très peu près, toute son astronomie. On a cru voir dans l'*Odyssée*, XV, 403-404, une allusion aux solstices (voir : Martin, *Comment Homère s'orientait*, MÉM. DE L'ACAD. DES INSCRIPTIONS ET BELLES-LETTRES, XXIX, t. 2, 1879, pp. 1-28), mais elle n'est pas certaine (voir : Th. Heath, *Aristarchus of Samos*, Oxford, 1913, pp. 9-10). Homère parle de l'*Étoile du matin* (*Iliade*, XXIII, 226) et de l'*Étoile du soir* (*Ibid.*, XXI, 318) « la plus belle du ciel », mais l'identification avec la planète Vénus n'est point faite. Il n'est question dans ses poèmes ni des comètes, ni des étoiles filantes ; une fois cependant (*Iliade*, IV, 75-79), la chute d'un météore fournit une image poétique ; c'est tout.

(5) *Iliade*, XVIII, 483-490.

se couronne : les *Pléiades*, les *Hyades*, ... », et le poète nomme ici les seules constellations que nous venons d'indiquer.

Vraisemblablement, plusieurs de ces constellations devaient être plus étendues que celles qui, dans les temps postérieurs, ont porté les mêmes noms. Si l'*Ourse*, en particulier, était *seule* à ne pas se coucher, c'est qu'elle comprenait sans doute toutes les étoiles du cercle de perpétuelle vision ; cet ensemble de constellations suffisait cependant, par une nuit sereine et pour un œil exercé, à s'orienter et à évaluer la portion écoulée de la nuit. Quant aux *Pléiades* dont parlent l'*Iliade* et l'*Odyssée*, ce sont bien les nôtres ; à part peut-être quelque variation individuelle d'éclat, leur groupe se montrait au divin Ulysse tel qu'il nous apparaît aujourd'hui. nous en aurons plus loin la preuve.

L'astronomie d'Hésiode est un peu plus avancée que celle d'Homère, mais ses constellations sont, en somme, les mêmes ; il connaît le nom du *Chien d'Orion*, *Sirius*, celui d'*Arcturus* (ἄρκτου οὐρά), et celui d'*Arctophylax*, le Gardien de l'Ourse, qui a dû s'étendre originairement à toute la constellation du *Bouvier* ; c'était ce gardien et Orion qui empêchaient l'Ourse de se baigner.

Comme le titre du poème d'Hésiode, *Les Travaux et les Jours*, permet de s'y attendre, l'auteur s'étend plus que ne pouvait le faire Homère, dans l'*Iliade* et l'*Odyssée*, sur la distribution annuelle des travaux des champs par l'observation des phases des étoiles. Ici encore les levers et les couchers des Pléiades jouent un rôle important quand il s'agit de fixer l'époque des semailles, celles de la moisson, du battage en grange, etc. Nous ne reproduirons pas le détail de ces rapprochements ; ils n'ont de sens que pour le climat envisagé

par Hésiode et pour son temps, et n'intéressent plus aujourd'hui le grand public (1).

« On attribue à Hésiode, écrit P. Tannery (2), une *Astronomie* (*Athènes*, XI, 491), déjà connue d'Hygin (sous Auguste). La seule donnée précise qui nous en ait été conservée est due à Pline (H. N., XVIII, c. 25, § 213). L'auteur aurait fait coïncider le coucher du matin des Pléiades avec l'équinoxe d'automne ; à moins d'une mauvaise interprétation de vers peut-être obscurs, il faudrait supposer que le faussaire aurait pris plaisir à exagérer l'ignorance du vieil Aède d'Ascrea ; celui-ci au reste, dans ses *Travaux*, ne parle pas des équinoxes. »

On attribua d'abord à cette astronomie une origine alexandrine, on la croit aujourd'hui plus ancienne ; si l'on en juge par le passage de Pline, peut-être serait-elle antérieure à Thalès (3). Nous n'en retiendrons que ce détail :

Le nom des Pléiades y serait écrit Πλειάδες (πέλεια, pigeon ramier) ; on trouve la même version dans d'autres auteurs. Elle a rappelé à certains érudits les vers de l'*Odyssée* (XII, 61-63) où Homère parle des écueils (roches errantes) que les dieux ont nommés Πλαγκτός : les oiseaux ne les traversent pas en vain, pas même les timides colombes (πέλειαί τρηρώνες) qui portent l'ambrosie à Jupiter : l'une d'elles, dit-on, s'est perdue en les survolant. De là une autre étymologie du mot Pléiades et une explication mythologique de la légende de la Pléiade perdue dont va nous parler Aratus, l'auteur de la plus ancienne description de constellations que nous possédions.

(1) Voir, entre autres ouvrages, Petau, *Uranolog.*, Paris, 1830 ; Ideler, *Handbuch der math. und techn. Chronol.*, 1825.

(2) P. Tannery, *Recherches sur l'Histoire de l'Astronomie ancienne*, p. 8.

(3) Thomas Heath, *Aristarchus of Samos*, p. 11.

Aratus de Sales (III^e siècle avant J.-C.) n'était pas astronome, dit P. Tannery, il a seulement versifié, dans son poème didactique intitulé les *Phénomènes*, un ouvrage en prose composé un siècle auparavant, sous le même titre, par Eudoxe de Chide ou, plus probablement, réédité pour un climat un peu différent un ouvrage de cet astronome intitulé le *Miroir* et consacré au même sujet.

Les *Phénomènes* ont été corrigés et expliqués par Hipparque, et ce commentaire est le seul ouvrage du célèbre astronome de Rhodes qui nous soit parvenu. Il nous reste aussi quelques fragments de la traduction d'Aratus en vers latins que Cicéron composa dans sa jeunesse.

Cet ouvrage, essentiellement d'ordre pratique, était destiné aux marins et aux agriculteurs. Nous ne le suivrons ni dans la description des constellations, qui se sont beaucoup multipliées depuis Homère et Hésiode, ni dans la solution des problèmes de la connaissance de l'heure pendant la nuit, par l'inspection du ciel, et de la détermination des travaux agricoles et des expéditions saisonnières par les phases des étoiles; nous nous bornerons à transcrire ce qu'il dit des Pléiades.

« Au-dessous du genou gauche de Persée, écrit Aratus, se trouvent les Pléiades. On dit communément qu'elles sont au nombre de sept, quoiqu'on n'en voie que six; la septième n'est pourtant pas perdue, aucune étoile ne se perd. Leurs noms sont Aleyone, Mérope, Celaeno, Électre, Astérope, Taygète et Maïa (1). »

Sur le nombre des Pléiades visibles, Hipparque ne partage pas l'avis d'Aratus: par une belle nuit sans Lune, il n'a point de peine à en compter sept: il avait sans doute de meilleurs yeux que le poète de Sales qui, sans être astronome, a bien dû parfois regarder le ciel.

(1) Plusieurs de ces noms ont été donnés de nos jours à des petites planètes.

Longtemps les poètes s'intéressèrent à la Pléiade perdue. Trois siècles après Aratus, les *Fastes* d'Ovide, parlant des Pléiades, répètent en latin ce que les *Phénomènes* avaient dit en grec :

Quae septem dici, sex tamen esse solent.

« on dit qu'elles sont sept, mais on n'en voit habituellement que six », et Ovide cherche, dans la mythologie, l'explication de cette anomalie : c'est peut-être Mérope qui se cache, dit-il, honteuse d'avoir épousé Sisyphe, un mortel, alors que ses sœurs ont été aimées des dieux ; ou bien Électre qui s'est voilé la face devant la ruine de Troie. Nous reviendrons sur cette tradition pour en donner une interprétation moins poétique.

Les noms dont on a baptisé les Pléiades sont ceux des sept filles d'Atlas et de Pléione ; de là le nom commun d'Atlantides qu'on leur a parfois donné ; de là aussi, a-t-on dit, leur nom commun de Pléiades, « les filles de Pléione ». On a même prétendu remonter à l'origine de ces dénominations : Atlas aurait été le premier observateur de l'astre aux sept étoiles (ἐπτάστερος), et lui-même aurait donné à ces étoiles les noms de ses filles. La morale de cette fable est vraie : l'observation des Pléiades remonte à la plus haute antiquité.

La distribution de ces noms propres entre les Pléiades fut longtemps imprécise et capricieuse ; il semble qu'elle n'ait été fixée qu'au xvii^e siècle, peut-être par F. Van Langren qui, certainement, donna les noms de leur père et de leur mère, Atlas et Pléione, à deux étoiles du même groupe. La figure ci-jointe indique la position et la grandeur des Atlantides et de leurs parents ; nous y avons joint cinq autres Pléiades dont l'éclat, compris entre la sixième et la septième grandeur, les rapproche de Pléione et de Celaeno et

des étoiles visibles à l'œil nu dans d'excellentes conditions.

Un coup d'œil jeté sur cette figure — et mieux encore sur la réalité qu'elle représente — permet de comprendre que l'imagination populaire ait vu, dans

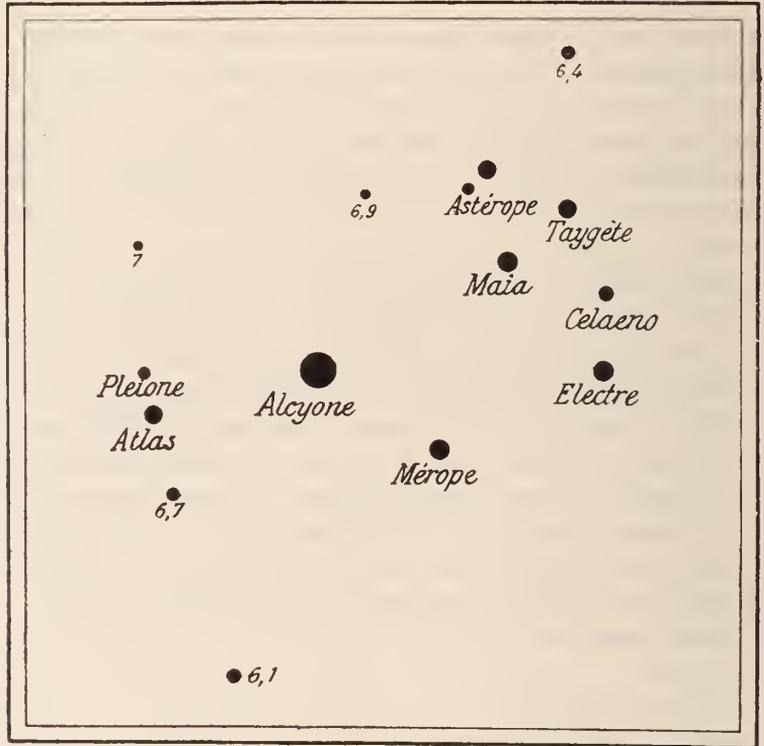


FIG. 1. — Les Pléiades principales

les Pléiades, une poule, Alcyone, accompagnée de ses poussins; d'où les noms de Poussinière, de Brood-hen, de Bruthenne, de Gallinella qu'on leur donne en France, en Angleterre, en Allemagne et en Italie.

« Bien que leur lumière soit faible, poursuit Aratus, les Pléiades n'en sont pas moins renommées parce

qu'elles annoncent et l'été, et l'hiver, et les approches du labour », et beaucoup d'autres choses encore.

Citons, par exemple, ces vers de Virgile parlant des abeilles (1) :

Bis gravidos cogunt fetus, duo tempora messis ;
 Taygete simul os terris ostendit honestum
 Pleias, et Oceani spreto pede repulit amnes ;
 Aut eadem sidus fugiens ubi Piscis aquosi
 Tristior hibernas celo descendit in undas.

« Deux fois les ruches condensent le miel dont elles sont pleines, double époque de récolte, quand la Pléiade Taygète repousse d'un pied dédaigneux les flots de l'Océan et nous montre son beau visage, et quand elle fuit le Poisson pluvieux en descendant toute triste du Ciel dans l'onde glacée. »

Nous pourrions multiplier ces rapprochements ; mais c'est comme astres des navigateurs que les Pléiades furent surtout célèbres.

Incapables d'affronter tous les temps, les marins attendaient, pour prendre la mer, la saison favorable ; elle leur était annoncée par le lever héliaque des Pléiades. Les auteurs anciens sont remplis d'allusions à ce rôle des filles d'Atlas ; il nous a valu une cinquième interprétation de leur nom. De même que leur rapport avec le printemps les fit appeler *Vergillae* (2) par les Romains, les Grecs les auraient appelées Pléiades (πλεῖν, naviguer) à cause du service qu'elles rendaient aux marins. L'ingéniosité des chercheurs d'étymologies est inépuisable.

Ce n'est point par leur éclat, dit Aratus, que les Pléiades ont retenu l'attention. Ceci nous intéresse

(1) *Georg.*, IV, 231-235.

(2) « A Vere extremo quo quondam oriebantur », dit Riccioli ; ou encore du verbe *vergere*, « a vergente vere ».

davantage, et on souhaiterait sur ce point des renseignements plus précis.

Que le lecteur veuille bien se reporter à la figure 1 où nous avons indiqué les grandeurs des quatorze étoiles principales du groupe.

Il reste vrai, d'une façon générale, que « leur lumière est faible ». Aujourd'hui, comme autrefois, la vue normale ordinaire compte *six* Pléiades ; des yeux excellents, comme ceux d'Hipparque sans doute, en distinguent *sept* : seules quelques vues exceptionnellement puissantes vont plus loin.

Képler nous apprend que son vieux maître, Michel Moestlin, put un soir, sous le ciel de Tubingue, distinguer onze Pléiades assez nettement pour en dresser la carte exacte. Par un ciel très pur, Heis en voyait dix : Marchand, à l'observatoire du Pic du midi, en séparait ordinairement onze, et Miss Airy, qui d'ordinaire en comptait sept, en vit une fois très nettement douze. Manifestement, leur assemblage gêne la vue distincte, et ce que disait un astronome du XIII^e siècle, Kazwini, est toujours vrai : « On voit dans les Pléiades six étoiles brillantes et, entre elles, quelques obscures ». Aratus, sans doute, n'y contredirait pas, mais on voudrait avoir le témoignage d'un observateur ancien plus familier que lui avec les choses du ciel et mieux à même de nous donner des détails précis.

On s'est adressé à Ptolémée dont l'*Almageste* contient un catalogue d'étoiles visibles à l'œil nu, donnant leur grandeur, la description verbale de leur situation relative dans la constellation à laquelle elles appartiennent, leur longitude et leur latitude (1).

Une première déception attendait ici les chercheurs : Ptolémée ne renseigne que *quatre* Pléiades (p. 53).

(1) Μαθηματικὴ Σύνταξις, traduction Halma, Paris 1816, t. II, pp. 32 et suiv.



FIG. 2. — LES NÉBULEUSES DES PLÉIADES

Astérope

Taygète

Maïa

Celaeno

Alcyone

Électre

Méropé

A en juger uniquement par leur description verbale, « celle de l'extrémité boréale du côté occidental de la Pléiade » pourrait être Taygète ; « celle de l'extrémité méridionale du côté occidental » semble être Mérope ; « celle de l'extrémité suivante et très étroite de la Pléiade » fait songer à Aleyone et plus encore à Atlas. Quant à la quatrième, « une extérieure et petite de la Pléiade, du côté des ourses », on hésite à y reconnaître Pléione.

Peut-être les positions et les grandeurs que Ptolémée donne à ces étoiles nous tireront-elles d'embarras. Voici ce tableau :

| | | <i>Longitude</i> | <i>Latitude</i> | <i>Grandeur</i> |
|-----|---|------------------|-----------------|-----------------|
| | 1 | 32°10' | 4°30' | 5 |
| (1) | 2 | 32°30' | 3°40' | 5 |
| | 3 | 33°40' | 3°40' | 5 |
| | 4 | 33°40' | 5° | 4 |

Nouvelle déconvenue ! Aleyone, la plus brillante de nos Pléiades, ne semble pas avoir trouvé place dans ce tableau ; d'autre part, la quatrième de ces étoiles, celle que Ptolémée appelle « petite », serait la plus brillante et irait se perdre loin du quadrilatère formé par Aleyone, Mérope, Électre et Maïa.

Delambre, qui reproduit le catalogue de l'*Almageste* (1) avec quelques changements, remplace la description que donne Ptolémée de cette quatrième étoile par celle-ci : « Petite et sixième de la Pléiade comptée de l'ourse », et il lui assigne non plus la quatrième mais la sixième grandeur. Il ajoute en note : « il serait singulier que la luisante de la Pléiade (Aleyone) ne fût pas dans ce catalogue ; il faut que les erreurs l'aient rendue méconnaissable. »

(1) *Histoire de l'Astronomie ancienne*. t. II, pp. 264 et suiv.

M. Flammarion, dans son livre *Les Étoiles* (1), a longuement étudié cette énigme. Partant des ascensions droites et des déclinaisons, pour 1880, 0, de chacune des Pléiades principales, il calcule, pour la même époque, leurs longitudes et leurs latitudes, il retranche des longitudes les 24°28' dont la précession les a fait rétrograder au cours des 1750 ans qui séparent l'année 1880, 0 de l'époque de Ptolémée (130) et il conserve les latitudes (2). Il obtient ainsi le tableau suivant auquel nous ajoutons Pléione et les grandeurs *actuelles* de chacune de ces étoiles.

| L'an 130 | | | |
|----------|-------------------|-----------------|-----------------|
| | <i>Longitude</i> | <i>Latitude</i> | <i>Grandeur</i> |
| | 33°16' | 4°10' | 4,5 |
| | 33 18 | 4 21 | 6,5 |
| | 33 26 | 4 31 | 5,8 |
| | 33 32 | 4 23 | 5,0 |
| (11) | Mérope 33 33 | 3 56 | 5,5 |
| | Astérope 33 37 | 4 34 | 6,8 |
| | Alcyone 33 51 | 4 42 | 3,0 |
| | Atlas 34 13 | 3 54 | 4,6 |
| | Pléione 34°13'40" | 3°59' | 6,3 |

Il reste à comparer ce tableau à celui des positions renseignées dans l'*Almageste* (tableau I).

Le « résultat est fantastique, écrit M. Flammarion : il n'y a aucune correspondance entre ces positions et celles de Ptolémée ». En effet, les écarts en longitude, pour ne rien dire des latitudes moins sûres, sont énormes.

Mais on admet généralement (3) qu'en réduisant à

(1) Paris, 1882, pp. 290 et suiv.

(2) Le peu d'exactitude du Catalogue de Ptolémée rend superflu un calcul plus rigoureux.

(3) Delambre, *Histoire de l'Astronomie ancienne*, t. II, p. 262.

son époque le catalogue d'Hipparque qu'il reproduit, Ptolémée a supposé la précession égale à 36" seulement au lieu de 50". Or entre Hipparque et Ptolémée, il s'est écoulé 265 années. Toutes les longitudes du catalogue de l'*Almageste* seraient donc trop faibles de 1°2' environ. Si nous tenons compte de cette correction, que néglige M. Flammarion, le tableau (1) devient :

| | | <i>Longitude</i> | <i>Latitude</i> | <i>Grandeur</i> |
|-------|---|------------------|-----------------|-----------------|
| | 1 | 33°12' | 4°30' | 5 |
| (III) | 2 | 33 22' | 3 40 | 5 |
| | 3 | 34 42 | 3 40 | 5 |
| | 4 | 34°42' | 5° | 4 ou 6 |

Le résultat s'améliore un peu, mais il faut faire appel à toute l'indulgence que l'on doit aux observations des anciens, surtout dans l'estimation des grandeurs stellaires qui ont pu d'ailleurs varier, et tenir compte des descriptions verbales, pour en tirer des conclusions vraisemblables.

La première Pléiade de Ptolémée peut être Électre ou Taygète, la seconde est Mérope ; il est bien difficile sinon impossible de reconnaître Aleyone dans la troisième, c'est Atlas sans doute qu'il faut y voir ; quant à la quatrième, de même longitude qu'Atlas et plus au nord, il faut admettre une bien grosse erreur sur la latitude pour y voir Pléione ; c'est bien le cas de répéter avec Delambre, que l'identification des étoiles de l'*Almageste* a souvent embarrassé : « Quand l'erreur de Ptolémée est assez considérable pour rendre l'étoile méconnaissable, toutes les conjectures deviennent assez inutiles ; on ne tirera jamais rien d'une étoile mal observée ou transcrite infidèlement. »

En résumé, Ptolémée ne nous apprend rien ou fort peu de chose. Du fait qu'il ne renseigne que quatre Pléiades, il n'y a rien à tirer : Ovide, son contempo-

rain, en comptait six et Hipparque, dont il reproduit le catalogue, en voyait sept. L'*Almageste* n'est pas un traité d'astronomie pratique ; les Pléiades intéressaient moins Ptolémée qu'Hésiode et Aratus. S'il n'en signale que quatre, comme le fit plus tard Tycho-Brahé qui cite Électre, Alcyone, Atlas et peut-être Mérope, c'est que l'observation des occultations, par exemple, ne lui a pas fourni l'occasion d'en mesurer un plus grand nombre.

Il n'est pas impossible — rien n'est impossible quand il s'agit d'un catalogue exposé à tant d'incorrections — mais il paraît très peu probable qu'Alcyone soit au nombre des Pléiades de l'*Almageste*. Peut-être son éclat ne l'emportait-il pas alors, comme il l'emporte depuis le xv^e siècle, sur celui de ses sœurs. Elles-mêmes d'ailleurs n'ont pas toujours paru également brillantes (1), et d'autres étoiles du même groupe ont pu s'exalter ou déchoir ; la légende de la « Pléiade perdue » est susceptible, nous le verrons, d'une interprétation littérale.

III

A l'époque de l'invention de la lunette, les Pléiades avaient cessé de régler les travaux des champs et de donner le signal des expéditions maritimes ; on ne surveillait plus leurs levers et leurs couchers, les astronomes avaient d'autres soins, mais ils continuaient à s'intéresser à cette région du ciel un peu mystérieuse.

Elle fut l'une des premières vers lesquelles Galilée dirigea la lunette qui venait de lui révéler l'existence des montagnes de la Lune, des satellites de Jupiter et la nature de la Voie lactée. Le spectacle que lui offrit

(1) Voir Flammarion, *Les Étoiles*, loc. cit.

la famille d'Atlas l'émerveilla ; il en fit un dessin qu'il se hâta de publier dans son *Sidereus Nuntius*.

Cette première esquisse télescopique des Pléiades compte 36 étoiles ; leur nombre ne cessera plus désormais d'augmenter, tous les perfectionnements de la lunette et tous les progrès des procédés d'observation y ont contribué.

Moins de vingt-cinq ans après Galilée, ce nombre est déjà plus que doublé : Robert Hooke, en 1664, compte en effet 78 Pléiades. Un siècle plus tard, en 1767, Michell n'hésite pas à prédire qu'on arrivera au millier ; cette prévision fut bientôt très largement dépassée.

En 1876, C. Wolf, à l'observatoire de Paris, cataloguait 625 étoiles de la 3^e à la 14^e grandeur, dans un espace de 131' d'ascension droite et 90' de déclinaison dont Alcyone occupe le centre.

Quelques années plus tard, en 1885, Paul et Prosper Henry fixaient sur la plaque photographique, dans un espace moindre, 1421 étoiles ; et au cours de l'hiver de 1887, une exposition de 4 heures leur en donnait 2326 dont les plus faibles étaient probablement voisines de la 16^e grandeur photographique. Nous reviendrons sur l'application de la photographie aux Pléiades ; elle nous a révélé bien d'autres merveilles que l'accumulation des étoiles dans ce coin du ciel.

A cette époque et depuis longtemps déjà, on ne doutait plus que tant d'étoiles réunies en un si petit espace n'aient entre elles des liaisons physiques réelles.

Au commencement de notre ère, le poète Marcus Manilius, dans son livre intitulé *Astronomicon*, avait donné aux Pléiades le nom de « Glomerabile sidus » : certes, il ne pensait pas si bien dire, mais son épithète a fait fortune : les progrès de l'astronomie nous ont montré, dans le ciel, de nombreux groupes et amas globulaires d'étoiles, contenant d'une centaine à plu-

sieurs milliers de membres et ne se résolvant, le plus souvent, en astres distincts que dans les très grands instruments. Les Pléiades rentrent dans cette catégorie d'objets célestes. mais des mesures précises et le contrôle du temps pouvaient seuls nous en fournir la preuve et nous donner le moyen de discerner, dans ce fouillis d'étoiles, celles que la nature a réellement unies entre elles, de celles que les erreurs de la perspective y introduisent.

Du jour où la lunette fut adaptée aux observations méridiennes, les astronomes s'appliquèrent à dresser des catalogues ou à tracer des cartes des Pléiades, basées sur les positions directement déterminées par les instruments méridiens d'un certain nombre d'entre elles : citons les cartes de La Hire (1693), de Cassini et Maraldi (1708), de Le Monnier (1748), de Jeurat (1760) et, plus tard, les observations de Piazzzi, de Baily, de Rumker, etc. La précision de ces travaux est celle des observations méridiennes de l'époque où ils furent exécutés, et le nombre des étoiles fondamentales directement mesurées y est relativement restreint.

Le travail fondamental d'où devait sortir la connaissance exacte du groupe des Pléiades est celui que Bessel inaugura à Kœnigsberg, en 1829, et qu'il publia en 1841 (1).

C'est le catalogue fondé sur les mesures différentielles héliométriques des 52 étoiles les plus brillantes comprises dans le cercle dont η Tauri (Aleyone) est le centre et dont le rayon mesure 48'. On devine le profit que le temps allait permettre aux astronomes de tirer d'un travail aussi étendu et dont la précision n'a pas été surpassée.

(1) ASTRON. NACHRICHTEN, n° 430 ; le catalogue conclu ; le mémoire complet se trouve dans les ASTRON. UNTERSUCHUNGEN, I, 209, et dans les ABHANDLUNGEN de F. W. Bessel (éd. Engelmann), II, 299.

Lorsqu'on a affaire à un système stellaire simple — au plus simple de tous, par exemple, à une étoile double — l'existence d'un lien physique réel entre ses composantes nous est démontrée par le mouvement orbital de l'une d'elles autour de sa compagne. Dans ce cas, les données d'une observation suffisamment prolongée, les lois de Newton et les ressources actuelles de l'analyse mathématique suffisent à nous dévoiler la structure interne et le mécanisme du système. Mais il n'en va plus ainsi pour un amas de quelques centaines ou de quelques milliers d'étoiles.

Ici nous devons renoncer, provisoirement du moins et vraisemblablement pour longtemps encore, à pénétrer les secrets de la mécanique céleste, infiniment plus compliquée que la nôtre, qui préside à la stabilité et à l'évolution d'un tel système; mais la preuve de l'existence d'une liaison réelle entre ces étoiles, de leur unité physique peut nous être fournie par une sorte de rigidité de l'ensemble, compatible avec certains petits mouvements individuels, d'apparence irrégulière, se superposant à un mouvement commun à tous les astres de l'amas. Si la perspective y fait voir quelques éléments étrangers, qui échappent dès lors à ce mouvement d'ensemble, le temps nous les signale, il se charge même de chasser ces intruses sur d'autres routes du ciel. Telle nous apparaît une foule marchant de concert vers un but déterminé. Chacune des personnes qui la composent n'est pas invariablement fixée à la place qu'elle occupe relativement à ses voisines, elle peut en changer sans cesser de participer à la marche de l'ensemble; mais si elle est étrangère au cortège, si elle ne va pas là où vont les autres, elle finira fatalement par les abandonner.

Or, en 1865, un quart de siècle après la publication du travail de Bessel, une photographie des Pléiades prise par Rutherford, de New-York, permit au doc-

teur Gould de déterminer à nouveau les positions relatives à Aleyone de 39 étoiles du catalogue de l'astronome de Königsberg ; elles n'avaient point changé de façon appréciable : la rigidité du groupe se manifestait donc nettement.

Il est vrai que vingt-cinq ans est une durée bien courte pour asseoir, en pareille matière, une conclusion définitive ; mais cette conclusion n'a cessé d'être confirmée et étendue à un nombre de plus en plus grand de Pléiades. Rappelons, sans entrer dans une analyse qui ne peut trouver place ici (1), les mesures micrométriques de C. Wolf, de G. Rayet et de Pritchard ; les mesures héliométriques d'Elkin, de Battermann et d'Ambroun, les mesures photographiques de Jacobi, Turner, Gould, Olsson, etc. Toutes aboutissent au même résultat qu'il faut accepter aujourd'hui comme définitif.

Ce ne sont pas les hasards de la perspective qui nous font voir, dans la région des Pléiades, tant d'astres réunis. Il y a là un amas réel d'étoiles, mais un amas irrégulier, comme il y en a beaucoup dans le ciel. Le plan sur lequel il est construit nous échappe ; par son éclat, Aleyone domine ses sœurs, mais le rôle de Soleil central régissant les mouvements internes de ce monde stellaire qu'on serait tenté de lui attribuer, peut très bien n'avoir rien de réel.

Les étoiles brillantes du groupe, toutes celles dont les grandeurs dépassent le neuvième, à très peu d'exceptions près, font partie de l'amas ; mais parmi les étoiles inférieures à la neuvième grandeur — qui ne semblent pas plus nombreuses là que dans une autre région équivalente du ciel — il en est vraisemblablement beaucoup qui lui sont étrangères.

De plus, Aleyone, le centre des mesures qui ont

(1) Voir Ch. André, *Traité d'Astronomie stellaire*, deuxième partie, pp. 319 et suiv.



FIG. 3. — LA NÉBULEUSE MESSIER 8 DANS LE SAGITTAIRE

abouti à cette conclusion, n'est point fixe sur la voûte céleste : elle a un mouvement propre apparent dont *le sens est directement opposé à celui de la translation de notre Soleil et de son cortège de Planètes* et dont la *grandeur séculaire* a été estimée égale à 6" par Newcomb ; telles sont donc aussi la direction et la grandeur du mouvement propre apparent de l'amas tout entier, puisqu'il défile sous nos yeux du même pas et dans la même direction que la plus brillante de ses étoiles.

Nous ne connaissons pas la distance qui nous sépare d'Alcyone ; les tentatives que l'on a faites pour déterminer directement sa parallaxe ont échoué. Il n'y a rien là d'étrange : un tel objet se prête mal à pareille recherche, sans compter que cette parallaxe, à en juger par l'extrême petitesse du mouvement propre apparent, doit être très faible. Mais une hypothèse, que suggère la direction du mouvement propre apparent d'Alcyone, va nous permettre de tourner ces difficultés (1).

On sait que le mouvement propre apparent d'une étoile résulte de son mouvement propre particulier, si elle en possède un — c'est le cas général — et de son mouvement *parallactique*, c'est-à-dire du mouvement *égal et directement opposé* à la translation qui nous emporte avec le Soleil et que nous attribuons, en sens inverse, aux étoiles. C'est ainsi que le mouvement apparent d'un objet que nous observons d'un train en marche, résulte du mouvement particulier de cet objet, s'il en possède un — si c'est un autre train en marche par exemple — et de son mouvement *parallactique*, c'est-à-dire de notre propre mouvement que nous passons, en le renversant, à tout ce qui ne participe pas

(1) Agnes M. Clerke, *The system of the Stars*, seconde édition, London, 1905, ch. XVII, p. 221.

à notre déplacement. Si le mouvement particulier de l'objet observé est nul — si c'est un arbre, une maison — son mouvement propre apparent se réduit à son mouvement parallactique.

Or le mouvement propre apparent d'Alcyone, nous l'avons vu, est *directement opposé à notre translation*. L'hypothèse la plus simple qui rend compte de cette particularité, c'est que l'amas des Pléiades est fixe relativement à la trajectoire du Soleil, comme les arbres et les maisons le sont relativement à la voie du train qui nous emporte; dans ce cas, cet effet, la direction de son mouvement propre apparent doit être celle de son mouvement parallactique.

Mais s'il en est ainsi, les 6" que mesure le mouvement propre apparent séculaire d'Alcyone mesurent aussi l'angle sous lequel on verrait, de cette étoile, le trajet effectué, *en un siècle*, par le Soleil dans son voyage à travers l'espace. Nous connaissons la vitesse kilométrique de cette translation, soit 17^{km},5 à la seconde : ce trajet séculaire mesure donc

$$17,5 \cdot 60^2 \cdot 24 \cdot 365 \cdot 10^3 \text{ kilomètres}$$

ou, en années de lumière,

$$\frac{17,5}{3 \cdot 10^8}$$

Il est aisé de calculer à quelle distance cette longueur est vue sous l'angle de 6" : on trouve

$$\frac{17,5 \cdot 6^2}{\pi},$$

soit 200 années de lumière, en chiffres ronds, ce qui correspond à une parallaxe de 0",016.

Transporté dans ces profondeurs de l'espace, le Soleil n'apparaîtrait plus que comme une étoile de

grandeur 8,9 : il cesserait d'être visible à l'œil nu (1). Atlas, Pléione et toutes les Atlantides dont les grandeurs surpassent 8,9 seraient donc des Soleils plus brillants que le nôtre : l'éclat d'Aleyone, qui est de troisième grandeur, surpasserait l'éclat global de 250 étoiles de neuvième grandeur, et celui d'Atlas, qui est pour nous à la limite de la vision à l'œil nu, dominerait celui de 14 Soleils.

En partant toujours de la même hypothèse : *le mouvement propre apparent d'Aleyone se réduit à son mouvement parallactique et ce mouvement est de 6" par siècle*, nous pouvons nous faire une idée des dimensions réelles de l'amas des Pléiades. Sa partie la plus dense se projette sur la sphère céleste en un cercle dont Aleyone est le centre et dont le rayon vaut 48' ; sachant que 200 années de lumière nous séparent du centre de ce cercle, la grandeur réelle de son rayon est de 2.8 années de lumière, soit 26,8 trillions de kilomètres ou 6000 fois la distance du Soleil à Neptune.

Dans un aussi vaste espace, il y a place pour bien des mondes. De fait, on a cru y trouver plusieurs étoiles doubles ou multiples ; mais le temps n'a pas toujours confirmé ces découvertes.

(1) Par définition, l'éclat e_m d'une étoile de $m^{\text{ième}}$ grandeur vaut $(\sqrt[5]{100})^{n-m}$ fois l'éclat d'une étoile de $n^{\text{ième}}$ grandeur, d'où

$$\log. e_m - \log. e_n = 0,4(n - m).$$

Pour une même étoile d'éclat e_m à la distance D_m et d'éclat e_n à la distance D_n , on a $e_m D_m^2 = e_n D_n^2$, d'où

$$\log. D_n - \log. D_m = 0,2(n - m). \quad (1)$$

Or la grandeur stellaire m du Soleil est — 26,6 à la distance D_m de 8 minutes 12 secondes de lumière qui nous en sépare ; il est facile de tirer de la relation (1) sa grandeur stellaire n à la distance D_n de 200 années de lumière qui nous sépare des Pléiades ; on trouve 8,9.

En 1826, F. Struve soupçonnait en Atlas une double très serrée ; il la revit telle en 1830, mais ses composantes n'ont plus été séparées depuis. En 1837, Struve lui-même écrivait à propos de cette Pléiade : « stella simplex in optima nocte ». Il est vrai que, en 1876, un astronome de Strasbourg, Hartwig, observant une occultation des Pléiades par la Lune, note que « la disparition d'Atlas ne fut pas instantanée ».

D'autre part, au cours de recherches entreprises en 1903-1904, sur les vitesses radiales des six Pléiades principales, Walter Adams, de l'observatoire Yerkes, constata que le spectre de Maïa présente les traits caractéristiques d'une étoile double spectroscopique (1). Quant aux cinq autres Pléiades, leurs vitesses radiales sont positives ; leur distance au Soleil augmente donc, et cela dans une proportion qui s'accorde bien avec l'hypothèse que nous énoncions plus haut : le mouvement propre apparent des Pléiades se réduit à leur mouvement parallactique ; elles sont relativement fixes, c'est le Soleil qui s'éloigne d'elles.

En 1886, le Professeur Pickering a conclu de l'étude des spectrogrammes de quarante étoiles de l'amas des Pléiades à l'identité de nature de leur lumière ; « il y a là, dit-il, une solide confirmation de leur communauté d'origine ». Ces spectres sont ceux des étoiles dites « à hélium », étoiles blanches, rangées autrefois dans la classe I de Secchi et qui forment aujourd'hui les groupes B et BA de Harvard ou plus spécialement, dans le cas qui nous occupe ici, les groupes V à VII de Miss A. C. Maury. Les raies d'absorption de l'hélium et de l'hydrogène dominant dans ces spectres et le stade d'évolution des étoiles correspondantes suc-

(1) On donne ce nom aux systèmes doubles beaucoup trop serrés pour pouvoir être séparés par les procédés ordinaires, mais dont la composition nous est révélée par le dédoublement périodique des raies de leur spectre.

céderait, d'après Mac Clean, à celui des nébuleuses gazeuses.

Des recherches postérieures ont apporté quelques précisions à ces données. Il existerait une relation étroite entre la nature du spectre d'une Pléiade et son éclat ou sa grandeur stellaire. On savait que les étoiles les plus brillantes de cet amas accusent, jusqu'à la septième grandeur, une variation progressive du type spectral allant de la classe V à la classe VII de Miss Maury. Or Rosenberg a constaté que cette variation continue à s'accroître jusqu'à la neuvième grandeur : plus loin, les modifications sont telles qu'on ne retrouve plus les traits caractéristiques des étoiles à hélium ; cette transformation serait assez nette pour permettre de distinguer, au sein du groupe, les vraies Pléiades des étoiles étrangères à l'amas.

Enfin, l'analyse spectrale nous donnerait-elle la clef de la légende de la Pléiade perdue ?

On a reconnu que le spectre de Pléione est celui des étoiles à hélium, mais à lignes brillantes, caractérisé par la présence des raies d'émission de l'hydrogène, C et F surtout, et de l'hélium. Or cette classe est formée entièrement de variables ou même d'étoiles temporaires ; on y trouve entre autres P du Cygne, dont l'histoire est très suggestive.

C'est une ancienne variable qui brille aujourd'hui d'un éclat modeste - elle est de grandeur 5,5 — mais constant. En 1600, elle se montra momentanément de troisième grandeur, ce qui lui valut d'être appelée « étoile temporaire de Janson, 1600 ». En 1659, elle passa par un nouveau maximum qui l'éleva jusqu'à la seconde grandeur, mais ce fut pour descendre bientôt jusqu'à la limite des astres visibles à l'œil nu. Depuis le commencement du XIX^e siècle elle a pris et conservé son éclat actuel.

La similitude des spectres autorise à penser que

l'histoire de Pléione a pu répéter celle de P du Cygne. Mais si la mère des Pléiades a connu ces variations d'éclat, elle a brillé aux jours de sa splendeur à l'égal des plus belles de ses filles, pour se voiler plus tard et ne plus se montrer qu'aux observateurs attentifs et doués de très bons yeux. Telle serait l'origine de la légende de la Pléiade perdue ; elle raconterait les métamorphoses de Pléione. C'est l'interprétation que suggère le Professeur Pickering, et elle n'est pas dépourvue de vraisemblance.

Mais il est, dans ce lointain fouillis d'étoiles, bien d'autres merveilles longtemps insoupçonnées et dont nous devons la connaissance aux perfectionnements de la lunette et, surtout, à l'application de la photographie aux observations astronomiques.

Le 19 octobre 1859, W. Tempel, alors à Venise, constate que Mérope s'entoure d'une matière nébuleuse que personne jusque-là n'avait signalée. Il n'annonça cette découverte que le 23 décembre 1860, dans une lettre écrite de Marseille (1).

« ... L'an passé, à Venise, écrit Tempel, après avoir cessé d'observer les Pléiades pendant six mois, je trouvai sur Mérope, le 19 octobre, une grande et brillante nébuleuse. qu'au premier coup d'œil je pris pour une belle et grande comète ; mais je me convainquis le soir suivant, 20 octobre, de son immobilité. Je l'ai observée ici (à Marseille) à plusieurs reprises, et plusieurs personnes, M. Valz entre autres, l'ont vue avec une lunette. J'ai vu distinctement, depuis quelque temps, de petites étoiles isolées étinceler par instants sur cette nébuleuse, et elle est plus brillante en un endroit. »

(1) ASTRON. NACHR., 1861, n° 1290, p. 285. Nous empruntons sa traduction à Bigourdan, *Les nébuleuses de la région des Pléiades*, BULLETIN ASTRON., t. XXVIII, 1911, p. 417.

L'annonce de la découverte d'une nébuleuse « grande et brillante » dans une région du ciel si souvent explorée et où rien de semblable n'avait été soupçonné, était bien faite pour piquer la curiosité des astronomes au moment surtout où un événement récent retenait leur attention sur les nébuleuses variables, imitant non les étoiles variables périodiques, mais plutôt les étoiles temporaires. Voici cet événement.

Dans son *Catalogue* de 1864, Sir J. Herschel décrivait ainsi une nébuleuse de la constellation du Taureau où habitent précisément les Pléiades : « !!! ; v F ; S ; variable (Hind) » ; ce qui signifie « objet extrêmement remarquable : très faible : petit ; trouvé variable par Hind ». Il s'agissait d'une nébuleuse ronde, de l'environ de diamètre, avec condensation centrale, découverte par Hind le 11 octobre 1852, non loin du groupe des Hyades. Il l'avait suivie de 1852 à 1856 et la croyait variable.

Or, au moment où Tempel faisait part de la découverte de la nébuleuse de Mérope, d'Arrest venait d'annoncer, le 3 octobre 1861, la disparition de la nébuleuse de Hind ; ni Le Verrier et Chacornac, à Paris, ni Secchi, à Rome, ni d'autres encore ne purent la retrouver (1). Mérope allait-elle offrir un nouvel exemple d'une nébuleuse temporaire ?

Les résultats des observations qui suivirent l'annonce de la découverte de Tempel furent d'abord déconcertants. Tandis que Pape, à Altona, avait peine à apercevoir « la grande et brillante nébuleuse » et que d'Arrest et Schjellerup la cherchaient en vain,

(1) Voici la suite de l'histoire de cette nébuleuse. Après être restée introuvable pendant un quart de siècle environ, même dans le réflecteur de six pieds de Lord Rosse, on la revit à peine, en 1890, dans la lunette de 36 pouces de l'observatoire Lick où elle redevint insaisissable en 1895 et en 1897. L'année suivante, en 1898, la lunette de 40 pouces d'Yerkes permit d'en saisir quelque trace que Keeler, en 1899, parvint à fixer par la photographie à l'aide du célèbre réflecteur Crossley de l'observatoire Lick.

Auwers la voyait assez nettement pour tenter d'en reconnaître la forme, qu'il juge triangulaire, et d'en mesurer l'étendue, qu'il évalue à 5'. Bientôt cependant les observations heureuses se multiplient et se précisent : aujourd'hui qu'on n'a point cessé de la voir depuis plus d'un demi-siècle. L'hypothèse de sa variabilité est au moins fort douteuse ; mais il semble que Tempel ait un peu exagéré en annonçant sa découverte. La grande diffusion de la nébuleuse de Mérope, son faible éclat, le voisinage d'étoiles relativement brillantes donnent aux qualités de l'œil qui la regarde, à celles de la lunette qu'on emploie et aux conditions atmosphériques une importance qui suffit à expliquer les premières hésitations.

Le 7 mars 1874, André et B. Baillaud crurent voir cette nébuleuse composée de deux noyaux « dont l'un, presque concentrique à l'étoile (Mérope), s'étale un peu vers l'Est, l'autre, plus lumineux, est à une distance de l'étoile de 7^s à peu près, sur le même parallèle et en arrière : son diamètre est d'environ 1^s de temps ».

Outre ces deux condensations, Barnard, à l'observatoire Lick, en a découvert plus tard, en 1890, une troisième très voisine aussi de Mérope, vers le Sud et un peu en arrière.

En 1875, Searle, à Harvard, avait remarqué qu'Alcyone s'entoure aussi d'une auréole vaporeuse. D'autre part Schiaparelli à Milan et Maxwell Hall à la Jamaïque, constatent que la nébuleuse de Mérope s'étend très loin, qu'elle atteint Électre et même Celaeno. Déjà Goldschmidt, en 1863, avait annoncé que la matière nébuleuse qui accompagne les Pléiades les entoure de tous côtés et couvre une surface de 5° de diamètre où l'on relève deux maxima principaux, l'un vers Mérope, l'autre dans la région symétrique par rapport à Alcyone.

Il était réservé à la photographie de confirmer ces observations, d'y introduire un peu d'unité et surtout d'y ajouter de nouvelles merveilles. Signalons les photographies de Paul et Prosper Henry, en 1885 et 1888, celles du D^r Roberts, en 1886, et celles de J. E. Keeler, en 1899. On trouvera la carte des Pléiades dressée par les frères Henry d'après leurs photographies, dans le *Traité d'Astronomie stellaire* de Ch. André (seconde partie). Nous reproduisons (Pl. I) la région la plus intéressante des Pléiades telle que nous la montrent les photographies de J. E. Keeler. Nous empruntons cette planche au superbe Atlas d'amas stellaires et de nébuleuses publié par J. E. Keeler en 1908 (1).

Une vaste formation nébuleuse couvre tout le côté ouest de l'amas en se concentrant autour des étoiles principales. Maïa et Électre s'ornent d'appendices en spirales tourmentées qui rappellent les remous des nuages heurtant les sommets des montagnes. Du sein de la matière nébuleuse où Aleyone est plongée, partent des filaments rectilignes larges parfois de 3" à 4" et s'étendant sur des longueurs énormes. Il en est d'autres plus remarquables encore; l'un d'eux, qui se rattache à la nébuleuse de Maïa, rencontre sur son trajet sept étoiles de diverses grandeurs qu'il relie les unes aux autres, nous offrant ainsi le spectacle de mondes stellaires communiquant entre eux. Ailleurs ce sont des enchevêtrements de queues de comète, des fragments de collier dont les perles sont des étoiles, des jets capricieux qui défient toute description.

Le groupe des Pléiades n'est pas le seul des amas irréguliers où la matière nébuleuse semble s'insinuer entre ses étoiles. La nébuleuse M 8 (Pl. II), par

(1) Cet Atlas forme le t. VIII des *Publications of the Lick observatory* (UNIVERSITY OF CALIFORNIA PUBLICATIONS, Sacramento, W. W. Shannon, 1908).

exemple, paraît bien engagée dans un brillant amas irrégulier du Sagittaire (1) ; mais il n'en est aucun à notre connaissance où la matière nébuleuse se relie aussi intimement à certaines étoiles que dans les Pléiades.

Un dans son ensemble, l'amas des Pléiades est donc infiniment varié dans ses détails : c'est un musée de merveilles célestes. Dans cette immense collection d'étoiles, il semble bien qu'il n'en est aucune dont la masse l'emporte tellement sur la masse moyenne des autres qu'elle puisse être comparée à notre Soleil dans le système planétaire qu'il gouverne, mais elles dépendent les unes des autres et le lien qui les unit n'est autre, sans doute, que celui que Newton a symbolisé sous le nom d'*attraction universelle* ; ce sont ces attractions réciproques et les conditions initiales de la formation de ces soleils qui déterminent leurs mouvements particuliers et président à l'équilibre dynamique de l'ensemble.

Or, de même que pour un corps pesant à la surface de la terre, il existe un point mathématique, qui ne lui appartient pas nécessairement — son *centre de gravité* — où son poids est virtuellement attaché, ainsi dans un système d'étoiles soumises aux lois de Newton, il existe un *centre d'action*, qui peut n'appartenir à aucune d'elles — ce n'est aussi qu'une abstraction, une expression mathématique — et qui joue le même rôle à l'égard de chacune des étoiles du système que notre Soleil vis-à-vis de ses planètes.

Si nous connaissions, à un moment donné, les positions, les masses, les grandeurs et les directions des vitesses de chacun des astres qui composent l'amas des Pléiades, nous pourrions déterminer son centre d'ac-

(1) AR. 17h57m43s, D. —24°23', 1900, 0.

tion en partant des lois de l'attraction : mais nous ignorons tout des données du problème, et ce premier pas dans le domaine fermé de la mécanique des systèmes stellaires nous est interdit.

On a tenté cependant, par une voie indirecte, d'obtenir une solution approximative d'un problème analogue, mais plus vaste encore : *déterminer le centre d'action du système de la Voie lactée.*

On ne se souvient guère aujourd'hui de cette entreprise, trop grandiose pour ne pas être stérile ; mais c'est un épisode de l'histoire des Pléiades et, à ce titre, il convient de le rappeler brièvement ici.

L'hypothèse d'un Soleil central autour duquel graviterait l'Univers a hanté non seulement l'imagination des poètes — on la trouve en germe dans Lucrèce — mais aussi la pensée des philosophes, témoin Kant dans son *Histoire naturelle générale et théorie du Ciel*, et celle de quelques astronomes : les noms de Sirius et de Fomalhaut (α du Poisson austral) ont même été prononcés.

Tout cela n'était que rêveries creuses ; mais de 1846 à 1858, Mädler publia à Dorpat une série de mémoires qui semblaient leur donner une base dans l'observation. Il y est question de la constitution de la Voie lactée, des directions et des grandeurs des mouvements propres des étoiles et de leur classification. Nous n'analyserons pas ces mémoires (1), leur conclusion seule nous intéresse.

Nous avons admis tantôt l'hypothèse, suggérée par l'observation, que le mouvement propre apparent d'Alcyone et, par suite, de l'amas des Pléiades, se réduit à son mouvement parallactique. Or il en serait ainsi si la translation du Soleil et de son cortège de

(1) Voir Ch. André, *Traité d'Astronomie stellaire*, t. II, ch. XXIV, p. 411 et suiv.

planètes était en réalité une révolution autour d'un centre situé très loin de nous, *dans la région des Pléiades* supposées fixes, et d'une période si longue que des siècles d'observation suffiraient à peine à nous dévoiler la courbure de sa trajectoire. Eh bien, Mädler étend, en somme, cette considération à tous les soleils qui peuplent l'espace. L'étude de leurs mouvements propres apparents, leurs grandeurs et leurs directions l'amènent à penser que *tous gravitent autour d'un centre d'action situé dans l'amas des Pléiades*. Ce centre peut être vide de matière, il ne se confond pas nécessairement avec quelque une des étoiles de l'amas, mais comme Alcyone en est le plus bel ornement, on lui a donné parfois le nom de « Soleil central de l'Univers ».

Ni Alcyone, ni aucune de ses sœurs n'ont de telles prétentions : elles sont assez belles, assez riches pour se passer d'un titre contestable. Si les marins et les agriculteurs ne les consultent plus, comme au temps d'Homère et d'Hésiode, les astronomes de tous les siècles ne cesseront pas de les admirer.

J. THIRION, S. J.

UNE ENQUÊTE

SUR

L'ASSURANCE POPULAIRE SUR LA VIE (1)

(ASSURANCE DE CAPITAUX)

Au Congrès des actuaires tenu à Berlin en 1906, les chiffres suivants, relatifs aux assurances sur la vie adaptées à la condition des salariés et, par extension,

(1) Les définitions suivantes permettront aux lecteurs non complètement initiés aux choses de l'assurance la compréhension facile de certains passages de cet article.

Assurance-vie. Contrat obligeant l'assureur, moyennant le versement de primes déterminées, à payer une somme convenue en cas de vie ou de décès de l'assuré.

Assuré. Personne sur la vie de laquelle repose l'assurance.

Preneur d'assurance. Personne qui conclut l'assurance et paie les primes.

Bénéficiaire. Personne à qui le capital assuré devra être payé.

Assurance vie-entière. Garantit le paiement du capital au décès de l'assuré, à quelque époque qu'il se produise.

Assurance temporaire. Garantit le paiement d'un capital, si le décès de l'assuré se produit avant une époque fixée.

Assurance mixte ou alternative. Garantit le paiement du capital à une époque déterminée, ou au décès de l'assuré, s'il survient avant cette époque.

Assurance à terme fixe. Garantit le paiement d'un capital à une époque déterminée, que l'assuré soit en vie ou non ; la prime peut cesser d'être payable, si l'assuré meurt avant l'époque fixée.

Assurance temporaire de capitaux décroissants. Garantit au décès le paiement d'un capital qui diminue au cours de la durée du contrat, suivant l'une ou l'autre loi.

Assurance à effet immédiat. Prend cours dès la conclusion du contrat.

Assurance à effet différé. Ne prend cours qu'après un temps déterminé.

Assurance de capitaux différés. Garantit le paiement d'un capital, en cas de vie de l'assuré, à une époque fixée.

Assurance-Épargne. Type d'assurance à terme fixe, comportant fréquem-

à celles des personnes qui ne jouissent que de faibles revenus, ont été produits. Ces assurances sont dites, en Angleterre et aux États-Unis d'Amérique, « Industrial Insurances ».

| PAYS | Nombre des Compagnies d'assurances | Nombre des polices au 31-12-1904 | Montant en francs des sommes assurées | Moyenne par police |
|------------------------|--|---|--|-----------------------|
| États-Unis d'Amérique | 17 | 15 700 000 | 41 milliards | 700 (1) |
| Angleterre | 20 | 23 800 000 | 5,7 id. | 240 |
| Allemagne | 14 | 5 000 000 | 1,1 id. | 220 |
| Australie (2). | 6 | 300 000 | 465 millions | 550 |
| Canada | 5 | 300 000 | 472 id. | 575 |

ment, en cas de décès de l'assuré avant le terme, le remboursement des primes versées, augmentées ou non de leurs intérêts composés.

Assurance automatique. En cas de cessation du paiement des primes après un temps déterminé, la réserve mathématique est employée d'office à maintenir l'assurance pour le montant intégral du capital assuré.

Primes. Prix de l'assurance ou cotisations à payer à l'assureur.

Primes constantes. Primes invariables et payables périodiquement pendant un temps déterminé.

Primes variables. Primes qui croissent ou décroissent suivant des règles fixées.

Primes temporaires. Primes payables pendant un certain temps.

Primes uniques. Primes payables une seule fois.

Primes pures. Prix coûtant de l'assurance.

Police. Contrat spécifiant les droits et obligations de l'assureur et de l'assuré.

Police libérée. Police ne comportant plus le paiement de primes.

Police réduite. Police dont le capital assuré et la prime ont été diminués.

Police transformée. Police dont certaines conditions initiales ont été modifiées : prime, capital assuré, durée du contrat, etc.

Chargements. Parties des primes destinées à couvrir les frais généraux de l'assureur.

Déchéance. Annulation du contrat entraînant la perte des droits acquis.

Rachat. Liquidation anticipée du contrat d'assurance.

Valeur de rachat. Somme remise au preneur d'assurance, compensant l'abandon de ses droits acquis par les versements antérieurs de primes.

Réserves mathématiques. Poste du passif de l'assureur représentant la valeur, à la date du bilan, des engagements de l'assureur envers ses assurés dépassant ceux des assurés envers l'assureur du chef des primes encore à échoir.

(1) Cette moyenne relativement élevée s'accorde avec le prix de la vie aux États-Unis.

(2) Pour 1903.

Le tableau précédent montre le développement pris chez les Anglo-Saxons par l'assurance populaire sur la vie. M. Ed. Demolins, dans son livre « A quoi tient la supériorité des Anglo-Saxons », en trouvait la cause dans leur caractère particulariste et individualiste, qui leur fait rechercher l'indépendance, qui les porte à donner une assiette solide à leur foyer. Se sentant par l'assurance à l'abri de graves éventualités, ils sont plus libres de poursuivre l'amélioration de leur installation domestique.

Après les nations anglo-saxonnes, les Pays-Bas et l'Allemagne tiennent le second rang. Les autres pays, pour autant que l'assurance populaire sur la vie y soit pratiquée, se placent beaucoup plus loin. Je n'ai en vue, pour le moment, que le montant total des capitaux assurés eu égard au chiffre de la population.

Sur le Continent, depuis quelques années, l'attention des sociologues et des hommes d'œuvres s'est arrêtée presque partout sur l'assurance populaire sur la vie ; on y voit un complément utile, voire indispensable, de l'assurance obligatoire ; on la rattache aux assurances sociales (1), espérant que, dans un avenir plus ou moins éloigné, elle sera généralement l'objet des encouragements et des subsides, tant publics que privés.

C'est pour consacrer l'importance reconnue actuellement à l'assurance populaire sur la vie, que le Comité permanent international des Assurances sociales l'avait portée au programme de la Conférence qui devait se réunir à Paris en septembre dernier. Il en avait fait l'objet d'une enquête, préalable aux travaux de la

(1) Les assurances sociales sont des institutions qui substituent à l'attente d'une aumône incertaine, la certitude d'une indemnité, organisant suivant des règles scientifiques le secours mutuel contre les risques communs, généralisant l'acte de prévoyance par l'encouragement public ou même par l'obligation et accroissant l'effort des sacrifices individuels par des subsides patronaux ou nationaux.

Conférence, organisée suivant un plan où se reflète la figure de l'assurance populaire sur la vie telle que, dans les conditions les plus diversement favorables, elle pourrait un jour fonctionner.

Définir l'assurance populaire reviendrait, semble-t-il, à définir ce qu'il faut entendre par classes populaires. Mais, sous cet aspect, l'assurance ne se restreint pas exclusivement aux assurances de très petits capitaux à primes minimales. Certains ouvriers gagnent davantage que de petits commerçants, par exemple, et peuvent, si leur existence est sagement conduite, contracter des assurances d'un montant relativement élevé (plusieurs milliers de francs).

Si, d'autre part, l'on voulait caractériser l'assurance populaire par le faible chiffre des sommes assurées et des primes, on ne pourrait nécessairement en exclure les classes non populaires et il conviendrait d'y déclarer accessibles toutes les personnes à revenus modestes et incertains.

Que l'assurance populaire soit envisagée au point de vue de ses effets à l'échéance des contrats, aucune distinction de classes n'est admissible. Aussi bien, nul ne peut affirmer que lui ou les siens ne se trouveront pas un jour en face des mêmes besoins et des mêmes nécessités que les plus pauvres gens.

A cet égard, l'assurance populaire ne devrait pas uniquement s'entendre de celle qui, en raison de la condition des assurés, personnes soumises, par exemple, aux lois d'assurance obligatoire ou pouvant en bénéficier, serait l'objet des encouragements et des subsides des pouvoirs publics.

De quelque côté que l'on se tourne, l'on voit donc que l'assurance populaire ne souffre aucune limitation absolue de clientèle. Pratiquement, et sans vouloir chercher des précisions qui seraient incompatibles avec les différences inévitables tenant aux milieux

considérés, l'on admettra que l'assurance populaire aura comme expression la plus générale « un système d'assurances mises à la portée des bourses les plus humbles et des revenus les plus instables ». Elle se caractérisera par la faiblesse des capitaux assurés, la petitesse des primes et leur mode de perception. Elle sera placée sous la sauvegarde des pouvoirs publics et se recommandera, vu son utilité sociale, à tous les appuis matériels et moraux.

Mais, il faut le spécifier encore, il arrivera que l'assurance populaire élargira son domaine. procurera à l'élite des travailleurs de notables ressources familiales et, même, la constitution de biens patrimoniaux. Ainsi, entre la grande assurance et l'assurance populaire la plus commune, il existera comme un terrain de transition, sans contours nettement définis, où les méthodes de l'une et de l'autre s'influenceront mutuellement. Ce sera, si l'on veut marquer par des mots la gradualité des choses, le terrain de la petite assurance.

Quels buts se proposera l'assurance populaire sur la vie? Dans ses manifestations élémentaires, les buts les plus simples : le paiement des frais de funérailles et de dernière maladie; la couverture des dépenses occasionnées par certains événements de la vie familiale, la première communion, la confirmation, le mariage. Puis des objets plus importants : pourvoir à la sécurité des survivants en cas de décès prématuré du gagnepain; constituer, même du vivant de celui-ci, un capital-argent. Mais, à ces assurances qui sont de première nécessité, ou qui donnent satisfaction à des sentiments de bienséance, ou qui, encore, correspondent à des préoccupations générales touchant le sort de la famille, viennent s'en adjoindre beaucoup d'autres de destinations précises, et qui trouvent généralement leur fondement dans la poursuite d'une élévation sociale. Ce sont des assurances dotales, des assurances concernant

l'apprentissage ou l'éducation des enfants, des assurances relatives à l'achat d'un outillage professionnel, à l'établissement d'un petit commerce ou d'un atelier, des assurances-crédit favorisant l'achat ou la construction d'une habitation, des assurances de service militaire permettant l'incorporation dans certaines catégories privilégiées, des assurances de célibat préservant de déchéance les filles non mariées. J'en passe encore. Pas plus que contre les personnes, l'assurance populaire ne prononce d'exclusion contre les objets. Toutefois, les assurances à caractère spécial, pour autant qu'elles soient offertes au public, ne seront pratiquées que par les personnes les plus prévoyantes, les plus économes et les plus à leur aise.

L'assurance populaire dans sa structure intrinsèque et technique peut être assez complexe, mais on doit chercher à lui donner les formes extérieures les plus compréhensibles et les plus simples. Les systèmes à primes rapprochées et constantes, payables pendant une durée proportionnée au chiffre du capital assuré, auront la préférence, parce qu'ils soutiendront par l'obligation contractuelle l'effort de prévoyance des assurés et ne les astreindront qu'à des paiements successifs relativement minimes. Toutefois, on ne rejettera pas dans certains cas les primes variables, ni les primes uniques.

On cherchera à obvier le plus complètement possible aux déchéances, aux annulations et aux réductions de police par des combinaisons permettant l'exonération partielle ou totale du paiement des primes en cas de chômage, de maladie ou d'accident.

Les assurances populaires seront, suivant leurs objets et les circonstances, des assurances vie-entière, des assurances mixtes ou alternatives, des assurances de capitaux différés, des assurances à terme fixe, des

assurances temporaires, des assurances-épargne, des assurances de capitaux décroissants.

Dans le choix des formes et des combinaisons, il faudra, au besoin, user du plus large éclectisme, mais, sans que, dans la pratique, il en résulte des complications et des difficultés pour les assurés. Tout système technique peut, d'ailleurs, s'exprimer dans des tarifs simples et se concilier avec des procédés administratifs clairs et expéditifs.

Les nombreux paiements de primes à intervalles rapprochés, le mode de perception des primes, généralement encaissées à domicile, les dépenses de propagande et de recrutement des assurés, les annulations prématurées de contrat avant que les primes payées n'en aient couvert tous les frais de conclusion et de gestion, l'exemption habituelle de l'examen médical, rendent les tarifs unitaires des sociétés d'assurances populaires, toutes autres choses égales, plus onéreux que ceux des autres sociétés d'assurance, même lorsque, par le jeu de la concurrence, ils sont descendus à un niveau qui n'excède nullement les nécessités d'une bonne gestion financière. Parfois, à ce point de vue, ils s'abaissent à l'excès : alors, il faut craindre qu'une grande partie des assurés ne soient lésés, soit par des annulations ou des déchéances abusives, soit par la défaillance des sociétés elles-mêmes.

Lorsque des sociétés puissantes pratiquent à la fois l'assurance ordinaire et l'assurance populaire, elles pourraient réserver à celle-ci des conditions de faveur. Ces sociétés sont malheureusement peu nombreuses.

On estime extrêmement avantageux pour les clients de l'assurance populaire qu'ils forment des collectivités organisées vis-à-vis des organismes assureurs, et ce, afin de dégager ceux-ci d'une grande partie des frais de propagande, de recrutement, de perception des

primes et de comptabilité intérieure. Le rôle du patronat et de la mutualité est ici tout indiqué.

On recommande, d'autre part, la formation de mutuelles d'assurances ou de sociétés d'assurances d'intérêt public qui fonctionneraient, soit sans bénéfices, soit avec rémunération modérée des capitaux investis.

Enfin, on est d'avis que l'assurance populaire doit être l'objet, sinon d'une réglementation, tout au moins d'une surveillance légale s'exerçant en matière de droit public et de droit privé et portant, par ailleurs, sur ses procédés de fonctionnement et de publicité.

Le Comité permanent international des Assurances sociales avait, au mois de juin dernier, reçu sept rapports sur le fonctionnement et la situation de l'assurance populaire sur la vie dans les pays suivants : *Allemagne, Autriche, Belgique, Finlande, France, Grand-Duché de Luxembourg, Pays-Bas*. J'en ferai l'analyse documentaire. Je parlerai de ces différents pays, et aussi de l'Italie, dans une suite alphabétique et sans vouloir les classer dans un ordre d'importance quelconque. Cherchant à revêtir mon analyse du caractère des rapports originaux, je ne suivrai pas pour chaque pays le même plan d'exposition.

ALLEMAGNE

En Allemagne, jusque dans ces derniers temps, l'assurance populaire a été exclusivement pratiquée par des compagnies privées, principalement par des sociétés par actions. Les nombreuses *Caisses funéraires*, régionales ou professionnelles, et les *Caisses d'assistance* d'un fonctionnement grossièrement empirique ne sont pas rangées, bien qu'elles satisfassent

dans une certaine mesure à des besoins d'assurance, parmi les organismes d'assurance populaire.

Le développement de l'assurance populaire en Allemagne date des environs de 1885. La compagnie d'assurances sur la vie par actions *Friedrich Wilhelm*, à Berlin, a ouvert la voie. En 1892, la compagnie *Victoria* décida d'adapter son organisation à l'assurance populaire et commença en faveur de celle-ci une vigoureuse propagande dont les résultats furent considérables. La *Victoria* devint — et est restée — la plus grande compagnie d'assurances populaires en Allemagne. La seconde place appartient à la *Friedrich Wilhelm*. Les autres sociétés se tiennent loin derrière leurs deux puissantes rivales.

Fin 1911, l'assurance populaire était pratiquée par 10 sociétés par actions et 2 sociétés mutuelles.

Entre l'assurance populaire proprement dite et la grande assurance sur la vie, on interpose en Allemagne « la petite assurance sur la vie » à examen médical simplifié et à paiement de primes par quotités mensuelles, et qui couvre des capitaux variant de 300 à plusieurs milliers de marks. La petite assurance peut se rattacher à l'assurance populaire proprement dite : elle est pratiquée par des sociétés par actions, des compagnies mutuelles et des associations professionnelles.

Il convient, enfin, de ne pas passer sous silence les assurances funéraires des abonnés aux journaux, qui se sont considérablement étendues dans ces derniers temps.

Fin 1911, le tableau des assurances directes conclues personnellement était le suivant :

A. — ASSURANCES POPULAIRES PROPREMENT DITES

| <i>Organismes assureurs</i> | <i>Nombre de polices</i> | <i>Montant des capitaux assurés</i> | <i>Moyenne par police</i> |
|---------------------------------|------------------------------|---|-------------------------------|
| Sociétés par actions | 7 087 309 | 1 374 331 000 mks | 194 mks |
| Compagnies mutuelles | 404 663 | 69 964 000 » | 173 » |
| Ensemble pour A : | 7 491 972 | 1 444 295 000 » | 193 » |

B. — PETITES ASSURANCES

| | | | |
|--------------------------|---------|----------------|---------|
| Sociétés par actions | 112 979 | 48 509 000 mks | 429 mks |
| Compagnies mutuelles | 327 930 | 138 557 000 » | 423 » |
| Associations profession. | 322 609 | 182 388 000 » | 565 » |
| Ensemble pour B : | 763 518 | 369 454 000 » | 484 » |

C. — ASSURANCES **surveillées** D'ABONNÉS AUX JOURNAUX

| | | | |
|------------|-----------|-----------------|--------|
| Sociétés : | 1 342 000 | 112 000 000 mks | 83 mks |
|------------|-----------|-----------------|--------|

Pour fin 1912, le tableau ne peut encore être dressé complètement. Les chiffres connus sont les suivants :

A. — ASSURANCES POPULAIRES PROPREMENT DITES

| <i>Organismes assureurs</i> | <i>Nombre de polices</i> | <i>Montant des capitaux assurés</i> | <i>Moyenne par police</i> |
|---------------------------------|------------------------------|---|-------------------------------|
| Sociétés par actions | 7 358 950(1) | 1 445 733 000(2) mks | 198 mks |
| Compagnies mutuelles | 440 449 | 77 932 000 » | 177 » |
| Ensemble pour A : | 7 799 399 | 1 523 665 000 » | 197 » |

B. — PETITES ASSURANCES

(sans les associations professionnelles)

| | | | |
|----------------------|---------|----------------|---------|
| Sociétés par actions | 122 458 | 50 647 000 mks | 414 mks |
| Compagnies mutuelles | 336 550 | 148 895 000 » | 442 » |
| Ensemble pour B : | 459 008 | 199 542 000 » | 435 » |

(1) Dont 3 808 000 pour la *Victoria* et 2 912 000 pour la *Friedrich Wilhelm*.

(2) Dont 845 000 000 pour la *Victoria* et 152 000 000 pour la *Friedrich Wilhelm*.

Pour fin 1913, la statistique provisoire accuse, pour l'assurance populaire proprement dite, un total approximatif de 1 650 000 000 mks (1).

Depuis 1902 les capitaux assurés par l'assurance populaire proprement dite sont devenus 2 1 2 fois plus considérables et le nombre d'assurés a doublé.

En Allemagne, on n'admet pas en matière d'assurance populaire de limitation absolue quant aux personnes, de destination formelle quant aux objets. L'assurance populaire se caractérise par la petitesse des capitaux assurés, l'exemption de l'examen médical, le paiement des primes par minimes fractions et par des procédés spéciaux de fonctionnement. Elle cherche son équilibre dans son adaptation aux conditions économiques des catégories sociales les moins certaines de pourvoir, par leurs ressources ordinaires, aux dépenses exceptionnelles de la vie.

On tend de plus en plus à sauvegarder par l'assurance le sort des survivants en cas de décès du chef de famille et, même, à concilier cette perspective avec celle de la disponibilité d'un capital à une époque librement choisie. Aussi, c'est l'assurance mixte ou alternative qui obtient la plus grande faveur auprès du public.

L'assurance infantile comporte régulièrement une assurance au décès (frais de funérailles) combinée avec une assurance en cas de vie contractée en prévision de certaines éventualités : confirmation, première communion, éducation. C'est depuis l'emploi de cette combinaison que l'assurance infantile a pris tout son essor.

En égard à l'exemption de l'examen médical, il est imposé aux assurés un délai d'attente ordinairement

(1) Dont environ 3 000 000 pour la Société « l'Assurance populaire allemande » et 13 000 000 pour la « Prévoyance populaire » dont il sera parlé plus loin. D'après les journaux, les Institutions publiques d'assurance dont il sera aussi parlé plus loin auraient assuré en 1913 environ 7 000 000 marks.

divisé en deux périodes, la première, pendant laquelle, en cas de décès, les primes payées sont ristournées, la seconde, pendant laquelle une partie seulement de la somme assurée est liquidée. Dans l'assurance infantile, si l'enfant meurt avant l'âge de sept ans, la loi ne permet que le remboursement des primes payées ou la liquidation d'une somme représentant le montant réel des frais de funérailles.

La perception des primes à domicile est de règle générale. Après l'échéance, il est accordé un délai de deux mois, au maximum. Pour éviter de charger l'assurance de frais excessifs, la loi permet, sous l'approbation des autorités de contrôle, d'exonérer l'assureur des dénonciations et avertissements formels en cas de retard de paiement, de réduction d'assurance, etc. La remise en vigueur des contrats est autorisée, sans paiement des arriérés, sous réserve de diminution du capital assuré ou de prolongation de la durée du paiement des primes.

Après un certain temps — trois ans au plus — toute annulation pour défaut de paiement est prohibée. Il est délivré une police libérée.

Le plus souvent le rachat et le prêt sur police ne sont pas autorisés. Les nouvelles compagnies en accordent la faculté.

Le fonctionnement des grandes compagnies d'assurances populaires repose sur l'activité de nombreux agents subalternes rémunérés, s'occupant du recrutement des assurés et de la perception des primes. Il est constitué des agences centrales d'encaissement.

Jusqu'en 1912, l'assurance populaire a été presque exclusivement pratiquée en Allemagne par des entreprises à but lucratif. Depuis 1913, trois créations nouvelles ont vu le jour : 1^o Les Établissements publics d'assurance ; 2^o L'Assurance populaire allemande ; 3^o La Prévoyance populaire.

Ces organismes nouveaux ont assumé la tâche de pratiquer l'assurance populaire dans des vues d'utilité publique. Après l'attribution d'un intérêt de 4 % au capital social et le paiement des frais d'administration, tous les excédents d'actif sont acquis aux assurés.

Les établissements publics d'assurance s'appuient sur les fédérations provinciales prussiennes fondées par la loi : leur fédération pratique l'assurance directe dans les états allemands (sauf la Prusse) où permission leur en est donnée.

« L'Assurance populaire allemande », société par actions, a été formée par 30 sociétés particulières.

« La Prévoyance populaire » doit son existence à une réunion de sociétés ouvrières de consommation et de corporations libres (syndicats).

Les conditions accordées aux assurés par les nouvelles entreprises d'assurances sont particulièrement avantageuses. Elles tendent à écarter les préjudices que les clients de l'assurance populaire avaient pu subir avant leur création du chef des commissions, des contrats de faveur, de la politique des tarifs et des dividendes, du système des tantièmes, et elles s'attachent à remplacer l'intermédiaire des agents par celui des patrons, des administrations et des sociétés de secours mutuels.

Les principales objections qui ont été dirigées en Allemagne contre l'assurance populaire sont relatives aux frais d'administration et aux déchéances.

En 1911, les frais d'administration des compagnies d'assurances populaires se sont élevés à 28,93 % des primes touchées : pour la grande assurance, le chiffre était de 13,26 %. La coopération d'organismes sociaux, ou autres, recherchée par les nouvelles entreprises d'assurance est de nature à abaisser les frais d'administration, mais l'extension de leurs affaires obligera

ces entreprises à recourir, dans l'avenir, à un nombre de plus en plus grand d'employés de profession.

Les déchéances sont dues à l'incapacité permanente ou temporaire de travail, au chômage, au relâchement de l'esprit de prévoyance et, aussi, fréquemment, au fait que l'assurance a été conclue dans des conditions qui ne sont pas en rapport avec la situation de l'assuré.

Abstraction faite des polices dont la première prime n'a pas été payée — perte pour l'assuré d'un léger droit d'admission — 4,4 ° des polices existantes, représentant 5,2 ° des sommes assurées, ont été résiliées en 1911 sans indemnité : les chiffres correspondants sont, respectivement, de 2,1 ° et de 1,4 ° dans la grande assurance. Les résiliations avec indemnité (rachat — réduction — transformation) ont été de 0,2 % des polices et de 1,5 ° des sommes assurées pour l'assurance populaire et de 1,3 ° et 1,5 ° pour la grande assurance.

On ne considère pas que les résiliations procurent des bénéfices aux compagnies. Aussi bien, la conclusion de nouvelles assurances entraîne relativement de grands frais, frais qui ne sont convertis qu'après une certaine durée contractuelle. Les assurés défailants les supportent, et il le faut bien, car, si lors de la résiliation d'une assurance ayant peu duré, on remboursait une fraction importante des primes payées, les assurés fidèles à leurs obligations seraient indirectement lésés.

Les abus commis par les agents inférieurs, dont le choix offre des difficultés spéciales, sont exceptionnels et vigoureusement réprimés par les compagnies. On ne relève pas d'abus systématiques dans l'exploitation de l'assurance populaire par les compagnies, notamment, en matière de perception des primes et de paiement des sommes assurées.

On n'est pas, en Allemagne, partisan du monopole des assurances. La libre concurrence doit garantir le

progrès, et elle sera d'autant plus efficace qu'elle se développera entre les anciens et les nouveaux organismes, les entreprises à but lucratif, d'une part, et les entreprises d'utilité publique, d'autre part.

Si on n'escompte pas avant longtemps des subsides de l'État en faveur de l'assurance populaire, on cherche à obtenir l'appui du patronat et de certains établissements officiels, de bienfaisance ou autres.

On n'estime pas nécessaire une réglementation légale de l'assurance populaire. La surveillance exercée par l'État paraît suffisante.

AUTRICHE

L'assurance populaire est exploitée en Autriche par 7 grandes sociétés — 6 nationales et 1 étrangère — et 501 petites sociétés, celles-ci à forme mutuelle ; 3365 caisses de maladie, organisées conformément à la loi, et 42 caisses de secours enregistrées assurent les frais de funérailles. Il existe, aussi, de nombreuses sociétés d'enterrement, de dotation, etc.... qui ne sont pas de véritables organismes d'assurance.

L'assurance au décès ou l'assurance d'un capital différé sont, en Autriche, les formes d'assurance les plus anciennes ; la tendance à l'assurance mixte est aujourd'hui manifeste.

Les caractéristiques de l'assurance populaire sont : l'exemption de l'examen médical, la faiblesse des capitaux assurés, des primes minimales et rapprochées, généralement perçues à domicile. Les tarifs sont les mêmes que ceux de l'assurance ordinaire.

L'examen médical est remplacé par un délai d'attente de deux à trois années, pendant lequel on ne rembourse que les primes ou l'on ne paie qu'une partie du capital assuré ; ces conditions sont atténuées si l'as-

suré se soumet à l'examen. En cas de non paiement des primes, l'assuré jouit d'un délai de répit de six à neuf mois. Si l'assurance est en vigueur depuis plus de trois ans, le contrat ne peut être annulé et l'assurance est réduite d'après des règles fixes.

A la fin de 1912, les grandes sociétés d'assurance populaire possédaient 658 984 contrats, les deux sexes s'équilibrant à peu près, couvrant 184 095 905 couronnes.

Les capitaux assurés par les petites sociétés s'élèvent à environ 30 000 000 couronnes.

A la fin de 1910, les caisses de maladie assuraient, pour 3 300 000 contrats, un montant total de 54 000 000 couronnes de frais funéraires. A la même date, les Caisses de secours enregistrées assuraient, pour 64 609 contrats, 11 000 000 couronnes de frais funéraires et, pour 798 contrats, 1 300 000 couronnes de fonds dotaux.

L'assurance populaire couvre, donc, en Autriche 280 000 000 couronnes.

68 % des assurances sont des assurances mixtes, 18,2 % des assurances au décès, 12 % des assurances à terme fixé, 1,8 % des assurances infantiles.

Les assurances multiples sont assez nombreuses, 4,8 % si on ne considère que les assurances prises à la même société.

L'assurance populaire n'est pas subventionnée en Autriche par les pouvoirs publics. Actuellement, l'assurance populaire fonctionne d'une façon à peu près irréprochable. Il y a quelques années, les agents des compagnies commettaient des abus qui avaient attiré l'attention publique; des différends entre les compagnies et leur clientèle en résultèrent, ils furent vidés sans préjudice pour les assurés.

Mais il existe des vices inhérents à la nature même de l'assurance populaire : déchéances nombreuses,

grands frais d'administration, primes relativement élevées, cherté de l'assurance. Il faut signaler, surtout, les opérations dommageables de nombreuses sociétés d'assistance qui, sous le couvert de la bienfaisance, et en opposition avec leurs statuts, pratiquent l'assurance par voie de répartition. Vis-à-vis de ces sociétés, on réclame la suppression de toute indulgence, le maintien strict des dispositions légales qui les concernent.

De 1852 à 1880, les institutions d'assurances n'étaient l'objet que d'une surveillance officielle. Depuis 1880, elles sont soumises à réglementation : cette réglementation, d'abord de droit public, devint de droit privé en 1896 et s'étendit au mérite intrinsèque des assurances. Le projet de loi sur le contrat d'assurance rédigé en 1904-1905 établit des conditions dont les avantages sont, en pratique, actuellement dépassés.

Ce projet de loi n'exprime, d'ailleurs, en ce qui concerne l'assurance populaire, que les principes spéciaux suivants : les primes ne peuvent être exigées par voie judiciaire ; le prix de la résiliation ne peut dépasser le montant d'une prime trimestrielle.

BELGIQUE

En Belgique, l'assurance populaire comprend des assurances patrimoniales destinées à constituer un capital-argent, des assurances garantissant le remboursement d'un prêt contracté en vue de l'achat ou de la construction d'une maison, des assurances pour frais de funérailles, des assurances de première communion, des assurances dotales. Les assurances concernant l'apprentissage des enfants, l'établissement d'un petit commerce ou d'un atelier, l'achat d'un outillage professionnel, l'amortissement d'un prêt contracté vis-à-vis d'un organisme de crédit populaire — sociétés

d'habitations ouvrières exceptées — ne sont, pour ainsi dire, pas pratiquées.

On admet en Belgique que l'assurance populaire ait une clientèle variée et on ne borne pas son domaine, ni ses combinaisons à des limites absolues.

En Belgique, la clientèle de l'assurance populaire sur la vie se partage, à peu de choses près, en trois catégories : d'abord une masse inorganisée de 2 à 3 millions d'individus, tributaires, en général, des compagnies qui s'occupent, spécialement, dans un but mercantile, de l'assurance de petits capitaux ; ensuite, 450 000 personnes que l'esprit de parti ou d'association pousse à s'assurer à des organismes de leur choix déclarés fondés sur le principe de la sauvegarde de l'épargne populaire ; enfin, les clients de la Caisse d'Assurances sous la garantie de l'Etat, un faible noyau de 11 à 12 000 personnes (non compté les 36 000 assurés membres de sociétés d'habitations ouvrières) et qui, pour la plupart, ont formé des groupements en vue de l'assurance.

On comptait, au 1^{er} janvier 1914, 71 compagnies d'assurances populaires sur la vie, dont 57 belges et 14 étrangères ; des 57 compagnies belges, 32 étaient anonymes, 22 coopératives et 3 mutuelles.

Assurances patrimoniales. — Les sociétés d'assurances populaires possèdent parmi les artisans, les petits négociants, les ouvriers houilleurs et, surtout, les cultivateurs une assez nombreuse clientèle, dont le chiffre ne peut être déterminé, assurée, généralement, sous la forme de l'assurance mixte pour des capitaux s'élevant, parfois, à 1 000 francs, et plus. Jusque 500 francs, les primes sont hebdomadaires ou mensuelles, au-dessus de 500 francs, mensuelles. Pas d'examen médical ; il est remplacé par des mesures diverses : léger différé de l'assurance, deux mois, par exemple, les primes payées restant acquises à la Com-

pagnie : réduction du capital assuré, si le décès se produit avant un certain âge, ou sans que le contrat ait une certaine durée ; coassurance des enfants et des vieillards avec les autres membres de la famille. En cas de cessation de paiement des primes, les primes versées sont perdues et le contrat est annulé ; il n'est remis en vigueur qu'à des conditions onéreuses. La libération des polices est subordonnée au paiement d'un assez grand nombre de mensualités, 15 au moins, et occasionne une forte réduction des droits acquis. Ces conditions sont dures, la façon dont on les applique peut les accentuer, mais il y a des exceptions. D'ailleurs, des sociétés d'assurances, dont l'activité ne se déploie pas spécialement dans la branche populaire, admettent, aussi, la conclusion de petites assurances patrimoniales. Il dépend du public de bien s'adresser : malheureusement, les grandes compagnies ne se préoccupent pas d'une propagande à l'adresse des gens de condition modeste.

La Caisse d'Assurances sous la garantie de l'État, dont le statut est très libéral en matière de cessation de paiement de primes, de réduction ou de libération de police, a un assez grand nombre d'affiliés titulaires d'une assurance patrimoniale. Les assurances patrimoniales sont, souvent, conclues sous la forme d'assurances globales de collectivités, généralement collectivités mutualistes créées au sein d'établissements privés ou d'administrations publiques. La Caisse d'Assurances accorde à ces groupements des conditions particulièrement favorables. Ainsi, elle se contente d'un examen médical d'ensemble et sommaire, grâce à quoi, certains individus, qui, examinés séparément, auraient été écartés, sont admis dans la masse. Pour bénéficier de cet examen sommaire, il suffit que les nouveaux membres des groupements susdits soient présentés successivement à l'assurance en nombre suffisant. L'usage

consacre ce système de plus en plus ; on compte, actuellement, 34 établissements industriels ou commerciaux et 17 administrations communales ou provinciales qui affilient collectivement tout ou partie de leur personnel à la Caisse d'Assurances : ensemble, 7000 assurés pour un montant de 6 200 000 francs. La Caisse d'Assurances possède, en outre, environ 1800 assurés isolés titulaires d'assurances patrimoniales pour un total de 5 500 000 francs.

Les assurances patrimoniales globales conclues à la Caisse d'Assurances sont des assurances mixtes (86 %) et des assurances vie entière (14 %) ; ces proportions sont 75 % et 25 % pour les assurances patrimoniales individuelles.

Pour environ 60 % de leur nombre et 50 % de leur montant total, les assurances patrimoniales de ces deux catégories reposent sur la tête de personnes appartenant aux classes sociales les plus modestes.

Assurances Habitations ouvrières. — Les assurances garantissant le remboursement d'un prêt en vue de l'acquisition ou de la construction d'une maison ouvrière sont, pour ainsi dire, exclusivement contractées à la Caisse d'Assurances sous la garantie de l'État et pour des immeubles acquis ou construits à l'intervention des sociétés d'habitations ouvrières agréées par la Caisse Générale d'Épargne. Les capitaux assurés par la Caisse Générale ont permis la construction ou l'acquisition de 61 200 maisons, environ ; pour plus de 80 % de ces maisons, une assurance de garantie a été conclue.

Au début, l'assurance mixte a servi à garantir les prêts « habitations ouvrières » ; depuis quelque dix ans, la Caisse d'Assurances y a substitué l'assurance temporaire de capitaux décroissants à prime unique, prime généralement incorporée dans le prêt. Presque

tous les anciens contrats d'assurance mixte ont été transformés.

Actuellement, il existe 36 000 (chiffres ronds) contrats d'assurance « habitations ouvrières ».

Assurances pour frais de funérailles. Assurances dotales et de première communion. — L'assurance pour frais de funérailles est d'une pratique pour ainsi dire générale, surtout dans les villes, parmi les plus pauvres gens ; c'est une assurance au décès d'un capital de 100 francs, parfois 200 francs. Le plus souvent, ce sont les femmes, les mères de famille qui, désirant procurer à ceux qu'elles aiment des funérailles décentes, assurent la famille entière, même à l'insu de leurs maris. Elles économisent chaque semaine, sur le budget du ménage, les 20, 30, 50 centimes (parfois davantage) nécessaires au paiement des primes hebdomadaires qui sont perçues à domicile.

Certaines assurances en cas de vie à une époque déterminée, généralement à la première communion, sont, aussi, assez répandues. Elles garantissent ordinairement le paiement d'un capital de 50 à 100 francs.

Pour l'ensemble du pays, le montant des primes encaissées annuellement par les compagnies pour toutes les petites assurances dont il est question ici dépasserait 10 000 000 francs et le nombre des assurés serait de 2 1/2 à 3 millions.

Les assurances pour frais de funérailles sont généralement des assurances vie-entière à primes temporaires, ou à primes viagères, si l'assuré a dépassé un certain âge. Moyennant un supplément de prime, une certaine somme est payée au décès des enfants : parfois, ce droit est concédé sans supplément après le paiement de quelques primes.

Moyennant supplément, le capital assuré est doublé en cas de mort accidentelle et une indemnité est accordée en cas d'incapacité de travail prolongée.

L'assurance est soumise à un différé, par exemple, 1 mois par 100 francs ; les primes sont, de convention formelle, payables au siège social, et l'assuré ne peut se prévaloir des facilités de perception qui lui sont accordées. Tout non-paiement de prime entraîne déchéance, sans réserve de réintégration sur demande et à titre onéreux. La libération n'est concédée qu'après au moins une année de versement et à des conditions spéciales ; par exemple, les primes payées forment pécule récupérable dix ans seulement après l'émission de la police. Il n'est remboursé qu'une partie des primes versées, si le décès se produit par suicide, avortement, guerre, alcoolisme invétéré, grossesse ou accouchement au cours du premier semestre d'assurance, etc. Tout ceci comme indication générale, sans vouloir présenter un cas complet et concret, ni embrasser, en raccourci, tous les cas.

Le fonctionnement des sociétés d'assurance populaire repose sur l'activité de nombreux agents ; les sociétés ne connaissent qu'eux et n'ont pas de rapports directs avec leurs assurés. Le recrutement de ces agents ne fait pas l'objet, en général, d'une sélection sérieuse.

Ce qui précède se rapporte aux sociétés à but mercantile, mais toutes les sociétés d'assurance populaire n'ont pas ce but.

En 1906, le Parti ouvrier belge institua dans son sein une société d'assurance, la « Prévoyance sociale », de forme coopérative ; elle s'occupe principalement des assurances de petits capitaux. Au 31 décembre 1913, elle comptait 127 339 assurés pour 24 761 334,63 fr. de capitaux. La Prévoyance sociale place ses fonds dans les œuvres du Parti ouvrier ; ses 200 agents sont des propagandistes du parti. La société admet la suspension des contrats en cas de maladie grave, grève, lock-out, service militaire ; l'assurance est gratuite pen-

dant la détention des assurés du chef de fait politique ou économique.

En 1912, sous les auspices de l'Alliance nationale des mutualités chrétiennes, fut créée l'« Alliance Nationale », société anonyme d'assurances populaires. Cette société conclut des assurances collectives et quelques assurances individuelles. En tout 2500 assurés — dont 40 assurés individuellement — pour environ 200 000 francs de capitaux. Les primes sont perçues par les sociétés mutualistes. En fait, l'« Alliance Nationale » n'assure pas elle-même, elle sert d'intermédiaire entre ses assurés et une compagnie privée.

En 1913 fut fondée, à l'initiative du Syndicat général des Syndicats chrétiens, une société coopérative d'assurances populaires, l'« Assurance sociale ». Elle assure directement de très petits capitaux, mais avec garantie de réassurance, soit collectivement, soit individuellement. Pour des capitaux plus importants, elle représente la compagnie à laquelle elle se réassure.

Les assurances collectives (primes mensuelles) sont conclues au profit de syndicats, de mutualités, de cercles ouvriers, qui reçoivent une commission de 8 % des primes pour frais de perception et d'administration. Les assurances individuelles (primes hebdomadaires) procurent certaines ressources de propagande aux intermédiaires (organismes sociaux). L'« Assurance sociale » accorde des sursis de paiement et ne prononce pas de déchéance.

La « Prévoyance sociale », l'« Alliance Nationale » et l'« Assurance sociale » sont au nombre des 71 sociétés recensées au 1^{er} janvier 1914. Il n'en est pas de même de la « Compagnie d'assurances mutuelles sur la vie », individualité civile, créée en 1906 sous les auspices de l'« Union nationale des Fédérations mutualistes neutres ». Cette compagnie pratique l'assurance collective des sociétés affiliées (100 à 200 francs par tête) et

l'assurance individuelle des membres de ces sociétés (5000 francs au maximum par tête). La compagnie possède actuellement 16 135 assurés collectifs, représentés par 120 sociétés, pour 1 907 440 francs de capitaux et 1053 assurés individuels pour 312 000 francs de capitaux.

Un certain nombre de sociétés mutualistes reconnues réassurent collectivement leurs membres à la « Caisse d'Assurances sous la garantie de l'État ». Il faut citer comme type la « Bonne assurance populaire » (plus de 2200 assurés) créée à Bruxelles à l'initiative de l'« Association pour l'amélioration des logements ouvriers ».

La « Caisse d'Assurances sous la garantie de l'État » offre aux classes populaires certaines combinaisons d'assurances collectives pour frais de funérailles, sans examen médical. Ce sont des assurances vie-entière à primes payables jusque 55, 60 ou 65 ans, à l'usage des sociétés mutualistes reconnues et, en général, de tout groupement présentant des garanties suffisantes. Ces assurances sont accessibles dès l'âge de 16 ans. Ensuite, depuis le 1^{er} janvier 1911, des assurances réservées aux seules sociétés mutualistes reconnues, les unes, assurances vie-entière à primes payables pendant 5 ou 10 années, accessibles dès l'âge de 4 ans, les autres, assurances temporaires à primes uniques, de 5 à 15 années, suivant les cas, et accessibles de l'âge de 4 ans à l'âge de 15 ans. Ces assurances comportent un stage d'un an ; dès leur souscription, il est perçu un droit d'entrée de 0,25 fr. à 1 fr. récupérable sur le montant de la première prime, qui est payée à la fin du stage. Ces assurances spéciales sont actuellement au nombre d'environ 6000.

Enfin, la Caisse de Retraite sous la garantie de l'Etat alloue pour frais funéraires des assurés décédés en état d'indigence postérieurement à l'entrée en jouissance de la rente une somme de 25 francs, à condition

qu'il n'ait pas été fait réserve du capital. Cette somme est réduite au montant des versements effectués, s'ils sont inférieurs à 25 francs.

L'intervention de l'Etat en matière d'assurance sur la vie s'est surtout manifestée par l'institution d'une Caisse d'Assurances placée sous sa garantie. La loi sur les sociétés mutualistes accorde la reconnaissance légale aux sociétés constituées pour faciliter à leurs membres l'affiliation à la Caisse d'Assurances, ainsi qu'à celles qui pourvoient aux frais funéraires, but qui peut être atteint par l'assurance collective à la Caisse d'Assurances. Tous ces organismes reçoivent un subside de premier établissement de la part de l'Etat et de certaines provinces. La Caisse d'Assurances réserve des conditions particulières aux collectivités et, spécialement, aux sociétés mutualistes.

Cet exposé a déjà fait ressortir la plupart des défauts de l'assurance populaire en Belgique. On reproche aux sociétés d'assurances populaires des abus divers : large supputation des annulations, insuffisance de capital versé, non publication de bilan, réclames mensongères et ambiguës, prébendes directoriales exagérées, manœuvres louches et illicites des agents. Sans généraliser, il reste que l'atmosphère dans laquelle fonctionne l'assurance populaire sur la vie devrait être purifiée.

Des remèdes doivent être cherchés dans l'association. L'association peut organiser elle-même l'assurance ou servir d'intermédiaire entre les assurés et l'assureur afin de faciliter l'assurance et d'en diminuer le prix.

Le rôle de la mutualité est ici tout indiqué, de même que celui du patronat et des administrations publiques.

Le législateur doit intervenir pour supprimer un régime de liberté excessive grâce auquel les institutions d'assurance les plus malsaines peuvent prendre

naissance et se développer. Certaines sociétés d'assurances réclament elles-mêmes l'intervention de la loi, préférant la perte de leur indépendance à la concurrence condamnable que leur font les autres.

Le principe d'une réglementation légale des assurances a été reconnu par le Gouvernement en 1913. Un Office de l'assurance et de la prévoyance sociales, rattaché au Ministère de l'Industrie et du Travail, a été créé le 1^{er} janvier 1914. Dans le rapport au Roi, préalable à cette création, on lit : « Il paraît nécessaire d'élaborer au plus tôt une solution législative propre à protéger le public, en général, et, spécialement, la petite épargne contre les abus reprochés à certaines entreprises d'assurances, de solvabilité et de loyauté douteuses ».

FINLANDE

En général, les assurances populaires en Finlande ont, comme traits distinctifs, la limitation du capital assuré, l'exemption de la visite médicale, les primes périodiques hebdomadaires ou mensuelles, la perception des primes au domicile de l'assuré.

La faiblesse de la concentration urbaine et le peu de densité de la population rurale font au développement de l'assurance populaire des conditions défavorables dont les sociétés ont dû tenir compte, notamment, en groupant leurs agents par cercles à la tête desquels se trouvent des fonctionnaires attitrés.

Les seules sociétés pratiquant l'assurance populaire en Finlande sont des sociétés finlandaises, au nombre de quatre. A la fin de 1913, elles assuraient, environ, 55 000 personnes pour 42 000 000 francs de capitaux. Ces chiffres ne sont pas élevés ; mais l'assurance populaire en Finlande n'est en somme qu'à ses débuts. Les chances de son extension résident dans le fait de

la diminution progressive du capital moyen assuré par les compagnies finlandaises. En 1891, ce capital moyen était de 5934 francs ; en 1912, il était inférieur à 2000 francs.

Il faut noter que, par suite d'une évolution vers l'assurance populaire, les sociétés finlandaises admettent des contrats de 500 francs, seulement, à primes trimestrielles, éventuellement, sans examen médical, et ayant la même valeur intrinsèque que n'importe quelle autre assurance d'un montant plus considérable.

Ce sont là des assurances intermédiaires entre la grande assurance et l'assurance populaire proprement dite.

Les assurances populaires sont conclues en Finlande sur les mêmes bases de tarification que les autres ; l'exemption de l'examen médical est généralement compensée par les limitations suivantes : simple remboursement des primes, si le décès se produit pendant la première année d'assurance, paiement partiel du capital assuré, si le décès se produit au cours des deuxième et troisième années d'assurance. Il est à remarquer que les tables de mortalité accusent dans les assurances ordinaires une mortalité très supérieure à la mortalité réelle. En se soumettant à l'examen médical, l'assuré, dans certains cas, peut obtenir immédiatement le bénéfice des pleins effets de l'assurance. Trois compagnies paient l'entière du capital assuré, quelle que soit la durée du contrat, si le décès est dû à un accident ou à certaines maladies infectieuses à développement rapide.

Toutes les sociétés, en cas d'invalidité complète et permanente, accordent la libération totale du paiement des primes et, moyennant un faible supplément de prime, la libération partielle, si l'invalidité n'est point complète.

Parfois, le système de continuation automatique de

l'assurance est appliqué, à savoir l'affectation au paiement des primes, si l'assuré ne peut plus les payer, de la réserve mathématique.

Les primes ne sont pas strictement exigées à l'échéance ; il est accordé un délai de grâce de deux à neuf semaines ; parfois, ce délai est suivi d'un sursis, après l'expiration duquel il est exigé un versement supplémentaire à titre d'amende.

Le rachat est refusé ou très limité. Les conditions de libération des polices sont variables.

Dans toutes les compagnies, les assurances populaires participent aux bénéfices.

L'assurance la plus répandue est l'assurance en cas de vie : elle est six fois plus fréquente que l'assurance au décès.

Ni les pouvoirs publics, ni le patronat n'accordent de subsides aux assurances populaires.

L'exploitation des assurances populaires étant récente, il serait difficile de faire le départ des défauts qui leur sont propres. On a remarqué, cependant, qu'elles subissaient de fort nombreuses déchéances et que les agents y commettaient plus d'abus que dans les assurances ordinaires.

Une inspection d'État contrôle la comptabilité des compagnies d'assurances. Une loi réglant le fonctionnement des assurances populaires est en préparation.

FRANCE

En France, la distinction entre l'assurance populaire et l'assurance ordinaire tient plutôt au mode de recouvrement des primes et à leur taux qu'au montant du capital assuré. Ce n'est pas par la catégorie à laquelle elles appartiennent que les personnes dépendent de

l'une ou de l'autre de ces assurances. mais par l'effort de prévoyance qu'elles peuvent ou entendent faire.

On n'assigne comme but précis à l'assurance populaire que le paiement des frais de funérailles, la constitution au décès du chef de famille d'une somme permettant aux survivants d'organiser leur existence nouvelle, la dotation des enfants, l'amortissement de la somme restant due sur un prêt contracté près d'un organisme de crédit populaire. En dehors de ces éventualités, on estime que l'assuré ignore, au juste, ce qu'il fera d'un capital lui échéant à un certain moment.

On considère que l'assurance la plus digne d'être encouragée est l'assurance au décès et que l'assurance mixte et l'assurance en cas de vie conviennent plutôt à l'élite. Ce sont, cependant, ces dernières assurances qui ont le plus de chance de se développer ; l'on donne la préférence à l'assurance mixte, car l'assurance en cas de vie, même avec remboursement des primes versées, ne procure aucune ressource à la famille, ou n'en procure presque pas, si son chef meurt jeune.

On voudrait que l'assurance au décès, la seule qui soit vraiment accessible aux personnes les plus modestes, fût subsidiée et que l'assurance mixte fût vulgarisée. On ne se refuse, d'ailleurs, systématiquement à aucune combinaison adéquate aux différents objets que peut poursuivre l'assurance populaire et qu'elle poursuit dans d'autres pays.

L'assurance populaire devant être d'un fonctionnement simple, on préfère les primes constantes hebdomadaires, bi-mensuelles ou mensuelles. On ne rejette pas des contrats additionnels à primes uniques.

L'assurance populaire n'est réellement pratiquée en France, et dans des proportions restreintes, que près de la Caisse Nationale d'Assurance et de certaines compagnies étrangères. Beaucoup de sociétés de secours

mutuels allouent une certaine somme au décès de leurs membres ; toutefois, en général, il ne s'agit pas là de véritables assurances, mais d'allocations spéciales et accessoires. Peu de sociétés tiennent en cette matière une comptabilité séparée et technique.

Bien que les sociétés à forme tontinière et les sociétés de capitalisation, inconnues ou proscrites presque partout ailleurs qu'en France, ne soient pas de pures institutions d'assurance, ou n'en aient que l'apparence, on ne peut les passer sous silence. Elles ont pris une place que personne n'avait essayé de prendre et ont acquis droit de cité.

La Caisse Nationale d'Assurance, créée en 1868, ne s'est réellement développée que dans ces dernières années. Au début, ses tarifs étaient limités à des assurances vie-entière individuelles et à des assurances temporaires d'une année au profit des sociétés de secours mutuels. Successivement, les opérations suivantes lui furent permises : en 1894, assurances temporaires sur la tête d'acquéreurs de petites propriétés ; en 1897, assurances mixtes ; en 1910, assurances de capitaux différés pouvant être transférés en une seule fois à la Caisse Nationale des Retraites pour la vieillesse en vue de l'acquisition de rentes viagères, soit personnelles, soit réversibles sur la tête du conjoint survivant. Cette dernière disposition a été étendue aux capitaux constitués par l'assurance mixte. Enfin, la Caisse Nationale peut, respectivement depuis 1910 et depuis 1914, passer des contrats d'assurance temporaire pour garantir le remboursement des prêts consentis par les sociétés de crédit agricole et les sociétés de crédit maritime.

Il y a dix ans, les capitaux assurés par la Caisse Nationale atteignaient à peine le chiffre de 11 000 000 francs ; au 31 décembre 1913, ils s'étaient élevés à 57 665 000 francs se répartissant comme il suit :

| | <i>Montant assuré en francs</i> | <i>Nombre d'assurés</i> |
|--|-------------------------------------|-----------------------------|
| Assurances vie-entière indivi- duelles | 4 522 000 | 3 761 |
| Assurances collectives tempo- raires des sociétés de se- cours mutuels | 18 493 000 | 45 504 |
| Assurances mixtes | 1 881 000 | 718 |
| Assurances de capitaux dif- férés | 8 892 000 | 28 343 |
| Assurances temporaires de crédit populaire | 24 177 000 | 4 455 |
| Totaux : | 57 665 000 | 82 781 |

Les assurances vie-entière, limitées à 3000 francs, sont à primes uniques ou à primes annuelles viagères ou temporaires. La visite médicale n'est pas obligatoire, elle peut être remplacée par un stage de deux années.

Les assurances collectives des sociétés de secours mutuels sont limitées à 1000 francs par tête de membre et tous les membres des sociétés assurées doivent être assujettis à l'assurance. Les assurances sont conclues pour un an ; il est tenu compte, dans une certaine mesure, pour une même société, des résultats des assurances antérieures. En 1903, les sociétés ont obtenu la faculté de se grouper afin d'équilibrer les risques de mortalité.

Les assurances mixtes ne peuvent dépasser 3000 fr. ; leur conclusion est subordonnée à un examen médical. Les primes sont annuelles, trimestrielles ou mensuelles.

Les assurances de capitaux différés sont limitées à 5000 francs. Les versements de primes sont effectués, au gré de l'assuré, à des intervalles aussi rapprochés ou aussi éloignés qu'il le désire ; ces versements ne doivent pas être d'un montant constant, mais ils ne peuvent être inférieurs à un franc.

Les assurances se cumulent entre elles en respectant les limites indiquées ci-dessus. Sont affranchies de limitations les assurances souscrites en vertu d'une loi ou d'un décret imposant pour un personnel déterminé la constitution de retraites ou d'allocations au décès.

Les assurances de crédit populaire n'ont d'autres limitations que celles qui sont appliquées aux montants des prêts eux-mêmes. Ces assurances sont à primes uniques ou à primes annuelles constantes ou variables. Dans ce dernier cas, les primes sont proportionnées aux risques de l'année d'assurance considérée et elles sont généralement décroissantes. Le mode le plus employé est celui de la prime unique incorporée au prêt.

Les compagnies d'assurances françaises ne se sont pas intéressées au développement de l'assurance populaire : ce sont des compagnies étrangères qui, principalement dans le Nord de la France, en ont commencé l'exploitation.

Actuellement, grâce à la loi de contrôle du 17 mars 1905, les assurés trouvent auprès des compagnies des garanties qui n'existaient pas auparavant ; toutefois, si le contrôle s'applique au fonctionnement technique des assurances, il ne s'adresse nullement aux conditions des polices.

Les compagnies les plus importantes assurent environ 60 000 000 francs de capitaux pour 250 000 polices.

Les sociétés tontinières sont formées d'un certain nombre d'associations tontinières constituées ordinairement par les personnes ayant souscrit durant un exercice déterminé (1^{er} janvier-31 décembre) un certain nombre de parts. Chaque part comporte l'obligation de payer des cotisations périodiques, généralement mensuelles. Un type courant est la part de 1000 francs payables en 13 annuités de 72 francs (6 fr. par mois) et une annuité (la dernière) de 64 fr.

A une époque fixe, dans le cas ci-dessus, 15 ans

après la fondation, toutes les valeurs appartenant à l'association sont vendues et le produit de la vente est réparti entre les membres survivants. Le barème de répartition tient compte de l'âge et de différentes circonstances. Ceux qui ont suspendu leurs versements perdent tout ou partie de leurs droits.

À côté des associations, dites en cas de vie, qui sont définies ci-dessus, fonctionne toujours une association, dite en cas de décès. L'association en cas de décès s'ouvre le 1^{er} janvier de chaque année pour se dissoudre le 31 décembre suivant ; cette association assure, au minimum, à ses membres, moyennant une cotisation dépendant de l'âge et de la somme à percevoir éventuellement, le remboursement au décès des sommes versées à l'association en cas de vie. Les cotisations comprennent les frais de gestion et un chargement de 50 % de la prime pure. Grâce aux circonstances suivantes : délais imposés aux personnes nouvellement affiliées, déchéances, bénéfices de mortalité, les répartitions en cas de décès sont très libérales et servent la propagande de la société.

Si dans les opérations des assurances tontinières l'âge des membres est pris en considération, il n'intervient nullement dans celles des sociétés de capitalisation. Ces dernières s'engagent à payer au bout d'un certain temps un capital déterminé à la généralité de leurs membres : par voie de tirage au sort, ce capital est payé à un certain nombre d'entre eux avant l'échéance. Le type le plus répandu est celui du bon de capitalisation de 1000 fr. remboursable au bout de 15 ans ; les tirages portent sur deux titres par mille et par an. La cotisation mensuelle est de 5 francs.

Les sociétés tontinières et les sociétés de capitalisation sont soumises au contrôle de l'État. Leurs comptes rendus ne donnent pas de renseignements sur le nombre et la qualité de leurs membres.

Voici, au 31 décembre 1912 quelques renseignements statistiques :

Sociétés tontinières (Association en cas de vie). — Polices avec indication du montant des parts : nombre (parts de 120 à 1000 fr.) : 1 221 139 ; montant des parts : 885 492 156 fr. Polices sans indication du montant des parts : nombre de polices : 73 886 ; montant des polices : 317 148 000 fr.

Sociétés de capitalisation. — Nombre de titres : 1 664 514 ; montant des titres : 1 132 922 865 fr.

En France, l'assurance populaire est soutenue par l'Etat. Aussi bien, la Caisse Nationale d'Assurances en cas de décès est gérée gratuitement par la Caisse des Dépôts et Consignations ; ses tarifs sont dressés en primes pures et sont sensiblement moins élevés que ceux des compagnies privées. Les opérations de la Caisse jouissent des privilèges suivants : délivrance gratuite de différents certificats et d'actes de notoriété, dispense des droits de timbre et d'enregistrement, franchise postale. Toutefois, la clientèle de la Caisse n'augmente que grâce aux collectivités ; les isolés s'abstiennent.

Les Départements et les Communes n'encouragent l'assurance populaire que par quelques subventions accordées aux sociétés de secours mutuels. Le patronat intervient rarement ; son aide est plutôt acquise à l'épargne et à la retraite.

Le principal abus de fonctionnement de l'assurance populaire en France consiste dans la prépondérance des combinaisons tontinières et de répartition. Ces combinaisons ont souvent fait des victimes qui sont devenues des adversaires de la véritable assurance. Quant à celle-ci, on ne peut dénoncer de défauts excessifs relativement au recrutement des assurés, à la perception des primes, aux clauses de déchéance et de réduction et au paiement des capitaux. En

général, la concurrence a fait aux assurés des conditions suffisamment avantageuses.

Dans le domaine des frais d'administration, des abus ont été reprochés aux sociétés de gestion qui, moyennant une part sur les souscriptions ou les cotisations, se chargent de gérer les sociétés d'assurance. La société de gestion a intérêt à recruter de nouveaux adhérents, elle en a moins, ou pas du tout, à les garder. C'est un vice fondamental. Si, par ailleurs, la société de gestion fait de mauvaises affaires, la société d'assurance est mise en préjudice.

On ne croit pas en France à la possibilité d'interdire les opérations des sociétés tontinières et de capitalisation, opérations qui sont, d'ailleurs, contrôlées de façon à éviter les abus graves. C'est au temps à faire son œuvre en faveur de modes de prévoyance plus logiques et plus équitables. En attendant, l'Etat doit par une réglementation de plus en plus étroite tempérer et supprimer la propagande exagérée de ces institutions et empêcher l'action préjudiciable des sociétés de gestion.

A l'initiative privée de s'employer à vulgariser et à améliorer l'assurance populaire sur la vie et de manifester surtout son initiative auprès des sociétés de secours mutuels. Il faudra faire quelque peu violence au sentiment du public ; les préférences du travailleur français en matière de prévoyance s'adressent à l'épargne ; aussi, les succès obtenus par l'assurance populaire dans les pays anglo-saxons et germaniques ne doivent pas faire illusion.

Il n'existe pas en France de réglementation spéciale des assurances de petits capitaux : il n'existe qu'une réglementation générale des entreprises d'assurance sur la vie et des sociétés tontinières, de capitalisation et d'épargne. Les différentes lois qui forment cette réglementation contrôlent le fonctionnement des orga-

nismes, mais ne réglementent pas le contrat d'assurance. Toutefois, se reposant sur l'action salutaire de la libre concurrence, on estime qu'il n'est pas nécessaire, pour le moment, d'étendre la réglementation à de nouveaux chapitres.

ITALIE

L'assurance populaire à primes minimales hebdomadaires sans visite médicale ou à visite médicale atténuée, n'existe pas en Italie. On peut seulement constater une certaine tendance à cette assurance ; à l'État de l'accentuer et d'en former des réalités avec l'aide de la loi du 4 avril 1912 sur le monopole des assurances.

Les sociétés mutualistes comptant au moins 100 membres ont la faculté d'obtenir la personnalité juridique et de s'assujettir au droit commun, pour entreprendre des opérations d'assurance. Le Conseil de Prévoyance estime qu'elles peuvent traiter des assurances au décès et des assurances à terme fixe.

Ne sont pas soumises au monopole, les assurances à base technique des Caisses de Prévoyance, constituées en sociétés mutualistes et qui, antérieurement à la loi, avaient obtenu la personnalité juridique, de même que les assurances ne dépassant pas 100 lire, des sociétés de secours mutuels.

Les sociétés d'assurances étrangères avaient accaparé en Italie les plus grosses affaires ; les sociétés nationales, au nombre de 34 au 31 décembre 1909, n'ont commencé à traiter l'assurance-vie qu'en 1901. S'adressant à une clientèle moins aisée, le chiffre moyen de leurs polices est, en général, moins élevé que celui des polices des sociétés étrangères. C'est ce que montre le tableau suivant :

Capital moyen assuré

| | <i>Sociétés nationales</i> | <i>Sociétés étrangères</i> |
|---|--------------------------------|--------------------------------|
| Assurances de capitaux différés | 6726 lire | 10 052 lire |
| Assurances temporaires | 1118 » | 3172 » |
| Assurances mixtes ou à termes fixes | 4505 » | 3607 » |

Cet abaissement du capital moyen assuré marque le chemin parcouru vers la petite assurance, voire vers l'assurance populaire.

La loi sur le monopole a ordonné la liquidation des associations tontinières et de répartition qui avaient été légalement organisées, en 1902, sur la base de la mutualité et de la coopération. Les membres de ces associations peuvent être repris par l'Institut national de prévoyance ou par l'Institut national d'assurances.

Les opérations des associations tontinières et de répartition avaient pris un développement rapide, parce qu'elles présentaient les caractères suivants : fractionnement des primes en quotités mensuelles, modicité du capital assuré, atténuation ou suppression de la visite médicale.

Pour l'exercice 1910, ces associations avaient perçu 64 856 25 lire de droits d'entrée et 825 680 21 lire de versements pour des assurances en cas de vie et en cas de décès. Le départ entre ces deux espèces d'assurances n'est pas connu.

GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG

Les assurances populaires luxembourgeoises comprennent : des assurances pour frais de funérailles de 300 à 600 francs, pratiquées par les sociétés mutualistes ; des assurances habitations ouvrières, conclues près d'une société étrangère à l'intervention de la

Caisse d'Épargne du Grand-Duché : de petites assurances contractées près d'une société privée.

Les assurances pour frais de funérailles (8732 personnes assurées) ne comportent pas d'examen médical ; les assurés sont déchus de leurs droits par exclusion de la société mutualiste en cas de non paiement des cotisations malgré avertissement. Les cotisations sont adressées directement aux sociétés ou perçues par l'intermédiaire de la poste.

Les petites assurances les plus fréquentes sont des assurances mixtes de 50 à 2500 francs, à primes hebdomadaires sur la tête d'un enfant. Les primes sont encaissées à domicile, soit par les agents de la compagnie, soit par mandat.

L'État alloue aux sociétés mutualistes des subventions calculées sur la base du nombre des membres et du montant des recettes et des dépenses. Les sociétés jouissent de la franchise postale pour leurs correspondances avec certaines autorités.

Les agents de la compagnie privée près de laquelle sont conclues les petites assurances doivent être agréés par le Gouvernement Grand-Ducal. L'agrément est retiré aux agents qui font l'objet de plaintes justifiées.

Afin d'éviter de trop nombreuses déchéances, on a prescrit que la perception des primes se ferait à domicile à des dates clairement fixées par les polices et que les assurés ne pourraient être déchus qu'après un certain délai et après un avertissement recommandé.

La déchéance est interdite après une certaine durée de contrat : dans ce cas, la libération de la police est de règle.

PAYS-BAS

L'assurance populaire a pris dans les Pays-Bas un développement extraordinaire, mais elle y est ce que les compagnies d'assurances l'ont faite. Vers 1890,

l'opinion publique, vivement occupée de l'assurance populaire, provoqua une enquête très approfondie. Actuellement la question de l'assurance obligatoire a relégué dans l'ombre celle de l'assurance populaire et retient l'attention presque tout entière des sociologues et des hommes d'œuvres. Leur abstention explique celle des pouvoirs publics.

Dans les Pays-Bas, on n'entend par assurance populaire que l'assurance de très faibles capitaux à primes hebdomadaires. En moyenne, la somme assurée n'exécède pas 65 florins. Presque toujours elle est destinée au paiement de frais de funérailles. Généralement, toute la famille est assurée et, jusqu'à un certain âge, les enfants sont compris dans l'assurance des parents.

L'assurance populaire n'est pratiquée que par des compagnies privées et par des caisses funéraires remontant aux Guildes et dont quelques-unes datent du xiv^e siècle. Lors de la Révolution française, la plupart des anciennes caisses disparurent, d'autres les remplacèrent.

Les caisses funéraires, basées, toutes, sur le principe de la mutualité, présentèrent, cependant, de grandes différences quant à leur importance, à leur organisation et à leur gestion. On peut leur reprocher bien des abus, mais ces abus ne firent pas scandale.

Jusqu'en 1860, les caisses funéraires eurent le monopole de l'assurance populaire. Après 1860, des sociétés furent fondées pour l'exploitation simultanée de la grande assurance-vie et de l'assurance populaire : elles ne tardèrent pas à réunir une clientèle nombreuse et, après quelques déboires, réalisèrent de très beaux bénéfices.

Les caisses funéraires perdirent du terrain. Les plus fortes, les mieux gérées, souvent en se réunissant entre elles, se réorganisèrent en sociétés anonymes ou en compagnies mutuelles. Dans l'entretemps, de nouvelles sociétés privées virent le jour et, par le jeu d'une

intense concurrence. l'assurance des frais de funérailles prit un développement considérable.

En 1891, il existait 24 sociétés anonymes, 9 compagnies mutuelles et 400 caisses funéraires pratiquant l'assurance populaire : 345 de ces organismes, dont le recensement des opérations avait été possible, assuraient 1 959 966 personnes pour 127 631 455 florins.

En tenant compte des enfants compris dans l'assurance des parents, on estimait, alors, à 2 212 407 le nombre des personnes assurées, soit la moitié de la population.

Après 1891, on continua de fonder de nouvelles sociétés et la concurrence dépassa toute limite. On enrôla les assurés sans contrôle, ni garantie ; le nombre des déchéances augmenta, les frais de réclame et de perception de primes montèrent, l'importance des agents devint excessive. Les petites caisses funéraires pâturent, d'abord, de la situation, puis, les petites compagnies. Les grandes et anciennes compagnies souffrirent moins et, en général, demeurèrent florissantes.

Actuellement, le plus grave de la crise est passé. Depuis une dizaine d'années on n'a presque plus fondé de compagnies ; plusieurs ont disparu. Toutefois, le nombre des compagnies existantes est encore trop élevé.

Il est impossible d'établir à ce jour la statistique de l'assurance populaire proprement dite (assurance de très petits capitaux à primes hebdomadaires). En considérant globalement cette assurance et l'assurance de petits capitaux, on peut, pour 1912, dresser le tableau approximatif suivant :

| <i>Désignation des organismes d'assurances</i> | <i>Nombre des organismes</i> | <i>Nombre de contrats</i> | <i>Sommes assurées</i> |
|--|------------------------------|---------------------------|------------------------|
| Sociétés anonymes | 54 | 3 380 000 | 326 590 000 florins |
| » mutuelles | 23 | 1 021 600 | 89 885 000 » |
| » coopératives | 2 | 22 205 | 1 831 000 » |
| Caisses funéraires | 25 | 338 000 | 22 130 000 » |
| Totaux | 104 | 4 761 805 | 440 436 000 » |

Pour 5 sociétés et 48 (1) caisses funéraires les chiffres manquent.

En tenant compte de ce que des milliers d'assurés possèdent plus d'un contrat, on peut admettre que 4 3/4 millions de personnes forment la clientèle de l'assurance populaire proprement dite et de la petite assurance. On peut admettre, aussi, que dans les milieux auxquels convient une assurance de 65 florins, tout le monde, hommes, femmes et enfants, est assuré.

Quelques compagnies ont une clientèle très étendue. L'« Utrecht », au 31 décembre 1913, possédait 827 317 contrats en cours.

Par suite de la concurrence, les tarifs ont beaucoup baissé. L'« Utrecht » demande quatre cents par semaine jusqu'au décès pour une assurance de 100 florins, réduite à 20 florins par année d'âge si le décès se produit avant l'âge de cinq ans.

L'examen médical n'est prescrit que rarement et est toujours très sommaire. La déchéance est encourue par le non-paiement des primes pendant quelques semaines, ordinairement quatre, parfois six, ou plus.

Plusieurs compagnies et des plus grandes admettent, sur demande, le rétablissement des contrats dans un délai de quelques mois, six, en moyenne. Presque toutes les compagnies excluent le rachat. Quelques compagnies importantes autorisent, sur demande, et à des conditions diverses, la libération des polices.

Exception faite pour les rares caisses funéraires, organisées par des sociétés ouvrières, les assurés sont recrutés par des agents. L'agent est le pivot de l'assurance populaire dans sa forme actuelle. Les assurés et l'assureur ne connaissent que lui. Sa rétribution est, ordinairement, de 1 florin par enrôlement et de 20 % des primes. Les primes se perçoivent à domicile.

(1) Nombre approximatif d'assurés : 150 000.

L'assurance au décès à primes viagères est la plus fréquente, mais l'assurance au décès à primes temporaires gagne de plus en plus de terrain. Les autres combinaisons d'assurance, assurance temporaire, assurance mixte, assurance de capitaux différés ou à terme fixe, sont peu usitées.

L'assurance populaire souffre beaucoup de la défaillance des assurés et des déchéances. Une grande partie des déchéances sont onéreuses pour les compagnies, mais on prétend qu'elles trouvent compensation dans les autres.

Pas d'abus quant aux frais d'administration. Ceux-ci sont élevés : 40 % des primes.

En 1912, le législateur a été saisi d'un projet de loi sur l'assurance-vie qui restreint la liberté presque absolue laissée jusqu'à présent aux assureurs, mais qui ne s'applique pas aux contrats de moins de 200 florins. En pratique, les caisses funéraires, c'est-à-dire les organismes qui offrent le moins de garantie, continueraient d'échapper au contrôle et à la réglementation, d'autant plus qu'il n'existe pas de loi sur les sociétés mutualistes.

Quelles conclusions générales pourrait-on tirer des aperçus précédents sur l'état de l'assurance populaire en Allemagne, en Autriche, en Belgique, en Finlande, en France, en Italie, dans le Grand Duché de Luxembourg, dans les Pays-Bas, en tenant compte, aussi, pour les formuler, du développement de cette assurance chez les nations anglo-saxonnes et des circonstances de ce développement ? D'abord, il semble bien que l'on ne puisse concevoir une sorte de système universel d'assurance populaire, auquel s'opposent, comme dans la plupart des domaines, les diversités nationales de tempérament, d'habitudes et de traditions. Quelque qualité ou quelque tendance inhérente à la race ou au

milieu influence toujours les institutions, tant publiques que privées : ici, ce sera l'individualisme, là, l'esprit d'association, ailleurs, un sentiment particulier de la discipline. Disons, dans cet ordre d'idées, que des discussions d'école entre les mérites abstraits de tel et de tel système sont de vains débats sans portée pratique. Des faits, nous pouvons évidemment dégager quelques conséquences, mais, si elles sont heureuses, nous ne pouvons vouloir, ni même espérer, que les faits dont elles découlent se généralisent partout.

Disons encore qu'il faut se garder de confusion de cause à effet, en attribuant trop d'importance, par exemple, dans le développement de l'assurance et dans son épuration, à un statut coordonnant des procédés fragmentaires consacrés par l'usage et à des prescriptions légales ou administratives qui ne seraient, sous l'apparence d'une intervention étatiste, que des mesures régulatrices ou consolidantes.

Lorsque le sentiment populaire se prête au développement de l'assurance, et que les assurés ne s'organisent pas ou ne sont pas, au préalable, organisés pour se défendre contre les abus des compagnies, si celles-ci ne sont soumises à une réglementation, ou tout au moins à une surveillance officielle, la libre concurrence pousse à l'exagération du nombre des organismes assureurs. La valeur intrinsèque de l'assurance et son mérite moral diminuent.

On ne peut, en général, méconnaître l'importance, l'utilité, la nécessité de lois ou de règlements couvrant de leur égide l'assurance populaire et qui, sans porter une atteinte injustifiée à l'initiative des entreprises privées, tempèrent leur action et la maintiennent dans le cadre d'opérations licites, où l'assuré et l'assureur trouvent tous deux leur compte et s'accordent dans des rapports d'honnêteté et de confiance réciproques.

Lorsque par la force de la loi ou du règlement, ou

par celle de l'usage et des traditions, l'assurance populaire vit d'une vie saine, il existe des probabilités en faveur de l'absorption commerciale de l'assurance par quelques puissantes compagnies. On tend à un monopole de fait ; or, tout monopole, si consciencieusement exercé qu'il soit, appelle des réserves ; il est avantageux de lui faire contrepoids. Aussi, doit-on approuver l'existence, à côté des entreprises d'assurance à but lucratif, d'institutions ne poursuivant aucun bénéfice pécuniaire, caisses officielles d'assurances — organismes d'État ou placés sous la garantie de l'État — entreprises d'utilité publique ou associations mutuelles.

Presque partout, l'importance des caisses officielles est restreinte, parce que leurs moyens de propagande sont limités et qu'elles peuvent difficilement, abandonnées à elles-mêmes, organiser et maintenir un contact constant et actif avec le public. Mais elles agissent favorablement sur les conditions générales de l'assurance.

Avec plus de souplesse, peut-être, que les caisses officielles, les entreprises d'assurances sans but lucratif, cherchant leur clientèle dans des milieux spéciaux, rempliront leur rôle sur le terrain de la concurrence. Toutefois, ces entreprises ne se développeront et ne prospéreront qu'en s'adressant à une population suffisamment nombreuse.

Ces entreprises, d'ailleurs, ainsi que les caisses officielles, ne semblent capables d'une action étendue qu'en escomptant l'intervention gratuite ou modérément rémunérée d'organismes intermédiaires aidant au recrutement, à la concentration des assurés et à l'administration de l'assurance.

L'on ne saurait trop insister sur les bienfaits que sont capables d'apporter à l'assurance populaire la mutualité et le patronat. La mutualité et le patronat sont des auxiliaires précieux pour les entreprises d'assurances à but non lucratif.

Jusqu'à présent l'assurance populaire ne bénéficie pas, peut-on dire, de subventions directes des pouvoirs publics, ces subventions s'entendant, surtout, de subsides attachés aux versements, et l'on ne doit pas espérer que l'avenir modifiera bientôt cette situation. Dans le domaine de la prévoyance, l'État, les Provinces et les Communes sont sollicitées par des besoins plus urgents que ceux de l'assurance, et on ne cesse de demander qu'ils y pourvoient plus largement.

Mais les pouvoirs publics doivent prendre l'assurance populaire sous leur sauvegarde, et l'on est unanime à souhaiter que cette assurance soit l'objet d'une surveillance, d'un contrôle ou d'une réglementation. Là où des mesures protectrices n'existent pas ou sont insuffisantes, on les réclame avec plus ou moins d'insistance et dans une proportion plus ou moins grande.

En résumé, il est permis de dire que l'extension de l'assurance populaire et l'amélioration de son fonctionnement sont corrélatives au jeu de la concurrence entre organismes assureurs de différentes espèces, à la protection des pouvoirs publics, et à la force d'organisation des assurés. Ces conditions sont celles d'un système idéal, mais il est téméraire d'affirmer que ce système soit réalisable partout ou qu'il fonctionnera toujours avec plénitude et harmonie.

C. BEAUJEAN.

VARIÉTÉS

I

UN MÉMOIRE D'AMPÈRE TROP PEU CONNU SUR LA RUINE DU JOUEUR

—

I

André-Marie Ampère (né à Lyon, le 20 janvier 1775, mort à Marseille, le 10 juin 1836), est le plus prodigieux des autodidactes. Depuis les jours lointains de son adolescence, où il lut d'un bout à l'autre l'Encyclopédie du XVIII^e siècle, jusqu'à sa mort, il n'a cessé d'étudier, dans tous les sens, les connaissances humaines fondamentales.

Dans maintes directions, Ampère a fait des découvertes qui ont été, pour ses contemporains et les savants qui sont venus après lui, le point de départ de recherches fécondes. On connaît surtout la grande part qu'il a prise à la création de l'électrodynamique : ainsi, suivant le mot de Babinet, *il a simplifié la nature*, en ramenant le magnétisme à l'électricité. Il était métaphysicien et il a grandement aidé Maine de Biran dans sa lutte victorieuse contre le sensualisme condillacien : il a écrit une classification des sciences près de laquelle pâlisseraient tous les essais antérieurs et ultérieurs, parce que, depuis Leibniz, personne n'a tenu, comme Ampère, sous le regard de son esprit, un ensemble aussi étendu des trésors de la science. De plus, il a été mathématicien original : on lui doit surtout, en analyse infinitésimale, un Mémoire étendu *sur les équations aux dérivées partielles*. M. Goursat, dans la Préface de son ouvrage sur la

matière (Paris, Hermann, 1896-1898) en a dit, il y a vingt ans : « On n'a pas assez remarqué ces profondes recherches du grand géomètre, où sont employées des transformations de contact tout à fait générales, un demi-siècle avant Sophus Lie. »

Persnne que nous sachions n'a jamais étudié l'œuvre mathématique d'Ampère. M. Valson, dans sa biographie de l'illustre savant (1), analyse succinctement ses travaux sur la physique et sur la philosophie, mais non ceux qui ont trait aux mathématiques. Toutefois, il parle longuement de son Mémoire *sur la théorie du jeu*, parce que cet écrit marque un tournant dans la vie familiale d'Ampère, mais il n'en indique pas l'objet précis. C'est ce Mémoire presque inconnu que nous allons analyser, parce qu'il contient pour la première fois, croyons-nous, une théorie générale du jeu au point de vue du calcul des probabilités.

Ampère, après avoir maintes fois remanié son premier exposé, pour le généraliser et le simplifier, le fit imprimer à Lyon en un petit in-quarto et l'envoya à l'Institut de France. Il avait laissé dans son texte imprimé une erreur de transcription, rectifiée d'ailleurs dans la suite du Mémoire. Le Mémoire fut examiné par Laplace et Lacroix. Laplace, qui l'avait lu et approuvé, en fit l'éloge, mais à propos de cette erreur, pourtant sans portée, il reprit l'auteur avec peu d'indulgence (2). Lacroix, plus humain, se contenta de lui transmettre les remerciements de l'Institut.

Le Mémoire est intitulé : « Considérations | sur la | Théorie mathématique | du jeu. | Par A. M. Ampère, de l'Athénée de Lyon, et de la Société | d'Émulation et d'Agriculture du département de l'Ain, Professeur | de Physique à l'École centrale du même département. | A Lyon, | chez les Frères Périsset, Imprimeurs-Libraires, Grande rue | Mercière, n° 15. | Et se trouve à Paris, | chez la Veuve Périsset, Libraire, rue St-André-des-Arts, n° 84 | Et chez Duprat, Libraire, quai des Augustins, n° 71 | An 11. — 1802. » (In-4° de iv-63 pages, dont les cinq premières non numérotées).

Il est resté introuvable et inconnu jusqu'à ce que M. Hermann en ait publié, il y a quelques années, une édition photographique en *fac-simile*, déjà épuisée aussi d'ailleurs. Gouraud (1848),

(1) *La vie et les travaux d'André-Marie Ampère*. Nouvelle édition. Lyon, Vitte, 1897. In-8° de viii-430 pp.

(2) La solution du problème presque identique de la *durée du jeu*, exposée par Laplace dans son grand ouvrage, renferme dans les trois éditions successives (1812, 1814, 1820), une erreur qu'il n'a signalée et corrigée que plus tard, dans le quatrième *supplément* de son livre.

Todhunter (1865), M. Czuber (1899), n'ont donc pu en parler dans leurs histoires du calcul des probabilités. La faute en est à Laplace : ni dans la *Théorie analytique des probabilités*, ni dans la Notice historique qui la précède, il n'a signalé les théorèmes démontrés par Ampère. Lacroix a été plus consciencieux. Dans son *Traité élémentaire du Calcul des probabilités* (quatrième édition, Bruxelles, Remy, 1835; voir p. 93, note), il dit : « M. Ampère, dans ses *Considérations sur la théorie mathématique du jeu*, est parvenu à cette loi, par un procédé purement algébrique ». Il s'agit de la probabilité qu'a un joueur de perdre sa fortune à un coup quelconque, cette probabilité étant déterminée sans passer par les probabilités analogues relatives aux coups antérieurs. Au fond, c'est la formule fondamentale d'Ampère.

II

Dussaulx et d'autres, dit Ampère dans son Introduction, ont prouvé par les faits que la passion du jeu conduit à la ruine ; mais leurs écrits n'ont converti personne : les joueurs attribuent leurs malheurs au hasard qui, selon eux, aurait pu faire tourner les chances en leur faveur.

Buffon a entrevu le premier que la ruine du joueur est la suite nécessaire de la combinaison des chances ; mais il n'a pas réussi à le prouver mathématiquement, parce qu'il a estimé arbitrairement la valeur d'une perte ou d'un gain, en la supposant fonction de la fortune du joueur.

Le but principal du mémoire d'Ampère est de démontrer avec rigueur la vérité de la conjecture de Buffon. Pour cela, il étudie avec grand soin la probabilité de la ruine d'un joueur qui expose à chaque partie qu'il jone la $m^{\text{ième}}$ partie de sa fortune. La mise de l'adversaire est égale à la sienne. Il définit avec soin la *certitude morale* : il appelle ainsi celle qui correspond à une probabilité $1 - \alpha$, α pouvant devenir aussi petit qu'on le veut : ainsi, il est moralement certain que le jet indéfini de deux dés amènera simultanément les deux six, un sonnez, comme on dit. En effet, la probabilité d'un sonnez est donné par une progression indéfinie dont la somme-limite est l'unité.

Ampère consacre dix pages à l'établissement d'une formule combinatoire base de tout son travail. Désignons avec lui par A_t le nombre de fois que t parties peuvent amener la ruine du

joueur à la dernière d'entre elles, à l'exclusion des précédentes. Puisque, dans l'hypothèse d'Ampère, le joueur risque chaque fois la $m^{\text{ième}}$ partie de sa fortune, nous poserons $t = m + 2p$; il gagne p parties, il en perd $m + p$. Si C_n^t désigne le nombre des combinaisons de k objets t à t , on aura $A_{m+2p} = C_{m+2p}^p$ moins le nombre des parties où la ruine du joueur arrive à une des parties qui précède la $(m + 2p)^{\text{ième}}$, par exemple, à la $(m + 2r)^{\text{ième}}$, r étant égal à 0, 1, 2, ... ou $p - 1$. Ces parties sont en nombre A_{m+2r} ; afin que l'on ait considéré en tout $m + 2p$ parties, on joint à chacune d'elles $p - r$ parties gagnées, $p - r$ parties perdues, ce qui peut se faire de C_{2p-2r}^{p-r} manières. On a donc enfin

$$A_{m+2p} = C_{m+2p}^p - S A_{m+2r} \cdot C_{2p-2r}^{p-r}, \quad (1)$$

S étant un signe sommatoire relatif à r qui doit prendre toutes les valeurs de 0 à $p - 1$.

Ampère obtient une seconde expression de A_{m+2p} en observant que ce nombre est aussi celui des parties en nombre $m + 2p - 1$ qui aurait réduit le joueur à ne plus posséder que la $m^{\text{ième}}$ partie de sa fortune. En calculant ce nombre par le procédé qui a donné la formule (1), l'auteur trouve une seconde expression de A_{m+2p} , qui, comparée à la première, donne enfin

$$A_{m+2p} = \frac{m}{m + 2p} C_{m+2p}^p,$$

relation facile à trouver par induction, dit Ampère.

La formule (1) donne C_{m+2p}^p comme une somme de nombres combinatoires ampériens A_{m+2r} multipliés par des nombres combinatoires ordinaires. Ampère, en changeant $m + 2p$ successivement en $m + 2p + 1$, $m + 2p + 2$, ..., $m + 2p + u$, trouve la formule suivante :

$$C_{m+2p+u} = A_{m+2p} + \frac{u+2}{1} A_{m+2p-2} + \frac{u+4 \cdot u+3}{1 \cdot 2} A_{m+2p-4} + \text{etc.}$$

Arrivé là, Ampère, en vrai analyste observe que cette formule démontrée pour u entier positif est vraie aussi pour u fractionnaire ou négatif, parce qu'elle est une identité entre deux polynomes en u . Il y a des cas particuliers remarquables, par exemple, celui où l'on donne à u une valeur négative qui annule le premier membre et aussi celui où $u = -m$.

III

Après ces préliminaires analytiques, Ampère aborde la question de la ruine du joueur, en premier lieu, quand celui-ci joue indéfiniment contre tout venant. Si sa probabilité de gagner une partie est $\frac{q}{1+q}$, sa probabilité de se ruiner est la somme, de $p=0$ à $p=\infty$, de la série ayant pour terme général

$$\Lambda_{m+2p} \left(1 + \frac{q^p}{q^{m+2p}}\right)$$

Elle est convergente. On la transforme aisément en une série double. On trouve qu'elle a pour limite 1, si q est inférieur ou égal à 1, $\frac{1}{q^m}$ si q est supérieur à l'unité. Cela signifie qu'un joueur qui joue indéfiniment à mise égale, avec une probabilité $\frac{1}{2}$ ou une probabilité moindre, de gagner à chaque partie, se ruine infailliblement; il n'en est pas ainsi, en général, si sa probabilité de gagner une partie est supérieure à $\frac{1}{2}$; cependant tout danger n'est pas écarté, s'il risque une partie notable de sa fortune, car il est clair qu'un petit nombre de parties malheureuses successives peuvent le ruiner dans ce cas. En particulier, il perdra infailliblement toute sa fortune, quelle que soit la valeur de q , s'il la joue tout entière à chaque partie, quitte ou double, comme on dit : on trouve, en effet, dans cette hypothèse, que la probabilité de ruine est exprimée par une progression géométrique illimitée de somme égale à l'unité.

Ampère traite en second lieu le problème de la ruine d'un joueur B, quand il a un seul adversaire C, de fortune égale ou supérieure à la sienne; la $m^{\text{ième}}$ partie de la fortune de B est supposée égale à la $n^{\text{ième}}$ de la fortune de C, n étant égal ou supérieur à m . Les préliminaires analytiques de la solution de ce problème ressemblent à ceux du problème précédent, mais ils sont plus compliqués, parce que l'on doit tenir compte de la situation du second joueur. Si les probabilités de gagner une partie pour B et C sont respectivement

$$\frac{q}{1+q}, \quad \frac{1}{1+q},$$

les limites des probabilités contraires à B et à C sont

$$\frac{q^n - 1}{q^{m+n} - 1}, \quad \frac{q^{m+n} - q^n}{q^{m+n} - 1},$$

et, en particulier,

$$\frac{n}{m+n}, \quad \frac{m}{m+n},$$

si q est égal à l'unité. D'après ce dernier résultat, c'est le joueur B le moins riche qui court le plus grand danger de se ruiner si $q = 1$ ou si les chances de gagner une partie sont égales à $\frac{1}{2}$ pour lui et pour C. Il en sera de même *a fortiori*, si q est inférieur à l'unité. Les probabilités de se ruiner seront égales si q a une valeur supérieure à l'unité et telle que $q^n - 1 = q^{m+n} - q^n$ ou

$$q^{m+n} - 2q^n + 1 = 0,$$

mais alors C aura une probabilité moins grande que B de gagner chaque partie et le jeu ne sera pas équitable.

Tels sont les résultats du travail d'Ampère sur la théorie mathématique du jeu. Ils contiennent tous les principes généraux essentiels sur la ruine du joueur dans le cas où les mises sont égales.

Ampère se montre d'une habileté consommée dans le manie- ment du calcul algébrique, des séries récurrentes et des séries ; en même temps, il est vraiment perspicace en calcul des probabilités : il ne laisse échapper aucun cas parmi ceux que com- porte la question. En note, à la page 17, il fait remarquer qu'une des séries convergentes qu'il obtient est une fonction discontinue de la variable, phénomène analytique non encore signalé à cette époque. Son exposé est un peu trop bref touchant la convergence de la première série qu'il a obtenue et sur la légitimité des calculs qu'il fait sur la série double équivalente, mais au début de son mémoire (p. 5) il annonce « un ouvrage sur les séries, auquel le professeur de mathématiques de l'Ain et moi travaillons de concert, et qui sera probablement bientôt publié ». Cet ouvrage, qui n'a jamais paru, au moins sous le nom d'Ampère, devait contenir « des démonstrations directes et générales des théorèmes » de la théorie des séries, « particuliè- rement de ceux qui n'ont été encore démontrés que d'une

manière vague ou par induction ». C'est là sans doute qu'Ampère aurait justifié la rigueur de ses procédés de calcul sur la limite des séries.

IV

Le mémoire d'Ampère se termine par un appendice de quatorze pages sur la résolution effective des équations qui ne se rattache que par un lien bien tenu à la théorie mathématique du jeu. Ce qui forme la transition d'un sujet à l'autre, c'est la formule inverse du binôme

$$a^n + b^n = (a+b)^n - \frac{n}{1} ab(a+b)^{n-2} + \frac{n}{1} \frac{n-3}{2} a^2 b^2 (a+b)^{n-4} - \text{etc.},$$

qui n'avait pas été établie jusque là avec une rigueur suffisante. En développant les puissances indiquées dans le second membre, Ampère montre qu'il se réduit au premier, grâce à une formule relative aux nombres combinatoires Λ_i nuls, signalée plus haut. Mais il établit directement cette formule à la fin du Mémoire, en multipliant le développement de $(1-a)^{-1}$ par celui de $(1-a)^t$, ce qui rend son appendice indépendant du Mémoire sur la ruine du joueur.

La formule inverse du binôme sert d'abord à l'auteur dans le calcul des fonctions symétriques et dans la réduction des équations réciproques.

Il y fait ensuite $a + b = z$, $ab = h$, $a^n + b^n = k$, ce qui lui donne deux équations

$$z^n - \frac{n}{1} h z^{n-2} + \frac{n}{1} \frac{n-3}{2} h^2 z^{n-4} - \dots = k,$$

$$a^{2n} - k a^n + h^n = 0,$$

dont les racines dépendent les unes des autres de manière que si l'on peut résoudre l'une, même partiellement, on peut résoudre l'autre. Les équations du 3^e et du 5^e degré peuvent se ramener toujours au type de la première. Mais dans maints cas, on n'a pas assez remarqué que la seconde, quand ses racines s'expriment au moyen de radicaux d'ordre impair portant sur des expressions imaginaires, ne peut en rien aider à la solution effective de la première, à moins de recourir aux expressions trigonométriques imaginaires.

Au contraire, observe Ampère, toute solution réelle de la première permet de trouver les racines de la seconde, et, dans certains cas, de résoudre effectivement les équations trinomes réductibles aux équations du second degré et, en particulier, celles auxquelles on est conduit quand on cherche une racine d'ordre impair d'une expression imaginaire.

Dans ses spéculations et ses calculs, Ampère se montre pleinement au courant de la théorie des équations et algébriste habile ; mais il y a quelques traces de hâte et quelque confusion dans la rédaction de certains alinéas, par exemple du n° 85. On peut voir dans la biographie d'Ampère par Valson l'explication de ces légères négligences : il travaillait dans les circonstances les plus difficiles et les plus pénibles à Bourg, loin de sa famille et de l'imprimeur de son Mémoire.

V

Il est probable qu'il y a maintes vues originales à glaner dans l'œuvre d'Ampère, sur les principes du calcul élémentaire ou de l'analyse, sur le calcul des variations ou la mécanique, outre ce qui a été signalé par M. Goursat dans la théorie des équations aux dérivées partielles. Nous croyons donc bien faire en donnant ici une *Liste des œuvres mathématiques* de A.-M. Ampère (1), publiées dans des journaux scientifiques. Elle permettra à quelque jeune géomètre de trouver aisément pour l'étudier et l'analyser l'un ou l'autre des Mémoires trop oubliés, dus à l'illustre savant, et peut-être inconnu comme sa théorie mathématique du jet.

1. Démonstration de l'égalité de volume des polyèdres symétriques. CORR. EC. POLYT., 1, pp. 184-187, 1804-1808.

2. Recherches sur quelques points de la théorie des fonctions dérivées qui conduisent à une nouvelle démonstration de la série de Taylor, et à l'expression finie des termes qu'on néglige lorsqu'on arrête cette série à un terme quelconque. JOURNAL DE L'EC. POLYT., 1806, VI, pp. 148-181.

3. Démonstration générale du principe des vitesses virtuelles,

(1) Extrait du CATALOGUE OF SCIENTIFIC PAPERS (1800-1863). Compiled and published by the Royal Society of London. Vol. I. London, *Eyre and Spottiswoode*, 1867, pp. 58-61. Nous conservons le numérotage du Catalogue.

dégagée de la considération des infiniment petits. *IB.*, pp. 247-269.

4. Recherche sur l'application des formules générales du Calcul des variations aux problèmes de la mécanique [1803]. *MÉM. DES SAV. ÉTR.*, 1806, I, pp. 493-523.

5. Sur les avantages qu'on peut retirer dans la théorie des Courbes, de la considération des paraboles osculatrices, avec des réflexions sur les fonctions différentielles dont la valeur ne change pas lors de la transformation des axes [1803]. *JOURNAL DE L'ÉC. POLYT.*, 1808, VII, pp. 159-181.

8. Sur l'intégration des équations aux différentielles partielles. *BULL. DE LA SOC. PHIL.*, 1814, pp. 107-109.

9. Sur les équations aux différences partielles. *IB.*, pp. 163-165.

13. Considérations générales sur les intégrales des équations aux différentielles partielles. *JOURNAL DE L'ÉC. POLYT.*, 1815, X, pp. 549-611; 1820, XI, pp. 1-188.

15. Problème des quadratures. Rapport à l'Académie royale des Sciences sur un Mémoire de M. Bérard. *ANN. DE GERGONNE*, 1817-1818, VIII, pp. 117-124.

23. Mémoires sur quelques nouvelles propriétés des axes permanents de rotation des corps et des plans directeurs de ces axes. *MÉM. DE L'INSTITUT*, 1821-1822, pp. 86-152. *QUART. JOURN. SCI.*, 1822, XII, pp. 415-416.

32. Analogie entre les Facultés numériques et les puissances; démonstration générale de la formule du binôme de Newton; développement des fonctions exponentielles et circulaires. *ANN. DE GERGONNE*, 1824-1825, t. XV, pp. 369-387.

36. Exposition des principes du calcul des variations. *IB.*, 1825-1826, t. XVI, pp. 133-167.

37. Essai sur un nouveau mode d'exposition des principes du Calcul différentiel, du calcul des différences et de l'interpolation des suites, considérés comme dérivant d'une source commune. *IB.*, pp. 329-349.

40. Nouvelle démonstration du principe des vitesses virtuelles. *CORR. MATH. ET PHYS.*, 1826, II, pp. 276-281.

41. Démonstration du théorème de Taylor pour les fonctions d'un nombre quelconque de variables indépendantes avec la détermination de l'erreur que l'on commet lorsque l'on arrête la série donnée par ce théorème à l'un quelconque de ses termes. *ANN. DE GERGONNE*, 1826-1827, XVII, pp. 317-329.

44. Solution d'un problème de dynamique suivi de considé-

rations sur le problème général des forces centrales. ANN. DE GERGONNE, 1829-1830, XX, pp. 37-58.

45. Démonstration élémentaire du principe de la gravitation universelle. IB., pp. 89-96.

49. Mémoire sur les équations générales du mouvement [1826]. JOURNAL DE LIOUVILLE, 1836, I, pp. 211-228.

50. Recherches mathématiques inédites. CORR. MATH., 1837, IX, pp. 144-148.

51. Nouvelle discussion de l'équation générale des courbes du second degré. IB., 1838, X, pp. 90-103.

52. Théorie du calcul élémentaire. N. ANN. MATH., 1845, IV, pp. 105-109, 161-164, 209-213, 278-285.

PAUL MANSION.

II

LA LUMIÈRE « FROIDE »

D'APRÈS LE PROCÉDÉ DUSSAUD

Les moyens usuellement employés pour produire l'éclairage artificiel, ne nous donnent la lumière qu'au prix d'une quantité énorme de chaleur inutilement dégagée. Il est incontestable que pour beaucoup d'applications, c'est là un grave désagrément, et l'on comprend que nombre de chercheurs aient tenté de solutionner ce captivant problème : réaliser une source de lumière qui soit exempte de rayons calorifiques. En toute rigueur, cela est impossible : la lumière absolument froide est un mythe. C'est, qu'en effet, la lumière et la chaleur sont identiques dans leur essence, inséparables, et ne constituent que des aspects différents de l'énergie que propagent les vibrations de l'éther.

Ce milieu subtil, impondérable, qui subsiste dans un espace dont toute matière est enlevée, remplit ce que nous appelons improprement le vide, et doit exister également à l'intérieur des corps matériels. Ses oscillations, quand elles sont comprises

entre 375 et 750 trillions de périodes par seconde, impressionnent notre rétine. Ces limites extrêmes correspondent respectivement à des longueurs d'ondes de huit dix-millièmes et quatre dix-millièmes de millimètre, caractéristiques d'une part du rouge sombre, d'autre part du violet. Ces deux couleurs sont celles que l'on trouve aux extrémités du spectre solaire, et entre elles viennent se classer tous les rayons résultant de la décomposition de la lumière blanche.

Au delà du spectre visible, dans l'ultra-violet, s'étend une bande de radiations qui se manifestent particulièrement par des actions chimiques. Le nombre des vibrations par seconde s'y élève jusque 1600 trillions. Dans l'infra-rouge, au contraire, on se trouve en présence d'oscillations plus lentes, perceptibles surtout par leurs effets calorifiques.

Dans les systèmes d'éclairage que l'on emploie habituellement, on dépense la majeure partie de l'énergie mise en œuvre, sous forme de chaleur invisible avant d'atteindre le plus minime rayonnement lumineux. Il n'est pas possible d'arriver aux températures élevées nécessitées par les vibrations lumineuses sans déchaîner à la fois toutes les oscillations inférieures que l'œil ne perçoit pas.

Si l'on pouvait produire, à l'exclusion de toutes autres, les radiations pour lesquelles l'œil présente le maximum de sensibilité, on n'aurait, comme perte, que la minime dépense de chaleur qui leur correspond, et ainsi se trouverait réalisé ce qu'il serait permis d'appeler la lumière froide. Théoriquement on arriverait à ce résultat, en utilisant des rayons de couleur jaune-verdâtre *seulement*, d'une longueur d'onde d'environ 55 cent-millièmes de millimètre. La quantité de chaleur inhérente à la lumière, émise dans ces conditions, serait excessivement faible et la bougie s'obtiendrait avec une dépense de 0,02 Watt, ce qui constitue la limite théorique du rendement de l'énergie appliquée à l'éclairage. — Jusqu'à présent, seuls les insectes lumineux, tels que le ver luisant, s'en rapprochent d'assez près. Les radiations qu'ils émettent sont, en effet, comprises dans la portion du spectre où règne la plus grande activité lumineuse avec le minimum d'action calorifique ou chimique. Toutefois, cette lumière utilitaire est incomplète et, pour donner aux objets de couleurs complexes leur véritable apparence, il est nécessaire d'y adjoindre d'autres radiations qui donnent lieu à un dégagement de chaleur beaucoup plus prononcé.

Ce court exposé théorique montre combien grande est la complexité du problème de la lumière dite « froide », et met en évidence les difficultés insurmontables auxquelles viennent se heurter les chercheurs. Plusieurs ont cependant essayé d'en donner une solution approchée ayant pour but une meilleure utilisation de l'énergie dépensée dans les foyers d'éclairage. Signalons, par exemple, les intéressants travaux qui ont conduit à la réalisation de la lampe à vapeur de mercure et des tubes luminescents.

La solution proposée par M. Dussaud, part d'un tout autre principe. Au lieu de chercher à réduire les ondes calorifiques inutiles, il se contente de les séparer des rayons lumineux, à l'endroit d'utilisation. Il ne peut évidemment pas être question de diviser ces ondes au foyer d'éclairage même, puisqu'elles prennent naissance simultanément, mais il est possible de faire une sorte de triage dans l'ensemble des rayons émis.

Il est facile de reconnaître expérimentalement que si l'on allume une lampe à incandescence, de préférence à filament métallique, pendant un temps très court seulement, la chaleur ne fait sentir son influence à l'extérieur de l'ampoule qu'après l'extinction. De cette façon, on voit la lumière, sans avoir perçu les effets de l'énergie calorifique, qui pourtant s'est développée en même temps. L'explication de ce fait intéressant réside dans la propriété que présentent les radiations obscures transmettant uniquement la chaleur, de se propager moins rapidement à travers le verre que les radiations lumineuses dont la période est plus courte. Pratiquement, on a observé que les premières mettent un temps environ double de celui pris par la lumière, pour s'échapper de l'ampoule.

Partant de là, on a réalisé une source de lumière « froide » en disposant trois lampes à incandescence à 120 degrés l'une de l'autre, sur un disque animé d'un mouvement de rotation rapide. Les choses sont arrangées pour que l'allumage de chaque lampe se produise toujours dans la même région de l'espace, et dure pendant un tiers de tour, de sorte que chaque ampoule dispose d'un temps double de celui de son fonctionnement pour dissiper à l'extérieur la chaleur qui s'est développée. L'œil gardant pendant $\frac{1}{40}$ de seconde environ les impressions lumineuses qu'il reçoit, si l'on imprime au disque une vitesse de rotation de 16 tours à la seconde, on réalisera 48 interruptions pendant ce temps, et l'éclairage ainsi obtenu ne présentera pas le moindre vacillement. On voit donc que par ce dispositif très simple, on

empêche la chaleur de se manifester d'une façon pratiquement sensible pendant la durée de l'éclairage, de sorte que l'élévation de température de la lampe est presque imperceptible.

Le moyen purement mécanique dont nous venons d'esquisser à grands traits le principe, n'est pas le seul qui ait été employé pour arriver au résultat cherché. Pour chaque application particulière, on a étudié les combinaisons qui permettaient d'obtenir le plus simplement et le plus rationnellement, une source d'éclairage qui ne s'échauffe guère durant son fonctionnement. Dans ce but, on ne laisse jamais une lampe en activité qu'un temps très court, et l'on prévoit toujours des repos pour la dissipation de l'énergie calorifique inévitablement produite. En sus du brevet principal qui consacre le principe de l'invention, il a été accordé à M. Dussand toute une série de brevets de perfectionnement, ayant trait à l'application du système aux différents cas particuliers.

Les lampes utilisées n'étant allumées que pendant une fraction de seconde, il n'y a pas d'inconvénient à les survolter, même très fort, surtout s'il s'agit de types pour faibles tensions, dont les filaments sont très robustes. Comme, d'autre part, on sait que la consommation spécifique d'une lampe donnée est d'autant plus petite que le voltage est élevé, on comprend que par ce moyen on pourra réaliser une économie considérable.

Pour pouvoir survolter sans danger, on fait usage de modèles spécialement étudiés dans ce but et dont le vide est poussé fort loin. Le filament rigoureusement homogène est ramassé en minuscules spirales placées côte à côte, de manière à former un petit cylindre de 5 mm. environ de longueur et de 1 mm. de diamètre. On obtient de cette façon une source de lumière presque ponctiforme, qui peut facilement être disposée au foyer géométrique d'un miroir sphérique ou parabolique, de telle sorte que toute la lumière rayonnée se répartisse sur une surface donnée, dans une direction voulue. Par suite de cette disposition, il est possible avec une minime dépense de 20 *Watts*, correspondant à 1,25 Ampères sous 16 volts, d'avoir des foyers lumineux très intenses qui, par les moyens usuels, exigeraient certainement de 1200 à 2000 *Watts*. Cet exemple typique n'a pas besoin de commentaires pour montrer les avantages que présente ce nouveau mode d'éclairage.

Les applications de la lumière « froide » sont multiples ; nous ne parlerons ici que des principales et des plus intéressantes.

En tout premier lieu, il convient de citer son emploi pour les projections fixes et cinématographiques. Grâce à l'absence de chaleur, on peut faire usage de vues sur celluloïde, sans danger de les voir s'enflammer ou se recroqueviller. Les coûteux et pesants clichés en verre sont remplacés par des bandes de pellicules, disposées sur une bobine qu'il suffit de dérouler devant l'appareil pour faire passer, sur l'écran, la succession des vues. Quand on songe au bon marché avec lequel il est possible de fournir ces photographies, on conçoit l'essor extraordinaire que ce procédé peut donner à cette industrie. A peu de frais, à l'aide de piles ou d'accumulateurs, chacun est à même chez soi de projeter ses vues préférées, prises sur pellicules avec un appareil photographique quelconque. De plus, les clichés en couleur si difficiles à réaliser sur verre se font aisément sur celluloïde ; mais, jusqu'à présent, il était dangereux de s'en servir contrairement à cause de leur inflammabilité.

Dans les projections fixes, on a étudié un type spécial de lanterne pour y réaliser simplement le principe de la source de lumière froide. Il est fait usage de deux lampes dont l'une seulement est en activité, l'autre se reposant et dissipant à l'extérieur la chaleur accumulée dans l'ampoule. En passant d'un cliché au suivant, la manœuvre du tiroir provoque le déboîtement de la chambre noire de l'appareil, qui est faite en deux pièces. La lampe qui avait servi à l'éclairage glisse à l'extérieur pour se refroidir au contact de l'air, tandis que, en même temps, l'autre est amenée devant l'objectif et allumée.

Les vues fondantes que l'on réalise habituellement au moyen de deux appareils superposés, s'obtiennent par la manœuvre d'obturateurs dits « œils de chat », dont l'effet est plus ou moins bon. Avec la méthode nouvelle on arrive le plus simplement du monde à des résultats merveilleux. Il suffit de disposer un minuscule rhéostat dans le circuit de chacune des lanternes à projections. L'on peut ainsi augmenter progressivement le courant, et par suite l'éclairage de la première, tandis que l'on diminue insensiblement celui de la seconde. L'évanouissement et l'apparition des images sont tout à fait progressifs et peuvent être réglés avec toute la précision désirable. Pour les projections cinématographiques, on profite du moment où l'obturateur passe devant la photographie, pour laisser refroidir la lampe qui n'est, par conséquent, active que durant la période utile. Comme on le sait, l'effet de l'obturateur est de cacher l'image au moment où elle descend pour faire place à la suivante. La

maison Pathé utilise un dispositif analogue dans le petit appareil domestique « Pathé-Kock » qu'elle a créé ; cependant, la commission du Patentamt allemand, dont l'autorité est indiscutable, a reconnu l'originalité du procédé Dussaud.

Grâce à la lumière froide, les préparations microscopiques peuvent être projetées sans crainte de les voir se détériorer, ni risque de faire fondre le baume de Canada. Il est également possible de faire apparaître sur l'écran l'image d'insectes vivants sans danger de les griller, avec un grossissement énorme de plusieurs millions de fois leur grandeur. Il est ainsi loisible à chacun d'étudier la vie et les mœurs de ces infiniment petits si intéressants à observer. Jusqu'ici, à cause de la forte chaleur dégagée par les arcs intenses nécessaires pour les projections, il ne fallait pas songer à pareil résultat.

Une autre application importante de la lumière « froide » est son utilisation dans les phares et les projecteurs. Par suite de l'absence de rayons calorifiques, il est permis de rapprocher beaucoup les lampes des lentilles. Dans ces conditions, celles-ci peuvent être à distance focale réduite, et avec une intensité moindre de la source de lumière on atteint les mêmes résultats que précédemment.

Dans les phares à feu tournant, on profite de l'orientation périodique du système mobile vers la terre pour interrompre le courant et laisser refroidir la lampe. Ce repos permettant, comme on l'a déjà fait observer, de survolter fortement le filament, on obtient, avec une dépense insignifiante d'énergie, une lumière extrêmement puissante dont l'intensité dépasse celle des arcs les plus forts que l'on ait réussi à employer. On est, en effet, limité dans la puissance qu'on peut leur donner, par la chaleur vraiment énorme qu'ils dégagent et qui fait éclater les systèmes optiques. D'autre part, un avantage des lampes à incandescences survoltées, réside dans les qualités de pénétration toutes spéciales de leur lumière, ce qui, en l'occurrence, en augmente singulièrement la valeur.

La lumière « froide » est aussi appelée à rendre d'importants services à l'armée. Ses caractéristiques la désignent immédiatement pour les projecteurs de guerre. Elle possède une fixité supérieure à celle des arcs actuellement en usage, et nécessite un groupe électrogène moins pesant et moins encombrant. Cette dernière raison la fera également adopter à bord des dirigeables et des avions, dont les moteurs ont besoin de toute leur puissance pour actionner les hélices.

Elle s'indique encore pour la télégraphie optique entre deux corps d'armée en campagne. Jusqu'à présent, dans tous les appareils préconisés pour cet usage, la source de lumière en jeu restait constamment allumée, et les indications étaient produites en la masquant au moyen d'un écran pendant un temps plus ou moins long, suivant que, d'après l'alphabet Morse, on voulait transmettre un signal long ou bref. Avec la lumière froide, les écrans deviennent inutiles. La lampe n'est allumée que pendant le temps strictement nécessaire, et reste éteinte entre chaque émission de signaux. On profite de ce repos pour la laisser se refroidir et dissiper la chaleur produite. Dans ces conditions, la télégraphie optique peut se faire avec une petite ampoule de dimension fort réduite, un manipulateur et une pile minuscule, trois objets qu'un soldat emporte facilement dans son sac.

Il n'est pas jusqu'en médecine où l'invention nouvelle ne trouve des applications inattendues. On sait toute l'importance qu'a prise récemment la photothérapie ou mode de traitement par bains de lumière. L'action de la chaleur étant souvent irritante, on conçoit tout l'avantage qu'il y a à la séparer de celle de la lumière, seule bienfaisante. De plus, par suite de la faible dépense de courant nécessitée par le procédé préconisé, il devient possible à chacun d'appliquer chez soi, à peu de frais, ce traitement autrefois très coûteux. Dans l'endoscopie et l'exploration des organes internes, le médecin se servira aussi avec avantage de cette source nouvelle d'éclairage, qui lui permettra d'avoir, sous un volume fort réduit, une lumière très puissante.

En résumé, les applications de l'éclairage artificiel suivant les procédés de M. Dussaud, se rencontrent dans tous les domaines et il y est appelé à un grand avenir. Le Ministère de l'Instruction publique en France, l'a adopté pour les écoles officielles. Cette décision, qui consacre définitivement l'invention, a été prise à la suite du rapport remis par une commission de spécialistes, chargés d'examiner à fond la question. D'autres essais sont en cours au département de la guerre, et ont jusqu'ici donné toute satisfaction.

E. DEMANET,
Ingénieur Électricien.

BIBLIOGRAPHIE

I

WAHRSCHEINLICHKEITSRECHNUNG VON A. A. MARKOFF. Nach der zweiten Auflage des russischen Werkes übersetzt von H. LIEB-MANN. — Leipzig und Berlin, B. G. Teubner, 1912 (in-8° de vii-317 pp.). Prix : broché, 12 marcs; cartonné, 13 marcs (1).

L'auteur indique nettement dans sa préface le but de son traité : exposer avec rigueur, au point de vue analytique, les théorèmes fondamentaux du calcul des probabilités, sans en discuter minutieusement les principes et sans en étudier les applications. Les principes admis sont d'ailleurs indiqués explicitement et réduits au nombre minimum. Les théorèmes principaux sont prouvés seulement comme théorèmes asymptotiques, sans indication des approximations précises obtenues avant le passage à la limite. Maintes démonstrations sont empruntées à des travaux peu connus en Occident et dus à Tchebychef et à ses continuateurs, Markof, Liapounof, etc.

Dans le premier chapitre, *Notions et théorèmes fondamentaux* (pp. 1-17), l'auteur donne la définition de la probabilité mathé-

(1) L'original russe a paru en 1908, en seconde édition, sous le titre : ИСТЧИСЛÉНІЕ ВÉРОЯТНОСТЕЙ. А. А. МАРКОВ. ВТОРОЕ ИЗДАНІЕ (S. Pétersbourg, imprimerie de l'Académie impériale des Sciences, 1908; in-8° de iv-284 pp.). — La troisième édition russe va ou vient de paraître. L'auteur a publié en même temps une brochure intitulée : « Bicentenaire de la loi des grands nombres, 1713-1913. Démonstration du second théorème-limite du Calcul des probabilités par la méthode des moments. Supplément à la 3^e édition russe du Calcul des probabilités par A. Markoff (Markov). Avec un portrait de Jacques Bernoulli. St-Pétersbourg, imprimerie de l'Académie impériale des Sciences. Vass.-Ostr., 9^e ligne, N° 12, 1913 » (in-8° de iv-66 pp.).

Nous écrivons le nom de l'auteur avec un seul *f*, parce que le second est inutile. En russe, il y a ou *v* comme l'auteur l'indique dans le titre du supplément.

matique en partant du concept d'événements également possibles; à propos d'un exemple élémentaire, il fait connaître les deux principes relatifs à l'addition et à la multiplication des probabilités. Il appelle l'attention sur ce qu'il nomme l'axiome de l'indépendance : « l'arrivée d'un événement exclut tous les cas défavorables à cette arrivée, sans changer la probabilité des cas favorables ». Quand il s'occupe de la probabilité des événements composés d'événements simples *indépendants*, il fait observer qu'il est bien difficile de donner des exemples pratiques où cela se présente.

Le second chapitre est consacré aux *épreuves répétées et au théorème (asymptotique) de Bernoulli* (pp. 18-44), que les limites soient ou ne soient pas symétriques par rapport au terme le plus grand. La démonstration est celle de Laplace modifiée par Tchebychef. Cette démonstration est applicable même à la loi des grands nombres de Poisson, dont il est question dans le chapitre III. Elle peut être rendue inattaquable au point de vue de la rigueur, bien qu'il semble, au premier abord, que l'on y néglige un nombre indéfini de quantités infiniment petites, sans justification suffisante.

Le chapitre suivant intitulé *Somme de grandeurs indépendantes* (pp. 45-91) est le plus original de l'ouvrage. On y trouve les recherches des géomètres russes sur des généralisations diverses du théorème de Bernoulli, au moyen de la théorie de l'espérance mathématique. Comme le remarque M. Pizetti dans son analyse du livre de M. Markof (BOLLETTINO DI BIBLIOGRAFIA E DI STORIA DELLE SCIENZE MATEMATICHE de G. Loria, 1913, pp. 17-21), il est plus simple d'appeler *valeur moyenne* d'une quantité variable accidentellement la *somme des valeurs possibles de cette quantité multipliées par leurs probabilités respectives* que de donner à cette somme de produits le nom d'*espérance mathématique* de cette quantité; ce terme technique doit plutôt être réservé à la théorie des jeux.

Voici la suite des propositions établies dans ce chapitre III : Valeur moyenne d'une somme, d'un produit. *Lemme*. Si A est la valeur moyenne d'une grandeur U , la probabilité que $U \geq At^2$ est plus grande que $1 - t^2$, t étant quelconque. *Inégalité de Tchebychef* : Si $a, b, c, \dots, l, a_1, b_1, c_1, \dots, l_1$ sont les valeurs moyennes des variables indépendantes X, Y, Z, \dots, W , et de leurs carrés $X^2, Y^2, Z^2, \dots, W^2$, la probabilité que $SX = X + Y + Z + \dots + W$ est comprise entre $Sa - t\sqrt{Sa_1} - Sa$ et $Sa + t\sqrt{Sa_1} - Sa$ surpasse $1 - t^2$, t étant quelconque. On a posé

$Sa = a + b + c + \dots + l$, $Sa_1 = a_1 + b_1 + c_1 + \dots + l_1$. *Théorème de Bernoulli généralisé* : Si les quantités $a_1, b_1, c_1, \dots, l_1$, dont le nombre μ est aussi grand qu'on le veut, sont inférieures à L , alors pour μ suffisamment grand, ϵ et η étant des quantités positives quelconques, la probabilité que l'on ait

$$-\epsilon < \frac{1}{\mu} SX - \frac{1}{\mu} Sa < \epsilon$$

surpasse $1 - \eta$. *Corollaire*. Si a, b, c, \dots, l , sont tous plus grands que C , pour μ suffisamment grand, SX surpasse toute grandeur. *Théorème de Poisson* (appelé loi des grands nombres en Occident. Markof donne ce nom au théorème de Bernoulli généralisé). Pour un nombre μ d'épreuves, il y a une probabilité supérieure à $1 - \eta$ que l'on a

$$-\epsilon < \frac{m}{\mu} - \frac{p_1 + p_2 + \dots + p_\mu}{\mu} < \epsilon$$

si $\mu \epsilon^2 \eta > 1$; m est le nombre d'arrivée des événements X_1, X_2, \dots, X_μ de probabilité p_1, p_2, \dots, p_μ . Quand ces probabilités sont égales, on a le théorème ordinaire de Bernoulli. — Exemple numérique. — Introduction de l'intégrale de Laplace dans l'estimation des probabilités. — Limite de

$$[(SX - Sa) : \sqrt{2Sc}]^m,$$

c_1, c_2, \dots, c_μ étant les valeurs moyennes des $(X - a)$. — Théorie du risque en général, du risque au jeu, des jeux équitables ou non.

Il y a lieu de faire maintes observations sur ce chapitre important.

Le début et la fin en sont presque trop élémentaires comparés au reste de l'ouvrage.

La partie centrale, c'est-à-dire tout ce qui dépend de l'inégalité de Tchebychev, est élémentaire aussi, en ce sens que les théorèmes sont démontrés au moyen de relations algébriques très simples. Mais leur portée est moindre, croyons-nous, que celle des théorèmes correspondants obtenus par Laplace, Poisson et leurs continuateurs au moyen du calcul intégral. Dans un exemple numérique relatif au théorème de Bernoulli, donné au § 15, on trouve que la probabilité de la double inégalité

— $0,02 < [(m : \mu) - 0,6] < 0,02$ est plus grande que $0,999$, si $\mu = 600\,000$, d'après les inégalités de Tchebychef; par la méthode de Laplace, il suffit que μ soit égal à 6520 , c'est-à-dire 92 fois plus petit.

Dans le § 16, l'auteur introduit l'intégrale de Laplace dans l'estimation des probabilités étudiées, en recourant à l'analyse infinitésimale. Or, après neuf pages de calcul, il fait remarquer (p. 76) que la démonstration ne permet nullement d'estimer le degré d'approximation des formules obtenues, ce qui est une lacune.

Les travaux de M. Ch. de la Vallée Poussin et les nôtres, publiés depuis longtemps déjà, donnent ce degré d'approximation tant pour le théorème de Bernoulli que pour la loi des grands nombres de Poisson. Comme ces recherches publiées en Belgique sont trop peu connues en dehors de notre pays, nous croyons devoir les signaler ici.

Nous avons publié dans les ANNALES DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES en 1902, une démonstration du théorème de Bernoulli, pour une valeur finie de μ . Nous avons enfermé la probabilité cherchée entre l'unité et l'intégrale de Laplace, diminuée d'une fraction dont l'expression est assez compliquée; nous avons, dans la suite, simplifié cette démonstration (ANNALES, etc., 1912, 1913). Dès 1907 (même recueil), M. de la Vallée Poussin, par deux méthodes différentes, a resserré la même probabilité entre des limites plus rapprochées et de forme plus élégante.

En 1910 (ANNALES; de plus, sans calcul dans le BULLETIN DE LA CLASSE DES SCIENCES DE L'ACADÉMIE DE BELGIQUE) nous avons montré que *la démonstration de la loi des grands nombres de Poisson, pour μ fini, peut se déduire de toute démonstration du théorème de Bernoulli*. Voici cette preuve en abrégé : Soit $(p+q)^\mu = Ep + M(p_1q) + Eq$, $M(p_1q)$ se composant des termes moyens du binôme qui donnent la probabilité considérée dans le théorème de Bernoulli. Ep les termes qui précèdent $M(p_1q)$ et dont le premier est p^μ , Eq les termes qui suivent $M(p_1q)$ et dont le dernier est q^μ ; Ep , Eq sont évidemment des fonctions croissantes avec p ou q . On suppose, dans la Loi des grands nombres, que p varie de p_1 à p_2 , q de q_1 à q_2 , p_1 étant supérieur à p_2 , q_2 à q_1 . Il est évident que la probabilité à calculer pour établir cette loi est supérieure à $1 - Ep_1 - Eq_2$ et, *a fortiori*, à $1 - Ep_1 - Eq_1 - Ep_2 - Eq_2$ ou $M(p_1, q_1) + M(p_2, q_2) - 1$. Or la seconde méthode de M. de la Vallée Poussin permet d'évaluer

$E p_1, E q_2$; la première et la nôtre, $M(p_1, q_1), M(p_2, q_2)$ avec une approximation déterminée pour une valeur donnée de μ . — S'il s'agissait de la loi des grands nombres comme théorème asymptotique, pour $\mu = \infty$, on peut, d'après ce qui précède, la déduire de la démonstration élémentaire que Jacques Bernoulli a donnée de son théorème, puisque, dans ce cas, pour $\mu = \infty$, $M(p_1, q_1), M(p_2, q_2)$ ont l'unité pour limite.

Dans le chapitre IV, intitulé : *Exemples des diverses méthodes du calcul des probabilités* (pp. 92-147), l'auteur donne la solution de huit problèmes classiques bien choisis, soit par la théorie des combinaisons, soit par le calcul des différences, avec des indications sur l'évaluation des fonctions de grands nombres au moyen de l'intégrale de Laplace; au fond, il revient aussi (pp. 135-144) sur le théorème de Bernoulli. 1^o-2^o Loterie de Gênes et généralisation. 3^o Cinq questions sur des tirages répétés d'une urne. 4^o-5^o Problème des partis dans le cas de deux ou de trois joueurs. 6^o-7^o Problème de la ruine du joueur avec des corrections importantes à la solution de Rouché et Bertrand. 8^o Jeu des trois dés généralisés.

Parfois les explications de M. Markof sont élémentaires, parfois elles supposent une connaissance étendue du calcul des différences. Il aurait fallu introduire, dans ce chapitre, ce nous semble, la solution de Pascal pour le problème des partis, sous forme de citation : elle est identique au fond à celle qui repose sur le calcul des différences, mais elle fait vraiment connaître l'esprit de la solution et est merveilleusement claire.

Le chapitre V traite *des probabilités-limites et des probabilités continues* (pp. 148-177). L'auteur définit avec précision, dans les cas qu'il considère, la probabilité-limite d'un événement limite d'autres événements, les probabilités continues dans un espace à une ou deux dimensions et l'espérance mathématique correspondante. Il applique ces notions à quelques problèmes traités avec grand soin : probabilité qu'une fraction soit irréductible; probabilité que trois droites, choisies arbitrairement, mais de deux manières différentes, puissent former un triangle; problème de l'aiguille dans un plan divisé en bandes égales ou en triangles égaux, problème du disque dans le premier cas; probabilité qu'une somme de vecteurs soit comprise entre des limites données.

M. Markof fait très bien comprendre pourquoi les problèmes relatifs aux probabilités continues peuvent avoir plusieurs solutions distinctes : les hypothèses du point de départ sont diffé-

rentes dans les diverses manières de les traiter, comme il en donne un exemple à propos du triangle à former avec trois droites. Dans ce dernier problème, l'auteur introduit des expressions approchées en faisant remarquer, avec sa conscience habituelle, qu'il ne donne pas les limites de l'approximation.

Le chapitre VI est consacré à la *probabilité des causes et des événements déduite des événements observés* (pp. 178-200). Il contient toutes les questions générales classiques relatives à ce sujet. Dans le cas d'un nombre illimité de causes, l'ouvrage ne contient pas les formules approchées de Poisson, ni nos formules plus précises mais moins élégantes sur la question (BULLETIN DE LA CLASSE DES SCIENCES DE L'ACADÉMIE DE BELGIQUE, 1904, 1907). L'auteur a soin de faire remarquer (p. 193) la faible portée objective de toute cette théorie et il en donne les raisons. Nous ne croyons pas que l'on puisse en conclure l'incertitude des bases théoriques de la statistique : on peut fonder celle-ci sur la loi des grands nombres de Poisson.

Dans le dernier paragraphe du chapitre, on trouve un exemple de calcul des probabilités des témoignages traité avec grand soin de manière à mettre en évidence toutes les hypothèses arbitraires sur lesquelles il repose. Selon nous, contrairement à l'avis de l'auteur, on ne peut rien en déduire sur l'incertitude de l'histoire : la probabilité des événements historiques repose sur le principe de l'accumulation des probabilités indépendantes de Newman, trop ignoré des mathématiciens. Les actes importants de la vie de l'humanité à une époque donnée ont sur toutes les époques ultérieures, un retentissement qui se prolonge parfois avec des conséquences toujours grandissantes jusqu'à l'époque contemporaine.

Dans le chapitre VII, l'auteur expose la *méthode des moindres carrés* (pp. 201-246), principalement d'après Gauss dans ses derniers mémoires sur la question et non d'après la *Theoria motus* ; il se rapproche encore plus que Gauss d'une méthode purement algébrique. Il indique avec grand soin les hypothèses admises comme point de départ, en disant quand il le faut, que ces hypothèses ne sont pas toujours réalisées en pratique et que plusieurs sont introduites uniquement pour rendre les calculs plus faciles. Il fait remarquer que la loi exponentielle des erreurs peut se justifier plus ou moins par l'hypothèse de Hagen, ou, dans certains cas, par les observations ; mais au fond, elle ne sert guère qu'à définir l'erreur probable. Comme Gauss, après qu'il eut abandonné la théorie des erreurs exposée

dans la *Theoria motus*, M. Markof n'attache aucune importance à cette notion d'erreur probable : la connaissance de la précision des observations se déduit aussi clairement de celle de l'erreur quadratique moyenne, qui vaut une fois et demie l'erreur probable, dans l'hypothèse de la loi exponentielle des erreurs.

La subdivision de ce chapitre VII est la suivante : Diverses sortes d'erreurs, définitions et hypothèses ; cas d'une inconnue ; cas de plusieurs inconnues ; cas où il existe des relations exactes entre les inconnues ; exemple du calcul des angles d'un triangle, les trois angles ayant été mesurés plusieurs fois. Quelques autres exemples quand il y a une seule inconnue ou plusieurs inconnues indépendantes auraient été les bienvenus. Ça et là, au point de vue algébrique, l'exposition pourrait être simplifiée.

Le huitième et dernier chapitre, *les assurances sur la vie* (pp. 247-258), donne la solution de neuf problèmes fondamentaux sur la matière ; quand il y a deux assurés, l'auteur suppose qu'ils ressortissent de tables différentes de mortalité.

Les trois appendices de l'édition allemande (pp. 259-311) et le Supplément de la troisième édition russe traitent, sous des titres divers, de questions d'analyse ou, si l'on veut, de calcul des probabilités. Par des calculs très complexes, l'auteur prouve que certaines sommes peuvent s'exprimer par l'intégrale de Laplace $\frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$.

Une table des valeurs de cette intégrale, refaite par l'auteur avec grand soin, de $x = 0$, à $x = 2,5$, de millième en millième, avec six décimales ; de $x = 2,5$ à $x = 3,79$, de centième en centième, avec 7 décimales, termine l'ouvrage (pp. 312-317), avec un court index des définitions et des théorèmes (p. 318).

L'ouvrage de M. Markof, au point de vue de la rigueur, est évidemment supérieur aux plus célèbres, je veux dire à ceux de Bertrand et de Poincaré, où les hypothèses fondamentales, les théorèmes et leurs démonstrations ne sont pas exposés avec une précision suffisante.

Au point de vue didactique, le traité du savant russe est un peu inégal : parfois les raisonnements même élémentaires sont exposés tout au long, parfois des déductions difficiles ne sont qu'esquissées. Mais c'est là un petit défaut en comparaison du grand mérite de l'ouvrage : il fait réfléchir sur l'enchaînement des définitions, des principes et des conclusions que l'on en tire ; il permet à ceux qui l'étudient avec soin d'avoir des idées justes sur la portée objective du calcul des probabilités.

PAUL MANSION

II

LEONHARDI EULERI OPERA OMNIA SUB AUSPICIIS SOCIETATIS SCIENTIARUM NATURALIUM HELVETICAE edenda curaverunt FERDINAND RUDIO, ADOLF KRAZER, PAUL STAECKEL.

Séries 1, *Opera Mathematica*. Volumen XII. — LEONHARDI EULERI INSTITUTIONES CALCULI INTEGRALIS ediderunt FRIEDRICH ENGEL et LUDWIG SCHLESINGER. Volumen secundum. Adiectae sunt LAURENTII MASCHERONII ADNOTATIONES AD CALCULUM INTEGRALEM EULERI. Lipsiae et Berolini, in aedibus B. G. Teubneri. MCMXIV. Un vol. in-4° de xvi et 542 pages.

Séries 1, *Opera Mathematica*. Volumen XXI. — LEONHARDI EULERI COMMENTATIONES ANALYTICAE AD THEORIAM INTEGRALIUM ELLIPTICORUM PERTINENTES edidit ADOLF KRAZER. Volumen posterius. MCMXIII. Un vol. in-4° de xii et 380 pages.

Il y a un an, dans la livraison du mois d'octobre, j'ai rendu compte ici des premiers volumes de ces deux ouvrages ; il m'est donc permis d'entrer en matière sans préambules, notamment sans m'étendre en généralités sur le grand *Traité de Calcul Différentiel et Intégral* d'Euler.

Le second volume du *Calcul Intégral* est réédité d'après les *Institutionum Calculi Integralis Volumen secundum, in quo methodus inveniendi functiones unius variabilis, ex data relatione differentialium secundi altiorisque gradus, pertractatur*. Auctore Leonhardo Eulero, Acad. Scient. Borussiae directore vicenniali et socio Acad. Petrop. Parisin. et Londin. Petropoli, Impensis Academiae Imperialis Scientiarum, 1769. La première édition du tome II forme un fort volume in-4°, de (4), 526 et (8) pages, dont je connais un exemplaire à la Bibliothèque de l'Observatoire Royal de Belgique. Il eut une première réédition à Saint-Pétersbourg, en 1792, une autre, dans la même ville, en 1827, et une traduction allemande, par Joseph Salomon, publiée à Vienne, en 1829 ; mais il n'a jamais eu d'édition française.

La première partie du livre I du *Calcul Intégral* fait, on se le rappelle, l'objet du tome I. Elle est intitulée : *Méthode pour rechercher les fonctions d'une variable, connaissant une relation quelconque des différentielles du premier degré* ; le volume actuel est consacré à la seconde partie du même livre.

LIVRE I, SECONDE PARTIE, ou *Méthode pour trouver les fonctions d'une variable, connaissant une relation du second degré, ou d'un degré supérieur, entre les différentielles.*

SECTION I. — Résolution des équations différentielles du second degré, qui ne renferment que deux variables. — *Ch. 1.* Intégration des formules différentielles simples du second degré. — *Ch. 2.* Des équations différentio-différentielles (differentio-differentialibus) dans lesquelles une des variables fait défaut. — *Ch. 3.* Des équations différentio-différentielles homogènes, et de celles qui peuvent être ramenées à cette forme. — *Ch. 4.* Des équations différentio-différentielles, dans lesquelles une des variables n'a qu'une seule dimension. — *Ch. 5.* De l'intégration des équations différentielles du second degré, dans lesquelles une des variables ne dépasse pas le premier degré, par facteurs. — *Ch. 6.* De l'intégration des autres équations différentio-différentielles, à effectuer par des multiplicateurs convenables. — *Ch. 7.* De la résolution de l'équation $ddy + ax^nydx^2 = 0$, par des séries infinies. — *Ch. 8.* Autres équations différentio-différentielles, résolues par séries infinies. — *Ch. 9.* De la transformation des équations différentio-différentielles de la forme

$$Lddy + Mxdy + Nydx^2 = 0.$$

Ch. 10. De la construction des équations différentio-différentielles, par les quadratures des courbes. — *Ch. 11.* De la construction des équations différentio-différentielles, par leur réduction en séries infinies. — *Ch. 12.* De l'intégration des équations différentio-différentielles, par approximations.

SECTION II. — De la résolution des équations différentielles du troisième degré et de degrés supérieurs, qui ne renferment que deux variables. — *Ch. 1.* De l'intégration des formules différentielles simples du troisième degré ou d'un degré supérieur. — *Ch. 2.* De la résolution des équations de la forme

$$Ay + \frac{Bdy}{dx} + \frac{Cddy}{dx^2} + \frac{Dd^3y}{dx^3} + \frac{Ed^4y}{dx^4} + \text{etc.} = 0,$$

en regardant l'élément dx comme constant.

Ch. 3. De l'intégration des équations différentielles de la forme

$$X = Ay + \frac{Bdy}{dx} + \frac{Cddy}{dx^2} + \frac{Dd^3y}{dx^3} + \frac{Ed^4y}{dx^4} + \text{etc.}$$

Ch. 4. Application de la méthode de l'intégration donnée au chapitre précédent, à des exemples. — *Ch.* 5. Intégration des équations différentielles de la forme

$$X = Ay + \frac{Bx^2dy}{dx} + \frac{Cx^2ddy}{dx^2} + \frac{Dx^3d^3y}{dx^3} + \frac{Ex^4d^4y}{dx^4} + \text{etc.}$$

Le *Traité de Calcul différentiel et intégral* d'Euler comprend, je le rappelle, cinq forts volumes in-4°; un pour le *Calcul Différentiel*, et quatre pour le *Calcul Intégral*. Ils parurent respectivement, en 1755, 1768, 1769, 1770 et 1794; ce dernier après la mort de l'auteur. De ces cinq volumes, celui qui est consacré au *Calcul Différentiel* et les deux premiers volumes du *Calcul Intégral*, sont aujourd'hui réédités dans les *Œuvres complètes* d'Euler. Il faut bien l'avouer, cependant, ce n'est pas tout que de posséder cette réédition! Pour le mathématicien que rebutent souvent les longues recherches bibliographiques, l'immensité de l'œuvre d'Euler la rend pénible à consulter. Que de temps parfois on consume inutilement avant de réussir à mettre la main sur le volume qui contient le mémoire ou le chapitre cherché!

Voilà pourquoi, relativement au tome II du *Calcul Intégral* d'Euler, je signalerai tout d'abord la *Verzeichniss der Schriften Leonhard Eulers*, par M. Eneström (JAHRESBERICHT DER DEUTSCHEN MATHEMATIKER VEREINIGUNG, Der ergänzungsbände IV. Band, Leipzig, Teubner, 1910 et 1913). Pour s'orienter dans l'œuvre d'Euler il faut toujours commencer par consulter cette bibliographie du savant suédois. Le lecteur y trouvera (p. 98) le texte original latin des titres des chapitres, dont j'ai donné ci-dessus la traduction; renseignement parfois précieux pour pouvoir contrôler les citations.

Après la *Verzeichniss* d'Eneström, vient le tome IV des *Vorlesungen über Geschichte der Mathematik*, de M. Maurice Cantor (Leipzig, Teubner, 1908). M. Cantor y donne lui-même une courte, mais bonne analyse des *Institutiones* d'Euler (pp. 1091 et 1092). En outre, dans la XXVI^e section du même ouvrage, M. Vivanti étudie, à plusieurs reprises, d'une manière plus approfondie, les parties principales des *Institutiones* (pp. 639-869).

En appendice au tome III du *Calcul Intégral* d'Euler, les éditeurs nous donnent deux ouvrages de Laurent Mascheroni :

Adnotationes ad Calculum Integrale Euleri in quibus non-

nulla problemata ab Eulero proposita resolvuntur, Auctore Laurentio Mascheronio, in R. archigymnasio Ticinensi mathem. prof. Acad. Patavinae ac R. Mantuanae socio. Ticini. Ex typographia Petri Galeatii, praesid. rei litter. permittente. Anno MDCCXC. Ce volume renferme six notes, dont plusieurs ont l'étendue de véritables mémoires.

Adnotationum ad Calculum Integralelem Eulevi, in quibus nonnullae formulae ab Eulero propositae plenius evolvuntur, pars altera. Auctore Laurentio Mascheronio in R. archigymnasio Ticinensi mathem. prof. Acad. Patavinae, R. Mantuanae atque Italicae socio. Ticini, MDCCXCII. Ex typographia haeredum Petri Galeatii, praesid. rei litter. permitt. Ce volume renferme deux notes, ou plus exactement, deux mémoires.

Les deux titres des *Adnotationes* de Mascheroni, comme d'ailleurs celui du *Calcul Intégral* d'Euler transcrit ci-dessus, sont reproduits par le procédé anastatique.

Laurent Mascheroni naquit à Castagnena, près de Bergame, le 15 mars 1750, et mourut à Paris, le 14 juin 1800. Il est surtout connu comme mathématicien, mais il fut aussi poète et philologue. Ses premières études furent même purement littéraires et il avait vingt-sept ans quand il sentit naître en lui le goût des mathématiques. Son œuvre scientifique est considérable; mais, parmi tous ses ouvrages *La geometria del compasso* (Pavie, 1797) contribua le plus à sa réputation. *La Géométrie du compas* traduite en français par Carette, officier du génie, eut deux éditions à Paris, l'une en 1798, l'autre en 1828.

Rééditer les *Adnotationes* de Mascheroni en appendice au tome II du *Calcul Intégral*, voilà sans doute une idée heureuse; mais, pour beaucoup de lecteurs, une note qui en eût donné les raisons n'eût-elle pas été de mise, soit dans la préface, soit au bas des pages? Tout au moins, n'aurait-il pas convenu de donner une indication bibliographique renvoyant à quelque travail sur le sujet? A la fin de sa vie Euler avait perdu la vue, tous les mathématiciens le savent. Ils ignorent souvent comment l'illustre aveugle composait ses mémoires et la part considérable qu'amis et élèves prenaient parfois à leur rédaction. Cette part variait, allant de la simple écriture sous la dictée, jusqu'à une contribution personnelle suffisante pour permettre aux collaborateurs de signer de leur nom le développement qu'ils avaient donné aux idées du maître. Ce fut souvent le cas d'un des fils d'Euler, Jean-Albert, dont M. Eneström met avec raison une catégorie d'ouvrages à la fin de la bibliographie des

œuvres de Léonard (pp. 218-222) en vue de leur réédition dans les *Opera omnia*.

Pour quelles raisons précises Mascheroni est-il réédité ici ? Encore une fois l'idée est heureuse et il ne s'agit pas de la critiquer. Mais il eût d'autant mieux valu la justifier, qu'on donne parfois une importance trop grande à Mascheroni dans l'histoire de la seconde édition des *Institutiones Calculi Differentialis* d'Euler. Qu'on se rappelle, pour s'en convaincre, les notes sur ce sujet, publiées par MM. Eneström et Vivanti, dans la BIBLIOTHECA MATHEMATICA (3^e sér., t. IX, Leipzig, Teubner, 1908-1909, pp. 175, 176 et 266).

Les *Adnotationes* de Mascheroni ont été analysées par M. Vivanti, au tome IV des *Vorlesungen über Geschichte der Mathematik* de M. Maurice Cantor, cité ci-dessus (pp. 731 et 735). Cinq savants moins connus que Mascheroni ont collaboré aux *Adnotationes* ; ce sont : G. Fontana, G. Gratognini, L. Lotteri, F. Paoli, F. Speroni. M. Schlesinger, qui en fait la remarque dans son avant-propos, se contente de nous dire qu'ils étaient tous admirateurs et lecteurs assidus d'Euler. Ils formaient avec Mascheroni un groupe de géomètres dont ce dernier était le centre et l'âme. Tous s'étaient donné pour but de propager le plus possible les idées d'Euler. M. Schlesinger ne nous en apprend pas davantage.

En rendant compte de certains volumes des *Opera omnia* d'Euler, il importe tout spécialement de mettre le lecteur à même d'identifier aisément les mémoires que ces volumes contiennent, sans l'obliger d'avoir le volume lui-même entre les mains. C'est le cas pour le tome II des *Commentationes analyticae ad theoriam integralium ellipticorum pertinentes*. Pour atteindre ce but, je suivrai la même méthode qu'en rendant compte du tome I ; c'est-à-dire, qu'outre la traduction française du titre de chaque mémoire, j'en donnerai le texte original latin ; j'y ajouterai la référence exacte du recueil où le mémoire fut publié pour la première fois et son numéro d'ordre dans la *Verzeichnis der Schriften Leonhard Eulers* de M. Eneström.

N^o 506. Éclaircissements sur une méthode très élégante employée par l'illustre de la Grange pour intégrer l'équation différentielle $\frac{dx}{\sqrt{X}} = \frac{dy}{\sqrt{Y}}$. (Dilucidationes super methodo elegantissima, qua illustris de la Grange usus est in integranda aequa-

tionne differentiali $\frac{dx}{\sqrt{X}} = \frac{dy}{\sqrt{Y}}$. ACTA ACADEMIAE SCIENTIARUM PETROPOLITANAE, 1778 : I (1780), pp. 20-57.

N° 581. Éclaircissement ultérieur relatif à la comparaison des quantités contenues dans la formule intégrale

$$\int \frac{Zdz}{\sqrt{(1 + mzz + nz^4)}}$$

où Z représente une fonction rationnelle quelconque de zz . (Plenior explicatio circa comparationem quantitatum in formula integrali

$$\int \frac{Zdz}{\sqrt{(1 + mzz + nz^4)}}$$

contentarum, denotante Z functionem quaecumque rationalem ipsius zz). ACTA PETR., 1781 : II, (1785), pp. 3-22.

N° 582. Développement complémentaire de la comparaison qu'il est possible de faire entre les arcs des sections coniques. (Uterior evolutio comparationis, quam inter arcus sectionum conicarum instituire licet). ACTA PETR., 1781 : II (1785), pp. 23-44.

N° 590. Quelques théorèmes analytiques, dont la démonstration n'est pas encore trouvée. (Theoremata quaedam analytica, quorum demonstratio adhuc desideratur). OPUSCULA ANALYTICA, 2, 1785, pp. 76-90.

N° 605. Des propriétés remarquables de la courbe élastique représentée par l'équation

$$y = \int \frac{x \cdot x dx}{\sqrt{(1 - x^4)}}$$

(De miris proprietatibus curvae elasticae sub aequatione

$$y = \int \frac{x \cdot x dx}{\sqrt{(1 - x^4)}}$$

contentae). ACTA PETR., 1782 : II (1786), pp. 34-61.

N° 624. De la surface du cône scalène, où on discute principalement les immenses difficultés qui se rencontrent dans cette recherche. (De superficie conii scaleni, ubi imprimis ingentes difficultates, quae in hac investigatione occurrunt, perpendun-

tur). NOVA ACTA ACADEMIAE SCIENTIARUM PETROPOLITANAE, 3, (1785), 1788, pp. 69-89.

N° 633. Sur la recherche de deux courbes algébriques, dont les arcs seraient indéfiniment égaux entre eux. (De binis curvis algebraicis inveniendis quarum arcus indefinite inter se sint aequales). NOVA ACTA PETR., 4 (1786), 1789, pp. 96-103.

N° 638. Sur d'innombrables courbes algébriques, dont la longueur peut se mesurer par des arcs paraboliques. (De innumeris curvis algebraicis, quarum longitudinem per arcus parabolicos metiri licet). NOVA ACTA PETR., 5 (1787), 1789, pp. 59-70.

N° 639. Sur d'innombrables courbes algébriques, dont la longueur peut se mesurer par des arcs elliptiques. (De innumeris curvis algebraicis, quarum longitudinem per arcus ellipticos metiri licet). NOVA ACTA PETR., 5 (1787), 1789, pp. 71-85.

N° 645. Des courbes algébriques, dont la longueur s'exprime par cette formule d'intégration

$$\int \frac{v^{m-1} dv}{\sqrt{(1-v^2)^n}}$$

(De curvis algebraicis, quarum longitudo exprimitur hac formula integrali

$$\int \frac{v^{m-1} dv}{\sqrt{(1-v^2)^n}}).$$

NOVA ACTA PETR., 6 (1788), 1790, pp. 36-62.

N° 676. Méthode abrégée pour trouver la comparaison des quantités transcendentes contenues dans la forme

$$\int \frac{Pdz}{\sqrt{(A + 2Bz + Cz^2 + 2Dz^3 + Ez^4)}}$$

(Methodus succinctior comparationes quantitatum transcendentium in forma

$$\int \frac{Pdz}{\sqrt{(A + 2Bz + Cz^2 + 2Dz^3 + Ez^4)}}$$

contentarum inveniendi). INSTITUTIONES CALCULI INTEGRALIS, 4, 1794, pp. 504-524.

N° 714. Exemples de quelques équations différentielles remarquables, qu'on peut intégrer algébriquement, quoiqu'on ne trouve aucun moyen de séparer les variables. (Exempla

quarumdam memorabilium aequationum differentialium, quas adeo algebraice integrare licet, etiamsi nulla via pateat variabiles a se invicem separandi). *NOV. ACTA PETR.*, 13 (1795/6), 1802, pp. 3-13.

N° 780. D'une infinité de courbes algébriques, dont une longueur indéfinie s'égale à un arc elliptique. (De infinitis curvis algebraicis, quarum longitudo indefinita arcui elliptico aequatur). *MÉMOIRES DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE SAINT-PÉTERSBOURG*, 11, 1830, pp. 95-99.

N° 781. D'une infinité de courbes algébriques, dont la longueur s'égale à un arc parabolique. (De infinitis curvis algebraicis, quarum longitudo arcui parabolico aequatur). *MÉM. DE L'AC. DE S.-PÉTERS.*, 11, 1830, pp. 100-101.

N° 782. De deux courbes algébriques, qui ont la même rectification. (De binis curvis algebraicis eadem rectificatione gaudentibus). *MÉM. DE L'AC. DE S.-PÉTERS.*, 11, 1830, pp. 102-113.

N° 783. Des courbes algébriques, dont tous les arcs peuvent se mesurer par des arcs circulaires. (De curvis algebraicis, quarum omnes arcus per arcus circulares metiri licet). *MÉM. DE L'AC. DE S.-PÉTERS.*, 11, 1830, pp. 114-124.

N° 817. Des lignes courbes, dont la rectification peut se mesurer par une quadrature donnée. (De lineis curvis, quarum rectificatio per datam quadraturam metiri licet). *OPERA POSTUMA*, 1, Petropoli, 1862, pp. 439-451.

N° 818. De la comparaison des arcs de courbes irrectifiables. (De comparatione arcuum curvarum irrectificabilium). *OP. POST.*, 1, Petrop., 1862, pp. 452-486.

N° 819. Fragment tiré des *Adversaria mathematica*, ou *Mélanges mathématiques*. (Fragmentum ex *Adversariis Mathematicis* depromptum). *OP. POST.*, 1, Petrop., 1862, pp. 497-502.

A propos de ces *Adversaria*, voici un passage assez curieux tiré de la préface que Nicolas Fuss, le jeune, mit en tête de son édition des *Opera postuma* d'Euler. « Outre les écrits posthumes rédigés par Euler lui-même, dit-il, écrits pour la plupart autographes, il existe trois volumes intitulés *Adversaria Mathematica*. Les collaborateurs et les disciples d'Euler avaient l'habitude de noter dans ces *Adversaria*, certaines thèses et certaines propositions, énoncées brièvement par le maître, qu'ils développaient ensuite eux-mêmes après coup. Quelques-unes de ces thèses, choisies parmi les plus importantes, ont été insérées à leur place dans les *Opera posthuma*. Quatre-vingt-dix d'entr'elles ont, de prime abord, été jugées dignes de l'impression.

Plus tard, le très illustre Tschebyschef, ayant de nouveau parcouru les dits volumes, nota encore six thèses qu'il jugea digne d'être ajoutées aux précédentes. On les trouve au tome I sous le n° XXIII, pp. 487-493. Dans ce même volume, on a encore emprunté aux *Adversaria* huit thèses de géométrie, quatre thèses sur des sujets d'analyse et deux qui se rapportent au calcul intégral. Ainsi le tome I contient, en tout, 110 thèses tirées des *Adversaria*. »

A ce passage de Fuss, M. Krazer ajoute que le tome I des *Adversaria* va de l'année 1766 jusqu'au milieu du mois d'avril 1775 ; le tome II, de cette dernière date jusqu'en juin 1779 ; enfin, le tome III, de juin 1779 jusqu'à la mort d'Euler, en 1783.

Le tome II des *Collectiones analyticae ad theoriam integrationum ellipticorum pertinentes*, se ferme sur trois fragments inédits tirés des *Adversaria* d'Euler, que M. Krazer publie maintenant pour la première fois. Le manuscrit des *Adversaria* se conserve aujourd'hui, ou le sait, à la Bibliothèque de l'Académie Impériale des Sciences de Saint-Petersbourg.

II. B.

III

ÉTUDES SUR LÉONARD DE VINCI, par PIERRE DUHEM, correspondant de l'Institut de France, professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux. Troisième série. Les précurseurs parisiens de Galilée. — Paris, A. Hermann et fils, 1913. Un vol. in-8° de xiv-605 pages (1).

Voilà bien l'un des sujets les plus neufs qui se puissent imaginer. L'auteur l'a traité avec une incomparable maîtrise. A peine mérite-t-il une critique unique ; encore est-elle légère. Ce que je reprocherais à M. Duhem, c'est le choix du titre, ou plus exactement, celui de la première partie du titre. Pourquoi y avoir mis par dessus tout en évidence les mots : *Études sur Léonard de Vinci* ? Ce volume en formerait sensément la 3^e série. La première (Paris, Hermann, 1904) avait vraiment Léonard pour objet. Dans la 2^e (Paris, Hermann, 1906), le Vinci

(1) Ces études parurent d'abord dans le BULLETIN ITALIEN et dans le BULLETIN HISPANIQUE.

occupait encore le centre de l'ouvrage, consacré qu'il était tout entier « à ceux qu'il a lus et à ceux qui l'ont lu ». Mais dans la 3^e série, Léonard de Vinci disparaît à peu près, ou du moins, passe tout à fait au second plan. *A. M. G. Mechanicæ nostræ Scientiæ veræ genitricis, Facultatis Artium quæ in Universitate Parisiensi sæculo XIV florebat*. A la plus grande gloire de la vraie mère de notre Science de la Mécanique, dit M. Duhem, dans la page dédicatoire ; à la Faculté des Arts qui florissait à l'Université de Paris au xiv^e siècle ! L'histoire de la Dynamique au xiv^e siècle, principalement à l'Université de Paris : tel est le titre qu'eût dû porter le volume de M. Duhem. Cette critique n'enlève rien à la valeur du travail de notre éminent collègue ; et cependant j'y insiste. Parler simplement d'*Études sur Léonard de Vinci*, ou même des *Précurseurs parisiens de Galilée*, c'est vraiment par trop mal avertir le lecteur de tout ce qu'il trouvera dans les nouvelles études du professeur de Bordeaux.

« Jusqu'en ces dernières années la science du Moyen Age était tenue pour inexistante », dit M. Duhem. Ce n'est que trop vrai. J'ai souvenir, il y a beau temps de cela — c'était alors qu'étudiait en philosophie et en théologie, occupé de recherches fort éloignées de la Mécanique, j'avais entre les mains quelques-uns des antiques volumes dont nous entretenait M. Duhem — j'ai souvenir que pour nous reposer de la Métaphysique des maîtres du Moyen Age, disons le mot, pour rire par distraction pendant un instant, mes camarades et moi nous lisions à haute voix une page de la « Physique » de ces vieux Scolastiques. Pour rire ! C'était bien cela ; et tout le monde pensait alors comme nous. A la réflexion nous étions depuis longtemps revendus de ces accès de gaieté. Le livre de M. Duhem m'a appris combien de préjugés il me restait, néanmoins, encore à rectifier.

Ce souvenir serait-il cause d'un certain embarras que j'éprouve aujourd'hui pour écrire ce compte rendu ? Il m'en faut sortir cependant, et je n'en vois qu'un moyen : faire table rase de mes idées anciennes et parler au lecteur comme s'il ignorait tout des maîtres parisiens du xiv^e siècle. M. Duhem me facilite la tâche. Dans la préface il esquisse lui-même à grands traits le tableau de leur enseignement de la Dynamique. J'y ferai de larges emprunts, bien assuré que je suis de ne pas déplaire au lecteur en passant plusieurs fois la plume à M. Duhem.

« La science mécanique imaginée par Galilée, par ses émules, par ses disciples, les Baliani, les Torricelli, les Descartes, les

Beeckmann, les Gassendi, n'est pas une création ; l'intelligence moderne ne l'a pas produite de prime saut et de toutes pièces dès que la lecture d'Archimède lui eut révélé l'art d'appliquer la géométrie aux effets naturels. L'habileté mathématique acquise dans le commerce des géomètres de l'antiquité, Galilée et ses contemporains en ont usé pour préciser et développer une Science mécanique dont le Moyen Age chrétien avait posé les principes et formulé les propositions les plus essentielles. Cette Mécanique, les physiciens qui enseignaient au xiv^e siècle à l'Université de Paris l'avaient conçue en prenant l'observation pour guide ; ils l'avaient substituée à la Dynamique d'Aristote convaincue d'impuissance à sauver les phénomènes. Au temps de la Renaissance l'archaïsme superstitieux où se complaisaient également le bel esprit des Humanistes et la routine averroïste d'une Scolastique rétrograde, repoussa cette doctrine des « modernes ». La réaction fut puissante, particulièrement en Italie, contre la Dynamique des Parisiens, en faveur de l'indémissable Dynamique du Stagirite. Mais, en dépit de cette résistance têtue, la tradition parisienne trouva, hors des écoles aussi bien que dans les Universités, des maîtres et des savants pour la maintenir et la développer. C'est de cette tradition parisienne que Galilée et ses émules furent les héritiers. Lorsque nous voyons la science d'un Galilée triompher du péripatétisme buté d'un Cremonini, nous croyons, mal informés de l'histoire de la pensée humaine, que nous assistons à la victoire de la jeune Science moderne sur la Philosophie médiévale, obstinée dans son psittacisme ; en vérité nous contemplons le triomphe, longuement préparé, de la science qui est née à Paris au xiv^e siècle, sur les doctrines d'Aristote et d'Averroès, remises en honneur par la Renaissance italienne. »

Tout mouvement exige un moteur ; il faut l'accorder. Mais Aristote va beaucoup plus loin. D'après lui, nul mouvement ne peut durer s'il n'est entretenu par l'action continue d'une force motrice directement et immédiatement appliquée au mobile. Soit une flèche, par exemple, qui continue de voler après avoir quitté l'arc. Conformément à son principe, le Stagirite veut qu'il existe une force extérieure et permanente qui la transporte. Cette force, il la trouve dans l'air ébranlé ; c'est l'air frappé par la main ou par la machine balistique, qui soutient et entretient le mouvement du projectile.

« Cette hypothèse, dit M. Duhem, qui nous semble pousser l'in vraisemblance jusqu'au ridicule, paraît avoir été admise

presque à l'unanimité par les physiciens de l'antiquité ; un seul d'entre eux s'est clairement prononcé contre elle, et celui-là que le temps place aux dernières années de la Philosophie grecque, se trouve, par sa foi chrétienne, presque séparé de cette Philosophie ; nous avons nommé Jean d'Alexandrie surnommé Philopon. Après avoir montré ce qu'a d'inadmissible la théorie péripatéticienne du mouvement des projectiles, Jean Philopon déclare que la flèche continue de se mouvoir sans qu'aucun moteur lui soit appliqué, parce que la corde de l'arc y a engendré une énergie qui joue le rôle de vertu motrice. »

Ni les derniers penseurs grecs, ni les Arabes, ni le Moyen Age chrétien ne prêtèrent attention à la doctrine de Jean Philopon.

« Saint Thomas d'Aquin ne la mentionne que pour mettre en garde contre elle ceux qu'elle pourrait séduire. Mais, à la suite de la condamnation portée, en 1277, par l'évêque de Paris, Étienne Tempier, contre une foule de thèses que soutenaient « *Aristote et ceux de sa suite* », voici qu'un grand mouvement se dessine qui va libérer la pensée chrétienne du joug du Péripatétisme et du Néoplatonisme, et produire ce que l'archaïsme de la Renaissance appelait la Science des « *Modernes* ».

» Guillaume d'Ockam attaque, avec sa vivacité coutumière, la théorie du mouvement des projectiles proposée par Aristote ; il se contente d'ailleurs de détruire sans rien édifier ; mais ses critiques remettent en honneur, auprès de certains disciples de Duns Scot, la doctrine de Jean Philopon ; l'énergie, la vertu motrice dont celui-ci avait parlé, reparait sous le nom d'*impetus*. Cette hypothèse de l'*impetus* imprimé dans le projectile par la main ou par la machine qui l'a lancé, un maître séculier de la Faculté des Arts de Paris, un physicien de génie s'en empare ; Jean Buridan la prend, vers le milieu du xiv^e siècle, pour fondement d'une Dynamique avec laquelle s'accordent tous les phénomènes.

» Le rôle que l'*impetus* joue, en cette mécanique de Buridan, c'est très exactement celui que Galilée attribue à l'*impeto* ou *momento*, Descartes à la *quantité de mouvement*, Leibniz enfin à la *force vive*. Si exacte est cette correspondance, que pour exposer, en ses *Leçons académiques*, la Dynamique de Galilée, Torricelli reprend souvent les raisonnements et presque les paroles de Buridan.

» Cet *impetus* qui demeurerait sans changement au sein du projectile, s'il n'était incessamment détruit par la résistance

du milieu et par l'action de la pesanteur contraire au mouvement, cet *impetus*, disons-nous, Buridan le prend, à vitesse égale, comme proportionnel à la « *quantité de matière première* » que le corps renferme. Cette quantité, il la conçoit et la décrit en des termes presque identiques à ceux dont use Newton pour définir la masse. A masse égale, l'*impetus* est d'autant plus grand que la vitesse est plus grande. Prudemment Buridan s'abstient de préciser davantage la relation qui existe entre la grandeur de l'*impetus* et celle de la vitesse ; plus osés Galilée et Descartes admettent que cette relation se réduit à la proportionnalité ; ils obtiendront ainsi de l'*impetus* de la quantité de mouvement une évaluation erronée que Leibniz devra rectifier.

» Comme la résistance du milieu, la gravité atténue sans cesse et finit par anéantir l'*impetus* d'un mobile que l'on a lancé vers le haut, parce qu'un tel mouvement est contraire à la tendance naturelle de cette gravité. Mais, dans un mobile qui tombe, le mouvement est conforme à la tendance de la gravité ; aussi l'*impetus* doit-il aller sans cesse en augmentant, et la vitesse, au cours du mouvement, doit croître constamment. Telle est, au gré de Buridan, l'explication de l'accélération que l'on observe en la chute d'un grave ; accélération que la science d'Aristote connaissait déjà, mais dont les commentateurs hellènes, arabes ou chrétiens du Stagirite avaient donné d'inacceptables raisons.

» Cette Dynamique exposée par Jean Buridan présente d'une manière purement qualitative, mais toujours exacte, les vérités que les notions de force vive et de travail nous permettent de formuler en langage quantitatif. »

Les disciples les plus brillants de Buridan, les Albert de Saxe et les Nicolas Oresme, adoptèrent la Dynamique de leur maître et la firent connaître.

« Lorsque aucun milieu résistant, lorsque aucune tendance naturelle analogue à la gravité ne s'oppose au mouvement, l'*impetus* garde une intensité invariable, le mobile auquel on a communiqué un mouvement de translation ou de rotation continue indéfiniment à se mouvoir avec une vitesse invariable. C'est sous cette forme que la loi d'inertie se présente à l'esprit de Buridan ; c'est sous cette forme qu'elle sera encore reçue de Galilée. »

De cette loi d'inertie, Buridan tire un corollaire alors bien neuf. Pour Aristote, si les orbes célestes se meuvent éternellement d'une manière constante, c'est que des moteurs intelli-

gents séparés de la matière continuent à les mouvoir. Les Scolastiques du XIII^e siècle n'hésitèrent pas à recevoir, en leurs systèmes chrétiens, cet héritage des théologies païennes. Or, voici que Buridan a l'audace d'écrire ces lignes :

« Dès la création du monde, Dieu a mis les cieux de mouvements identiques à ceux dont ils se meuvent actuellement ; il leur a imprimé alors des *impetus* par lesquels ils continuent à être mus uniformément ; ces *impetus*, en effet, ne rencontrant aucune résistance qui leur soit contraire, ne sont jamais ni détruits, ni affaiblis. Selon cette imagination, il n'est pas nécessaire de poser l'existence d'intelligences qui meuvent les corps célestes d'une manière appropriée. »

« Cette pensée, dit M. Duhem, Buridan l'énonce en diverses circonstances ; Albert de Saxe l'expose à son tour, et Nicolas Oresme, pour la formuler, trouve cette comparaison : « *Excepté la violence, c'est aucunement semblable quand un homme a fait une horloge, et le lesse aller estre meu par soy.* »

« Si l'on voulait, par une ligne précise, séparer le règne de la Science antique, du règne de la Science moderne, il la faudrait tracer, croyons-nous, à l'instant où Jean Buridan a conçu cette théorie, à l'instant où l'on a cessé de regarder les astres comme mus par des êtres divins, où l'on a admis que les mouvements célestes et les mouvements sublunaires dépendaient d'une même Mécanique. »

Durant tout le XIV^e siècle, il se trouva des physiciens pour soutenir qu'en supposant la terre mobile et le ciel des étoiles fixes immobile, on construirait un système astronomique plus satisfaisant que celui où la terre est supposée stable au centre du monde. Nicolas Oresme, notamment, en développe les raisons avec une clarté, une plénitude, une précision que n'atteindra pas Copernic.

« Pendant que l'on fonde la Dynamique, on découvre peu à peu les lois qui régissent la chute des corps. En 1368, Albert de Saxe propose ces deux hypothèses : la vitesse de la chute est proportionnelle au temps écoulé depuis le départ ; — la vitesse de la chute est proportionnelle au chemin parcouru. Entre ces deux lois il ne fait pas de choix. Le théologien Pierre Tatarct, qui enseigne à Paris vers la fin du XV^e siècle, reproduit textuellement ce qu'avait dit Albert de Saxe. Grand lecteur d'Albert de Saxe, Léonard de Vinci, après avoir admis la seconde de ces deux hypothèses, se rallie à la première ; mais il ne parvient pas à découvrir la loi des espaces parcourus par un grave qui

tombe. D'un raisonnement que Baliani reprendra, il conclut que les espaces parcourus en des laps de temps égaux et successifs sont comme la série des nombres entiers, tandis qu'ils sont en vérité comme la série des nombres impairs.

» On connaissait depuis longtemps, cependant, la règle qui permet d'évaluer l'espace parcouru, en un certain temps, par un mobile mù d'un mouvement uniformément varié ; que cette règle ait été découverte à Paris au temps de Jean Buridan, ou à Oxford au temps de Swineshead, elle se trouve clairement formulée dans l'ouvrage où Nicolas Oresme pose les principes essentiels de la géométrie analytique ; de plus, la détermination qui sert à l'y justifier est identique à celle que donnera Galilée.

» Du temps de Nicolas Oresme à celui de Léonard de Vinci, cette règle ne fut nullement oubliée. Formulée dans la plupart des traités produits par la Dialectique épineuse d'Oxford, elle se trouve discutée dans les nombreux commentaires dont ces traités ont été l'objet, au commencement du xv^e siècle, en Italie ; puis, dans les divers ouvrages de Physique composés au début du xvi^e siècle, par la Scolastique parisienne.

» Aucun des traités dont nous venons de parler n'a, cependant, l'idée d'appliquer cette règle à la chute des corps. Cette idée, nous la rencontrons, pour la première fois, dans les *Questions sur la Physique d'Aristote*, publiées, en 1545, par Dominique Soto. Élève des Scolastiques parisiens dont il a été l'hôte, et dont il adopte la plupart des théories physiques, le dominicain espagnol Soto admet que la chute des graves est uniformément accélérée ; que l'ascension verticale d'un projectile est uniformément retardée ; et, pour calculer le chemin parcouru en chacun de ces deux mouvements, il use correctement de la règle formulée par Oresme. C'est dire qu'il connaît les lois de la chute des corps dont on attribue la découverte à Galilée. Ces lois, il n'en revendique pas l'invention ; bien plutôt il semble les donner comme vérités communément reçues. »

Parmi ceux qui, avant Galilée, ont hérité de la tradition de la Scolastique parisienne, M. Duhem met en première ligne Léonard de Vinci. C'est sur cette considération que se clôt la Préface. Encore une fois, dans un sujet aussi nouveau, je me garderai d'ajouter ou de critiquer quoi que ce soit ; mais, pour donner aussi brièvement que possible une idée plus complète et plus précise de l'ouvrage entier, je transcris les titres des divers chapitres avec leurs subdivisions. Le numérotage des chapitres est la suite de celui des tomes I et II.

XIII. JEAN I BURIDAN (DE BÉTHUNE) ET LÉONARD DE VINCI. — 1. Une date relative à Maître Albert de Saxe. 2. Jean I Buridan (de Béthune). 3. Que la théorie du centre de gravité enseignée par Albert de Saxe, n'est aucunement empruntée à Jean Buridan. 4. La Dynamique de Jean Buridan. 5. Que la Dynamique de Léonard de Vinci procède par l'intermédiaire d'Albert de Saxe, de celle de Jean Buridan. En quel point elle s'en écarte et pourquoi. Les diverses explications de la chute accélérée des graves qui ont été proposées avant Léonard.

XIV. LA TRADITION DE BURIDAN ET LA SCIENCE ITALIENNE AU XVI^e SIÈCLE. — 1. La Dynamique des Italiens au temps de Léonard de Vinci. Averroïstes, Alexandrinistes et Humanistes. 2. L'esprit de la Scolastique parisienne au temps de Léonard de Vinci. 3. La Dynamique parisienne au temps de Léonard de Vinci. 4. La décadence de la Scolastique parisienne après la mort de Léonard de Vinci. Les attaques de l'Humanisme. Didier Érasme et Louis Vivès. 5. Comment, au XVI^e siècle, la Dynamique de Jean Buridan s'est répandue en Italie. 6. Des premiers progrès accomplis en la Dynamique parisienne par les Italiens. Giovanni Battista Benedetti. 7. Même sujet. Giordano Bruno.

XV. DOMINIQUE SOTO ET LA SCOLASTIQUE PARISIENNE. — 1. Avant-propos. 2. Vie de Dominique Soto, frère prêcheur. 3. Dominique Soto et le Nominalisme parisien. 4. L'Infini potentiel et l'Infini actuel. 5. L'Équilibre de la Terre et des Mers. 6. La Dynamique de Jean Buridan et la Dynamique de Soto. 7. Soto tente d'accorder les opinions d'Aristote et de saint Thomas avec l'hypothèse de l'*Impetus*. 8. Les origines de la Cinématique. Le traité *De proportionalitate motuum et magnitudinum*. 9. Même sujet. Thomas Bradwardine. Jean de Meurs. Jean Buridan. 10. Même sujet. Albert de Saxe. 11. Albert de Saxe et la loi suivant laquelle s'accélère la chute d'un grave. 12. *De intentione et remissione formarum*. 13. Nicolas Oresme. 14. La Dynamique d'Oresme et la Dynamique de Buridan. 15. Le centre de gravité de la Terre et le centre du Monde. 16. La pluralité des Mondes et le lien naturel selon Nicolas Oresme. 17. Nicolas Oresme, inventeur de la Géométrie analytique. 18. Comment Nicolas Oresme a établi la loi du mouvement uniformément varié. 19. L'influence de Nicolas Oresme à l'Université de Paris. Le traité *De latitudinibus formarum*. Albert de Saxe. Marsile d'Inghen. 20. L'École d'Oxford au milieu du XIV^e siècle. Guillaume Heytesbury. Jean de Dumbleton. Swineshead. Les Calculateurs. Le traité *De sex inconvenientibus*. Guillaume de Collingham. 21. L'Esprit de l'École

d'Oxford au milieu du xiv^e siècle. *a)* La Physique. 22. Même sujet. *b)* La Logique. 23. La loi du mouvement uniformément varié à l'École d'Oxford. *a)* Le *De primo motore* de Swineshead et les *Dubia Parisiensia*. *b)* La *Summa* de Jean de Dumbleton. *c)* Les *Regulae solvendi sophismata* et les *Probationes* de Guillaume Heytesbury. *d)* Le *Tractatus de sex inconvenientibus*. *e)* L'opuscule intitulé : *A est unum calidum*. *f)* Le *Liber calculationum* de Richardus de Ghlymi Eshedi. 24. Comment les doctrines de Nicolas Oresme se sont répandues en Italie. 25. Comment les doctrines de l'École d'Oxford se sont répandues en Italie. 26. Léonard de Vinci et les lois de la chute des graves. 27. L'étude de la latitude des formes à l'Université de Paris au début du xvi^e siècle. Jean Majoris. Jean Dullaert de Gand. 28. Même sujet. Alvarès Thomé de Lisbonne. 29. Même sujet. Le maître espagnol Jean de Celaya. Louis Coronel. 30. Dominique Soto et les lois de la chute des graves. 31. La tradition parisienne et Galilée.

H. BOSMANS, S. J.

IV

ENCYCLOPÉDIE DES SCIENCES MATHÉMATIQUES PURES ET APPLIQUÉES, publiée sous les auspices des Académies des Sciences de Göttingue, de Leipzig, de Munich, et de Vienne, avec la collaboration de nombreux savants. Édition française, rédigée et publiée d'après l'édition allemande sous la direction de JULES MOLK, professeur à l'Université de Nancy; et pour ce qui concerne la mécanique sous la direction scientifique de PAUL APPELL, professeur à l'Université de Paris. — Tome II. Cinquième volume. DÉVELOPPEMENTS EN SÉRIE. Fascicule 2. — Tome III. Deuxième volume. GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE. GÉOMÉTRIE ÉLÉMENTAIRE. Fascicule 1. — Tome IV. Cinquième volume. SYSTÈMES DÉFORMABLES. Fascicule 2. — Tome IV. Sixième volume. BALISTIQUE. HYDRAULIQUE. Fascicule 1. — Paris, Gauthier-Villars. Leipzig, Teubner, 1912-1914.

Depuis le compte rendu des derniers fascicules de l'*Encyclopédie*, donné ici par M. d'Ocagne, au mois de janvier 1914, les souscripteurs belges ont reçu quatre nouveaux fascicules de cette grande publication. La Rédaction de la REVUE se voyant dans l'impossibilité de s'adresser, comme d'habitude, à

M. d'Ocagne, j'ai accepté avec plaisir de présenter, pour cette fois, ces nouveaux fascicules au lecteur.

On peut faire à priori et de confiance, l'éloge de tout ce qui se publie dans l'*Encyclopédie*, et cet éloge a été répété à satiété; aussi, je m'abstiendrai de le recommencer ici une fois de plus.

TOME II. CINQUIÈME VOLUME. FASCICULE 2. — [II, 28.] FONCTIONS SPHÉRIQUES. Exposé d'après l'article allemand de A. Wangerin (Halle), par A. Lambert (Paris), avec une note de P. Appell (Paris) et A. Lambert (Paris). Ce sont des recherches de mécanique céleste qui ont introduit les fonctions sphériques dans l'analyse. Elles se présentèrent dès qu'on voulut développer en série l'inverse de la distance de deux points.

A. M. Legendre et P. S. Laplace sont les fondateurs de la théorie; c'est dans leurs mémoires sur l'attraction des sphéroïdes et sur la figure d'équilibre des planètes, que se trouvent exposées les principales propriétés des fonctions sphériques. Ces fonctions satisfaisant à l'équation de Laplace

$$\Delta V = 0$$

suggéraient des solutions d'équations voisines, et c'est ainsi qu'on les rencontre avec J. B. J. Fourier dans la théorie analytique de la chaleur, avec G. Lejeune-Dirichlet dans ses recherches d'hydrodynamique.

A. M. Legendre et P. S. Laplace avaient ouvert la voie à G. Lamé. Celui-ci créa les fonctions qui portent aujourd'hui son nom, en traitant pour l'ellipsoïde le problème de l'équilibre des températures que ses devanciers avaient traité pour la sphère. Les fonctions de Lamé comprenaient d'ailleurs les fonctions sphériques comme cas particuliers.

Les fonctions cylindriques qu'introduisit J. B. J. Fourier, puis F. W. Bessel dans un numéro sur les *perturbations planétaires*, sont des cas limites analogues.

L'article de l'*Encyclopédie* sur les fonctions sphériques est divisé en 70 numéros, et suivant l'usage constant de l'*Encyclopédie*, chacun de ces numéros a en vedette un titre qui en indique l'objet. Transcrire tous ces titres serait à la fois le moyen le plus sûr et même le plus bref de donner une analyse complète de l'article; mais cette simple transcription ne laisserait pas que de dépasser les bornes imposées à un compte rendu. Voici, du moins, les titres généraux des chapitres sous lesquels les 70 titres spéciaux ont été groupés.

I. Définition des fonctions sphériques. II. La fonction sphérique primitive X_n . III. Les fonctions sphériques fondamentales. IV. Les fonctions sphériques générales. V. Les fonctions sphériques de deuxième espèce. VI. Quelques extensions. VII. Fonctions cylindriques ou fonctions de Bessel. VIII. Fonctions des cylindres elliptiques et paraboliques.

Peut-être n'est-il pas inutile d'avertir le lecteur que les sept premières pages de l'article se trouvent dans le fascicule I.

[II, 28, a.] GÉNÉRALISATIONS DIVERSES DES FONCTIONS SPHÉRIQUES. Exposé par P. Appell (Paris), et A. Lambert (Paris). C'est la *note* dont il est question dans le titre de l'article précédent.

La théorie des fonctions sphériques a été généralisée à deux points de vue différents.

Certains auteurs ont étudié les fonctions d'une variable analogues aux polynômes X_n de Legendre, soit en considérant des polynômes définis par des dérivées d'ordre n , soit en formant des polynômes dont la fonction génératrice se rapproche de celle des polynômes X_n , soit en étudiant des fonctions définies par des équations différentielles linéaires du type hypergéométrique à une variable, du second ordre ou d'ordre supérieur, soit enfin en appliquant la théorie des fonctions orthogonales correspondant à une fonction génératrice donnée.

D'autres ont cherché à généraliser les polynômes X_n et les fonctions semblables d'une variable par des considérations analogues à celles qui permettent de passer des fonctions Θ d'une variable aux fonctions Θ de deux ou plusieurs variables, soit par la considération de potentiels dans l'hyperespace, soit par la voie des dérivées partielles, soit par celle des fonctions génératrices, soit par celle des fonctions hypergéométriques de deux variables, soit enfin par la théorie des fonctions orthogonales de plusieurs variables.

Cette note de M. Appell relativement assez étendue (elle ne comprend pas moins de 38 pages) est divisée en 6 numéros. 1. Fonctions d'une variable. 2. Fonctions de Laplace de n variables. Fonctions harmoniques générales. 3. Polynômes d'Hermite et analogues. 4. Séries hypergéométriques à deux variables et polynômes qui s'y rattachent. 5. Représentation des fonctions hypergéométriques par des intégrales définies. Généralisation du problème de Riemann pour la série de Gauss. 6. Fractions continues et quadratures mécaniques.

Il y a quelques fautes d'impression dans le numérotage des

subdivisions et quelques discordances entre les titres répétés au haut des pages et les matières qui y sont en réalité traitées. Ce n'est pas bien grave ; mais peut-être y aurait-il lieu de signaler la chose dans un errata.

TOME III. DEUXIÈME VOLUME. GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE. GÉOMÉTRIE ÉLÉMENTAIRE. FASCICULE I. — [III, 8.] GÉOMÉTRIE PROJECTIVE. Exposé d'après l'article allemand de A. Schoenflies (Francfort), par A. Tresse (Paris). — Sans doute, le point de vue historique n'a jamais été négligé par les rédacteurs de l'*Encyclopédie*, loin de là ; mais ils lui ont, comme c'est naturel, attaché une importance inégale. Dans les volumes consacrés aux mathématiques pures, l'enchaînement des théories et l'ordre logique des idées abstraites l'emportent presque toujours exclusivement. Cela doit être et on s'y attend ; aussi, l'article consacré à la *géométrie projective* ménage-t-il par moments des surprises ; car, cette fois, il n'en est plus tout à fait de même et l'ordre historique des découvertes y a souvent été suivi. Il faut dire que le sujet s'y prêtait.

Les auteurs commencent par un résumé de l'histoire des *projections centrales*. « C'est le développement des théories de la perspective, disent-ils, qui a donné naissance à la géométrie projective. Du jour où, en effet, J. H. Lambert et G. Monge, en créant la géométrie descriptive, eurent substitué des principes et des règles générales aux règles empiriques qui constituaient jusqu'alors l'art de la perspective, une étude particulière de leurs méthodes de projection s'imposait naturellement. Mais, en réalité, l'usage effectif de la projection centrale remonte beaucoup plus haut. »

M. Tresse, car ce passage est de lui, croit qu'on en trouve, peut-être, un premier exemple dans Pappus. « Plus tard, dit-il, G. Desargues introduisit dans l'art de la perspective une méthode rationnelle se rapprochant des procédés employés aujourd'hui dans la géométrie cotée ; malheureusement, ses idées méconnues de son temps restèrent sans influence ; le mérite de les avoir soustraites à l'oubli appartient en premier lieu à un contemporain de G. Desargues, le graveur et géomètre A. Bosse, qui en 1648 a répandu la *Perspective* de 1636 et en 1665 s'en est occupé à nouveau.

» A la même époque, Blaise Pascal démontrait son théorème sur l'hexagone en considérant une conique comme la projection d'un cercle.

» Un peu plus tard, Ph. de La Hire et J. F. Le Poivre étu-

diaient encore les propriétés projectives des coniques en se plaçant au point de vue d'Apollonius, consistant à regarder toute conique comme une section plane d'un cône à base circulaire.

» L'introduction de la notion de point à l'infini devait être d'une importance considérable dans les représentations projectives des figures. Déjà, vers 1600, Guidobaldo del Monte enseigne que, dans une projection centrale, des droites parallèles sont représentées par des droites concourantes en un même point (*point de fuite*) ; puis, quarante ans après seulement, G. Desargues considère des droites parallèles comme passant par un même point à l'infini ; beaucoup plus tard, enfin, au XVIII^e siècle, dans les travaux de B. Taylor et de J. H. Lambert, la ligne de fuite d'un plan apparaît comme étant le lieu de tous ses points de fuite. C'est à partir de cette époque que l'on rencontre divers essais d'application systématique de ce procédé, qui, dans le but de simplifier une démonstration, consiste à projeter une figure de façon que certains de ses éléments passent à l'infini ou affectent des dispositions spéciales. »

Toutes ces anciennes méthodes n'avaient à l'origine d'autre caractère que celui d'artifices ingénieux. C'est J. V. Poncelet qui devait parvenir à les coordonner et à leur imprimer l'allure générale des théories de la géométrie projective.

Poncelet, Chasles, von Staudt ; Poncelet et von Staudt surtout, tiennent une place hors de pair dans l'histoire de la géométrie projective. Poncelet avec son *Traité des propriétés projectives des figures* fut le créateur de cette branche de la géométrie. « Son but capital, en écrivant son *Traité*, était de ramener toute propriété concernant les coniques ou les quadriques à une proposition relative à la circonférence ou à la sphère, et cela à l'aide de projections convenables ou d'applications du principe de continuité. Mais le fait de chercher d'abord, pour y arriver, quelles sont, parmi les propriétés d'une figure géométrique, celles qui se conservent en projection, de se poser ainsi un problème d'une importance aujourd'hui fondamentale, donne à sa méthode une portée beaucoup plus profonde et lui attribue un rôle capital dans le développement des idées modernes.

» J. V. Poncelet constate, d'abord, que les propriétés, dites projectives, ne comprennent pas seulement des propriétés dites *de position* ou *descriptives*, mais encore des propriétés *métriques*.

» L'une de ces dernières qu'il met en évidence, possède un

grand caractère de généralité : c'est celle qui s'exprime par une relation ou un rapport entre un produit de deux segments linéaires, relation ou rapport formé de telle façon que ses deux termes comprennent chacun une même lettre le même nombre de fois, et que chaque segment appartenant à l'un de ces deux termes soit parallèle à un segment appartenant à l'autre. Cette propriété générale établit, en particulier, le caractère projectif, soit de la division harmonique et du rapport anharmonique, soit des équations de l'involution et de leurs applications au quadrilatère inscrit dans une conique, soit enfin des propositions de la théorie des transversales et de la théorie des pôles et polaires.

» Passant plus avant dans ses recherches, J. V. Poncelet introduit ensuite la notion de perspective entre deux plans ou deux espaces qui coïncident et des *figures homologiques* ; il y est conduit par l'étude des relations de similitude entre deux circonférences (ou deux sphères), pour lesquelles la droite de l'infini (ou le plan de l'infini) constitue un axe d'homologie (ou un plan d'homologie), le centre d'homologie étant un des centres de similitude des deux circonférences (ou des deux sphères). Il arrive ainsi à regarder deux coniques d'un même plan comme étant deux figures homologiques, l'axe d'homologie étant une de leurs sécantes communes et le centre d'homologie le point d'intersection de deux de leurs tangentes communes : c'est, en particulier, dans cette voie qu'il découvre que toutes les coniques ayant un foyer commun admettent deux tangentes communes imaginaires.

» Ces considérations étendues à l'espace donnent ce que J. V. Poncelet appelle *la perspective-relief* ; une quadrique quelconque peut alors être envisagée comme la perspective-relief, ou figure homologique, d'une sphère ; de là les propriétés des quadriques ayant une conique commune. Puis, remarquant que deux quadriques homologiques coupent le plan d'homologie suivant la même conique, J. V. Poncelet s'élève à la conception de *l'ombilicale* (cercle imaginaire de l'infini) ; il en déduit que deux quadriques semblables et semblablement placées peuvent toujours être considérées comme la perspective-relief de deux sphères, ainsi que d'autres propriétés projectives intéressantes. »

Ce passage sur l'œuvre de J. V. Poncelet est transcrit, ci-dessus, sans abréviations et au complet. Quant à la notice analogue que MM. Schoenflies et Tresse consacrent à l'œuvre

de von Staudt, son étendue ne me permet pas de la reproduire de même. En voici, cependant, un passage saillant. Il caractérise bien, en effet, le développement pris par la théorie de la géométrie projective depuis Poncelet jusqu'à von Staudt.

« K.-G.-Chr. von Staudt s'est proposé de développer toutes les théories de la géométrie projective sans recourir en rien aux notions métriques d'angles et de distances, ni par conséquent, à l'idée capitale de rapport anharmonique. Il a donné de ce problème une solution qui pouvait être regardée comme irréprochable à son époque, où les axiomes fondamentaux de la géométrie n'avaient pas encore été, comme aujourd'hui, soumis à une discussion approfondie, et qui, malgré quelques lacunes, n'en donne pas moins les points essentiels d'une solution rigoureuse. »

Parmi les noms des savants qui perfectionnèrent les méthodes de von Staudt, il nous plait de mettre en relief ceux de MM. Lepage et Deruyts. Voici maintenant, pour terminer l'examen de cet article de l'*Encyclopédie*, quel en est le plan.

I. *Aperçu historique*. 1. La projection centrale. 2. La théorie des transversales de Carnot. 3. Le principe de continuité.

II. *Méthodes et notions générales*. 4. Poncelet, créateur de la géométrie projective. (C'est le numéro, qu'à l'exception toutefois des notes bibliographiques, nous avons reproduit intégralement ci-dessus.) 5. Polaires réciproques et dualité. 6. La notion générale de correspondance. 7. Le rapport anharmonique. 8. Les figures fondamentales et leur transformation homographique. 9. Propriétés métriques de la correspondance homographique. 10. Les méthodes projectives de génération des figures. 11. Correspondances homographiques ou réciproques entre les éléments d'une même figure fondamentale.

III. *Cas remarquable des transformations homographiques corrélatives*. 12. Positions remarquables de deux figures homographiques. 13. Figures en involution. 14. Projectivités cycliques. 15. Homographies et corrélations évanouissantes. 16. Le problème de la projectivité.

IV. *Les principes fondamentaux*. 17. La géométrie projective établie avec Staudt sur des bases indépendantes de la géométrie métrique. 18. L'importance fondamentale des théorèmes de disposition. 19. Les éléments imaginaires. 20. Antiprojectivité ou symétralité. 21. Le calcul des jets. 22. Les diverses manières d'envisager les problèmes de la géométrie projective.

V. *Les transformations homographiques prises pour objet*

d'opération. 23. Le calcul des transformations homographiques. 24. Faisceaux et réseaux de correspondances homographiques ou corrélatives.

VI. *Les générations de correspondances projectives.* 25. L'homographie trilinéaire entre les figures de rang m . 26. Les correspondances quadratiques les plus simples.

TOME IV. CINQUIÈME VOLUME. FASCICULE 2. SYSTÈMES DÉFORMABLES. — Le premier fascicule du tome IV, cinquième volume, contenait deux articles : [IV, 16]. *Notions géométriques fondamentales.* Exposé, d'après l'article allemand de M. Abraham (Milan), par P. Langevin (Paris). [IV, 17.] *Hydrodynamique (Partie élémentaire).* Exposé, d'après l'article allemand de A. E. H. Love (Oxford), par P. Appell (Paris) et H. Beghin (Brest). La fin de ce dernier article, c'est-à-dire cinq pages, commence le fascicule 2, dont nous nous occupons ici. Tout le reste de ce fascicule est consacré à l'article suivant :

[IV, 18.] DÉVELOPPEMENTS CONCERNANT L'HYDRODYNAMIQUE. Exposé, d'après l'article allemand de A. E. H. Love (Oxford), par P. Appell (Paris), H. Beghin (Brest) et H. Villat (Montpellier).

1. Mouvement irrotationnel d'un liquide incompressible. *a)* Généralités sur la distribution des vitesses. *b)* Sources et doublets. *c)* Images. *d)* Mouvements à deux dimensions. *e)* Mouvements discontinus à deux dimensions (mouvements glissants). *f)* Mouvements à trois dimensions.

2. Mouvement de corps solides dans un liquide incompressible. *a)* Cinématique. *b)* Énergie cinématique. *c)* Symétrie hydrocinétique. *d)* Équations du mouvement. *e)* Mouvements acycliques. Sphères pulsantes. *f)* Mouvements cycliques.

3. Mouvements tourbillonnaires. *a)* Détermination des vitesses en fonction des tourbillons. *b)* Tourbillons circulaires. *c)* Champs plans de tourbillons. *d)* Vibration des tourbillons. *e)* Action mutuelle d'anneaux quelconques infiniment minces. *f)* Tourbillons de section finie.

4. Ellipsoïdes liquides soumis à leur propre gravité. *a)* Théorie générale. *b)* Étude particulière des figures d'équilibre relatif. Stabilité.

5. Mouvements ondulatoires des fluides incompressibles. *a)* Nature du mouvement ondulatoire d'un liquide pesant. *b)* Ondes longues. *c)* Ondes oscillatoires. *d)* Énergie d'un mouvement ondulatoire. Vitesse de groupes. *e)* Ondes stationnaires. *f)* Oscillations stationnaires dans des bassins. *g)* Détermination plus rigoureuse de mouvements ondulatoires. *h)* Onde solitaire.

i) Solutions rigoureuses des mouvements ondulatoires dans des bassins quelconques. *j)* Oscillation d'une sphère fluide.

6. Fluides visqueux. *a)* Transformation des équations du mouvement. *b)* Mouvements permanents. *c)* Mouvements variables et périodiques. *d)* Mouvements par lames. *e)* Mouvements turbulents. *f)* Instabilité du mouvement régulier par lames. *g)* L'hydrodynamique de P. Duhem.

Quand il s'agit de savants encore en vie, l'*Encyclopédie* est d'ordinaire fort sobre d'éloges. Je m'en voudrais donc de ne pas donner ici son appréciation de l'*Hydrodynamique* de P. Duhem. « Il est impossible, dit-elle, pour terminer cette étude de ne pas faire une place tout à fait à part aux travaux de P. Duhem sur l'hydrodynamique générale des fluides visqueux ou nou. Cet auteur, après avoir donné à la Mécanique rationnelle une forme nouvelle et beaucoup plus générale que celle considérée jusqu'alors, a procédé à une révision des principes de l'Hydrodynamique, ce qui l'a conduit à la construction de théories nouvelles des plus importantes. »

TOME IV. SIXIÈME VOLUME. FASCICULE 1. — BALISTIQUE. HYDRAULIQUE. — [IV, 21.] BALISTIQUE EXTÉRIEURE. Exposé d'après l'article allemand de C. Cranz (Charlottenbourg), par E. Vallier (Versailles).

Les circonstances appellent d'une manière toute spéciale l'attention sur ce fascicule, qui parut le 25 novembre 1913, moins d'un an avant la guerre. Pour le juger avec compétence il faudrait être artilleur ; aussi me garderai-je de formuler une appréciation quelconque. Autre chose est, cependant, de me contenter de dire que, même pour beaucoup de savants étrangers à l'artillerie, le travail de MM. Cranz et Vallier sera d'une lecture vraiment intéressante ; car, pour le comprendre, à l'exception parfois de quelques détails trop techniques, il suffit de ne pas être arrêté par des formules telles qu'on les rencontre couramment dans tous les traités relatifs à une partie quelconque de l'art de l'ingénieur.

La balistique est la science du mouvement des corps pesants lancés dans l'espace suivant une direction quelconque et plus particulièrement l'étude du mouvement des projectiles tirés des bouches à feu.

On distingue la *balistique intérieure* qui a pour objet l'étude du mouvement du projectile dans l'âme de la pièce, et la *balistique extérieure* qui traite du mouvement de ce projectile lorsque, sorti de la bouche à feu, il est soumis à l'action de la

pesanteur et de la résistance du milieu dans lequel il se meut. Cette dernière étude se complète par celle des effets des projectiles au but et de la répartition de leurs points de chute sur le terrain.

La balistique intérieure fait l'objet de l'article suivant et nous en parlerons tantôt ; mais, dans ce premier article, MM. Cranz et Vallier traitent exclusivement de la balistique extérieure. « Dans le présent article, disent-ils, on donnera un aperçu de l'état actuel de cette branche de la science, permettant de se rendre compte de l'importance des résultats obtenus et des questions qui restent encore à résoudre. » Voici le plan suivi par les auteurs.

I. *Introduction*. 1. Préliminaires. 2. Définitions et notations.

II. *De la résistance de l'air au mouvement des projectiles*. 3. Exposé théorique. 4. Formules empiriques de la résistance de l'air. 5. Expériences ayant servi à l'établissement des formules précédentes. 6. Variation de la résistance de l'air avec la forme de l'ogive et l'inclinaison de l'axe du projectile sur la tangente. Densité transversale ou poids par unité de la section droite.

III. *Problème essentiel de la balistique. Principales méthodes d'approximation employées pour le résoudre*. 7. Préliminaires. Mouvement dans le vide. 8. Exposé du problème et propriétés générales de la trajectoire. 9. Réduction du problème à des équations différentielles intégrables. 10. Solution approchée des équations différentielles fondamentales. 11. Méthodes graphiques. 12. Résolution exacte des équations différentielles approchées. 13. Méthode de Didion. 14. Formules semi-empiriques. 15. Méthode de Siacci. 16. Discussion des méthodes ci-dessus.

IV. *Déviations régulières des projectiles. Leurs causes*. 17. Exposé des causes. 18. Variation de la vitesse initiale. 19. Variation de l'angle de projection. 20. Variation du poids spécifique de l'air. 21. Influence du vent.

V. *Mouvements complémentaires*. 22. Influence de la rotation de la terre.

VI. *Mouvements secondaires des projectiles. Conséquences de leur rotation. Dérivation*. 23. Mouvements secondaires. 24. Dérivation des projectiles oblongs. 25. Étude analytique de la dérivation.

VII. *Dérivations accidentelles des projectiles*. 26. Dérivations

accidentelles. 27. Pénétration des projectiles dans un milieu résistant. 28. Effets contre les êtres animés. 29. Perforation.

VIII. *Tables de Tir*. 30. Généralités. 31. Différents genres de tir. 32. Tables de tir d'artillerie navale. 33. Tir courbe. 34. Trajectoire purement empirique.

IX. *Appareils et méthodes de mesure de la balistique extérieure*. 35. Mesure de l'angle de relèvement. 36. Mesure de la vitesse initiale par les appareils anciens et nouveaux. 37. Mesure d'autres grandeurs.

X. *Résumé et Conclusion*. 38. Sur la position actuelle du problème balistique.

[IV, 22.] BALISTIQUE INTÉRIEURE. Exposé, d'après l'article allemand de C. Cranz (Charlottenbourg), par C. Benoît (Paris). Pour lancer des projectiles on a utilisé autrefois, et on utilise encore aujourd'hui, des forces très diverses, nommons : 1, la force musculaire ; l'engin est une lance, une massue, une fronde, etc. ; 2, la force d'élasticité ; le projecteur est un arc, une arbalète, un baliste, une catapulte ; 3, la force élastique de l'air comprimé, comme dans le fusil à vent ; 4, les forces électriques ; 5, les forces chimiques. Dans cet article les auteurs se limitent à étudier ce dernier genre de force ; c'est-à-dire, l'énergie chimique que possèdent les matières explosives. Le problème est complexe.

» Une matière explosive, disent MM. Cranz et Benoît, éprouve par inflammation ou bien par choc et secousse une transformation chimique d'où résulte en peu de temps une grande quantité de produits gazeux à haute température. Si ces gaz sont enflammés dans un petit volume, ils exercent du fait de cette compression, joint au dégagement de chaleur qui se produit pendant la réaction chimique, une pression qui peut fournir du travail.

» Dans la technique de l'explosion, le travail fourni par la matière explosive consiste à vaincre les forces de cohésion ; c'est pourquoi il importe avant tout de produire de hautes tensions maxima des gaz, qui n'agissent qu'un temps très court. Ce but est atteint au moyen de matières explosives brisantes qui permettent, par exemple, de faire sauter des masses de pierre et, en même temps, de ne pas trop les fracasser, d'une part, et de ne pas les projeter trop loin d'autre part.

» Au contraire, dans la balistique du canon et du fusil que nous traitons seule ici, la pression du gaz doit être employée à donner au projectile à l'intérieur du canon et progressivement,

une force vive, surtout de translation, sans compromettre la résistance du canon et du projectile. Pour atteindre ce but, il faut évidemment faire usage de matières explosives qui se décomposent plus lentement et, par conséquent, produisent des effets moins brusques qu'on ne les envisage dans la technique des modes d'éclatement.

» On a reconnu que les meilleurs modes d'explosion ne sont pas les meilleurs modes de lancement des projectiles. La vitesse du projectile, qu'il y a intérêt à avoir, toutes choses égales d'ailleurs, aussi grande que possible à la sortie du canon, ne croît pas en général avec la force brisante d'une matière explosive. Le plus souvent même à la production de la plus petite tension maxima des gaz correspond la vitesse initiale maxima.

» Les gaz de la poudre doivent aussi, autant que possible, produire une pression uniforme sur le projectile. Or, si toutes les poudres étaient transformées en gaz avant le départ du projectile, la tension du gaz irait constamment en décroissant pendant le trajet du projectile dans le canon, parce que l'espace réservé aux gaz de la poudre et situé entre le culot du projectile et le fond de l'âme, croît au fur et à mesure que le projectile s'avance vers la bouche du canon. Il faut donc faire en sorte que la poudre ne soit transformée que progressivement en gaz, de façon que la diminution continuelle de pression du gaz provenant de l'augmentation de volume et de la production de travail soit compensée, autant que possible, par de continuels appoints de gaz propulseurs.

» Dans ce but il est nécessaire d'employer une poudre brûlant avec une lenteur suffisante; le mode de combustion de la poudre doit être réglé d'après la valeur de la charge, l'espace de combustion, le calibre et la longueur du canon, enfin d'après la force d'inertie du projectile, de telle façon que la poudre continue à brûler jusqu'au moment où le projectile quitte le canon; mais, de façon aussi que la poudre soit alors complètement brûlée et que le projectile possède son maximum d'énergie à sa sortie.

» Il est clair que pour parvenir à ce résultat, au moins d'une façon approchée, il doit exister, entre les grandeurs précitées, poids du projectile, longueur, calibre du canon ou du fusil, etc., des relations bien déterminées. Il est de même nécessaire lorsqu'on établit un projet, ou encore lorsqu'on examine un type déterminé de canon ou de fusil, de connaître ce qui se passera dans l'âme pendant le tir. Les techniciens des armes à feu

établissent ces rapports par des considérations mi-pratiques, mi-théoriques. On a été ainsi amené à formuler le problème spécial de la balistique intérieure de la manière suivante :

» Dans un cas déterminé quelconque, *exprimer en fonction du temps, ou du trajet déjà accompli par le projectile dans le canon, d'une part la pression qui règne dans l'âme du canon, d'autre part l'accélération et la vitesse du projectile, et enfin la température des gaz de la poudre.* »

Comme on le remarquera par le plan de l'article et sans qu'il faille y insister ici, à côté du problème principal de la balistique, il s'en présente plusieurs autres d'un caractère plus particulier.

1. *Introduction.* 1. Problème de la balistique intérieure. 2. Notations.

II. *Bases thermochimiques et thermodynamiques de la balistique intérieure.* 3. Qualité des poudres. 4. Capacité calorifique et énergie des poudres. 5. Température de combustion des gaz de la poudre. 6. Volume spécifique. Pression spécifique. Covolume. Densité de chargement. 7. Pression du gaz sous volume constant. 8. Mode et vitesse de combustion de la poudre.

III. *Étude théorique du problème dynamique.* 9. Cas de la détonation. 10. Cas de la combustion graduelle de la poudre.

IV. *Résolution pratique du problème dynamique.* 11. Remarques générales. 12. Formules de Sarrau. 13. Dernières expériences et derniers diagrammes. 14. Les formules de Vallier.

V. *Conditions auxquelles doivent satisfaire la pièce et ses accessoires.* 15. Résistance du canon. 16. Rainures. 17. Recul. Conditions auxquelles doivent satisfaire les affûts.

VI. *Appareils de mesure et méthodes de mesure de la balistique intérieure.* 18. Méthodes statiques de mesure de la pression des gaz. 19. Méthodes dynamiques pour mesurer la pression des gaz. 20. Remarques critiques concernant la mesure de la pression des gaz. 21. Autres appareils et méthodes de mesure. 22. *Conclusion.*

Cette conclusion mériterait d'être transcrite ici en entier, tant elle est intéressante, tant elle renferme aussi de réflexions marquées au coin du bon sens et s'appliquant à beaucoup de branches de la mécanique. En voici, du moins, deux passages :

« On a fait remarquer dans cet article et dans le précédent, disent les auteurs, qu'en balistique les expériences systématiques, jointes à une juste appréciation des erreurs commises, doivent jouer un rôle beaucoup plus grand que celui qu'on leur a attribué dans les dix dernières années. On n'est arrivé que peu

à peu à s'en rendre compte et il faut bien avouer qu'aujourd'hui encore plusieurs balisticiens n'en semblent pas encore entièrement convaincus. »

Et plus loin : « Il importe d'être très prudent lorsqu'on se propose de contrôler une théorie par des données empiriques. Le but à atteindre par la balistique (aussi bien extérieure qu'intérieure) serait (après avoir déterminé les constantes du canon ou du fusil, du projectile et de la poudre, ainsi que les éléments météorologiques) de fournir à l'avance en fonction du temps, la position et la vitesse du projectile en grandeur et en direction et, aussi, l'intensité de la pression du gaz avec une erreur probable qui soit plus petite que l'erreur probable d'observation dans une application pratique quelconque. La balistique s'approchera vraisemblablement d'autant plus de ce but qu'on imitera mieux les méthodes de recherches qu'emploie l'astronomie dans le cas des perturbations, en reliant de plus en plus les calculs à effectuer, avec les observations déjà effectuées. Il semble d'ailleurs que, pour le moment, ce soit à ces observations directes qu'il faille faire jouer un rôle prépondérant. »

[IV, 22.] DÉVELOPPEMENTS CONCERNANT QUELQUES RECHERCHES DE BALISTIQUE EXÉCUTÉES EN FRANCE. Exposé par F. Gossot (Paris) et R. Liouville (Paris). — *a)* Mesures des vitesses. *b)* Mesure des pressions. *c)* Mode de combustion des poudres. *d)* Équation différentielle du mouvement des projectiles. *e)* Propriétés de l'équation différentielle du mouvement et variables caractéristiques. *f)* Notes historiques.

Ces notes sont tout ce qu'il y a d'intéressant et, n'était leur longueur, on se laisserait une fois de plus entraîner à les transcrire. En voici un passage qui en résume les plus grandes lignes.

« La balistique intérieure est une science relativement récente. Née des nécessités de la pratique courante, elle était vers le milieu du siècle dernier réduite aux constatations les plus immédiates de l'expérience. Sans bases théoriques, sans autre but que de faciliter le travail journalier des commissions d'artillerie, elle consistait alors en quelques formules dues à la commission de Gåvre et à F. Hélie, dans lesquelles la vitesse du boulet était liée, pour une poudre et une bouche à feu déterminées, aux seules données dont le praticien pouvait alors disposer. Ces formules avaient été naturellement choisies parmi celles qui se prêtaient aux calculs les plus simples ; elles supposaient la vitesse proportionnelle à certaines puissances des poids de la poudre et du projectile. Rien n'était fait encore pour tenir

compte, d'une façon explicite, de la nature de la poudre ou du calibre de l'âme.

» Pour faire des progrès véritables, il manquait à la balistique intérieure deux choses essentielles : des moyens de mesure plus complets, fournissant le contrôle expérimental des prévisions relatives à tous les éléments importants du tir ; une méthode permettant de rattacher la théorie à des principes généraux incontestables. »

H. BOSMANS, S. J.

V

ANNUAIRE POUR L'AN 1914, publié par le Bureau des longitudes.
— Paris, Gauthier-Villars.

Conformément aux dispositions inaugurées en 1904, le présent ANNUAIRE contient des tableaux détaillés relatifs aux données physiques et chimiques, mais ne fournit aucune donnée géographique ou statistique. Ce sera le contraire pour l'ANNUAIRE de 1915.

En vertu de ces mêmes dispositions, la partie astronomique du présent volume renferme des notes sur la sismologie (G. Bigourdan), les cadrans solaires (P. Hatt) et la physique solaire (H. Deslandres) ; une notice très détaillée sur les comètes apparues en 1912 (L. Schulhof) et les données relatives aux spectres stellaires (de Gramont).

Parmi les *Données physiques et chimiques*, signalons une note excellente, due à M. E.-H. Amagat sur l'équation d'état, le point critique et les états correspondants pour les fluides ; cette note, entièrement nouvelle, remplace celle de Sarrau sur le point critique des fluides.

Les tableaux qui renferment les données physiques et chimiques ont été entièrement refondus par MM. C. Raveau et Ch. Marie, et mis en harmonie avec le *Recueil de Constantes physiques*, publié en 1913 par la Société française de Physique, tout en profitant des précieux renseignements fournis par les *Tables annuelles de Constantes et données numériques, de Chimie, de Physique et de Technologie* (Vol. I et II), et la dernière édition des *Physikalisch-Chemische Tabellen* de Landolt-Börnstein.

M. Gandechon a fourni le tableau de la composition des

cendres de diverses plantes cultivées ; M. Mesnager les données relatives à la résistance des matériaux, et M. Nottin des documents se rapportant à l'analyse des bières, vins et cidres, ainsi qu'à la composition moyenne des céréales, à celle des scories de déphosphoration et des phosphates naturels.

Trois notices scientifiques terminent le volume.

La première, due à M. Hatt, a pour titre *La déformation des images dans les lunettes*. La déformation, dont il est ici question, n'est pas due à une défectuosité de l'instrument d'optique, mais aux conditions essentiellement différentes de la vision à l'œil nu et de la vision armée : c'est la déformation que présente « un tableau examiné d'un point plus rapproché que le point de vue du peintre ».

» Notre œil forme sur la rétine le plus délicat et fidèle tableau au moyen duquel se manifeste à notre entendement le monde extérieur. Cette conception de l'espace à trois dimensions au moyen d'une représentation qui n'en a que deux, exige une interprétation rendue à peu près parfaite par l'éducation du sens de la vue dans les circonstances habituelles. Mais l'interprétation est faussée quand on sort des conditions familières, quand, par exemple, l'emploi d'une lunette substitue à l'image normale de la rétine une image grossie dont les dimensions et la forme ne cadrent plus avec la distance focale de l'appareil optique de notre œil. A cette image anormale correspondent des impressions faussées qui nous apparaissent comme des déformations des objets extérieurs.

» Ne faut-il pas conclure de là que tout grossissement appliqué à la représentation d'un espace à trois dimensions entraîne une déformation, et que même il n'existe aucun moyen pratique d'obvier à cet inconvénient ? »

Le jour et ses divisions. Les fuseaux horaires et l'association internationale de l'heure, font l'objet de la seconde notice, écrite par M. G. Bigourdan.

Pour régler ses occupations, l'homme a toujours eu besoin de diviser le temps. Cette division est dominée par deux mouvements apparents du Soleil : sa *rotation* qui produit les alternatives du jour et de la nuit ; et sa *révolution* autour de la Terre, qui produit les saisons, et dont la durée constitue l'année... Ainsi ces deux unités, le *jour* et l'*année*, sont imposées à l'homme pour l'évaluation du temps, et les règles suivies pour

les diviser et les coordonner constituent en grande partie le Calendrier.

Il n'est question, dans cette notice, que de la première de ces deux unités, le *jour*, de ses divisions, des conventions qui ont été faites pour uniformiser la mesure du temps, et des moyens employés pour mettre à la portée de tous la connaissance de l'heure exacte.

Voici un aperçu rapide de cette excellente notice de lecture très facile.

Ch. I. LE JOUR ET SES DIVISIONS. — 1. *Diverses espèces de jour*. Ce sont le *jour solaire vrai* de longueur variable, et le *jour solaire moyen* de durée constante, correspondant à un Soleil fictif, qui parcourrait l'équateur d'un mouvement *uniforme*, et se trouverait aux équinoxes en même temps que le Soleil vrai. La différence entre le temps solaire vrai et le temps solaire moyen s'appelle l'*équation du temps* : elle est *sensiblement* la même pour toutes les années, et varie graduellement d'un jour à l'autre suivant une loi connue. — 2. *Substitution du temps moyen au temps vrai*. Les astronomes ont toujours été obligés d'employer un temps égal ou uniforme ; c'est pour cette raison qu'ils ont créé le temps moyen. Mais l'*équation du temps* n'excédant guère 46 minutes, la différence entre le temps moyen et le temps vrai passa longtemps inaperçue ou étrangère aux usages ordinaires. On ne sentit le besoin d'en tenir compte qu'à la fin du XVIII^e siècle. — 3. *Les divisions primitives du jour*. Elles furent très rudimentaires et très vagues, chez tous les peuples, jusqu'à l'apparition des premiers instruments qui ont servi à mesurer le temps. Auparavant on jugeait de l'état d'avancement du jour ou de la nuit d'après les aspects de la sphère céleste et les phénomènes de la nature animée qui s'y rattachent. Les heures étaient alors simplement *conjecturales* et la manière d'en juger était fort différente selon qu'il s'agissait du jour ou de la nuit. — 4. *Premiers instruments employés pour diviser le jour*. Ce sont le *gnomon*, que les Chinois prétendent avoir employé vingt-quatre siècles avant notre ère, et que les Grecs reçurent des Babyloniens par l'intermédiaire, semble-t-il, d'Anaximandre (610-547 av. J.-C.) ; les *cadrans solaires* que l'on trouve à Athènes au temps de Périclès (499-429 av. J.-C.) et à Rome après la seconde Guerre punique (200 ans av. J.-C.) ; enfin, les *clepsydres*, premiers instruments mécaniques employés pour mesurer le temps. On en trouve des traces chez les Égyptiens quinze siècles avant notre ère, et chez

les Chinois dès le XII^e siècle avant J.-C. Plus tard, on inventa les horloges à poids, plus tard encore les horloges à ressort ; elles sont devenues nos pendules astronomiques et nos chronomètres qui conservent l'heure à quelques dixièmes de seconde près. — 5. *Division du jour en heures*. Il y eut autrefois des peuples qui partageaient le jour total, le *nychthémère* des Grecs, en douze parties seulement ; mais à partir du moment où commence l'emploi des instruments horaires, on trouve, presque partout, la *période de lumière*, entre le lever et le coucher du Soleil, et la période d'obscurité, du coucher au lever du Soleil, divisées chacune en douze parties *égales eulve elles*, variables par conséquent d'une date à l'autre, pour un même lieu, et d'une latitude à l'autre pour une même date. On les appelait *heures temporaires*, par opposition avec les *heures équinoxiales*, employées surtout par les astronomes. Comme leur nom l'indique, celles-ci correspondaient aux époques des équinoxes ; le jour étant alors égal partout à la nuit, les *heures équinoxiales* avaient partout la même durée, celle de nos heures actuelles. Leur usage dans la vie pratique fut lent à s'imposer. Les éphémérides de Régiomontanus (1436-1476), annonçaient encore les phénomènes astronomiques en heures temporaires. — 6. *Nomenclature des heures*. Presque partout, le jour étant divisé en 24 parties distribuées en deux périodes comprenant chacune 12 parties, on comptait celles-ci de 1 à 12 ; quelques peuples cependant, et surtout les astronomes, comptaient à la suite, de 1 à 24, les heures du jour et celles de la nuit. De nos jours, cette manière de compter s'est introduite dans la vie pratique, d'abord pour les moyens de transport, ensuite pour toutes les relations de la vie civile, en vue d'obvier à divers inconvénients qu'on n'évite pas toujours par la distinction des heures du matin et des heures du soir. — 7. *Subdivision des heures*. Les anciens, à part les Hindous, n'ont guère poussé cette division au delà de la demi-heure. Chez les modernes, héritiers des Grecs, on a étendu au temps les subdivisions déjà employées pour les angles, en allant, comme les Hindous, de 60 en 60. Mais depuis Bessel les astronomes arrêtent cette division sexagésimale à la seconde, en ajoutant au besoin la fraction *décimale* de cette dernière subdivision. — 8. *Décimalisation des parties du jour*. On y a songé depuis longtemps. Une tentative fut faite lors de la création du Calendrier républicain ; elle échoua. Depuis 1884, la question fut reprise plusieurs fois ; divers systèmes furent proposés, des essais pratiques furent institués ; malgré leurs

résultats favorables, aucune décision ferme n'est intervenue jusqu'ici. — 9. *Origine du jour*. Théoriquement, cette origine est arbitraire ; certains peuples l'ont placée au lever du Soleil, d'autres à son coucher ; elle variait donc, en un même lieu, suivant les saisons. Pareil choix fut, de bonne heure, rejeté par les astronomes. Ainsi Ptolémée fait commencer le jour à *midi vrai* ; il a été suivi jusqu'à nos jours par les astronomes ; toutefois, depuis longtemps, ils ont substitué au midi vrai, le *midi moyen* : ce jour *astronomique* commence au midi *qui suit* le minuit, origine du *jour civil* adoptée depuis longtemps par les modernes pour tous les usages de la vie pratique. — 10. *Unification du jour astronomique et du jour civil*. Au cours du XIX^e siècle et dans ces dernières années encore, on a maintes fois proposé de faire commencer le jour astronomique au même *minuit* que le jour civil. Les objections à ce changement ne sont pas décisives ; il est probable que les partisans de l'unification finiront par l'emporter. — 11. *L'heure locale et les heures nationales*. En raison même de la forme et de la rotation de la Terre, chaque méridien a son heure propre, c'est *l'heure locale*. Pour qu'au même instant physique, des horloges qui se trouvent sur des méridiens différents marquent la même heure, certaines *conventions* sont indispensables. Chaque État adopta, généralement, comme *heure unique pour tout son territoire*, celle de son principal observatoire : ainsi naquirent les diverses *heures nationales*. — 12. *La loi française du 14 mars 1891*. L'heure légale en France et en Algérie fut, jusqu'à ces derniers temps, l'heure temps moyen de Paris. — 13. *L'heure universelle*. L'insuffisance d'une heure nationale unique, dans les pays très étendus dans le sens Est-Ouest, est manifeste. On voulut d'abord y suppléer par l'adoption d'une *heure universelle*. Plusieurs congrès, depuis 1881, agitèrent cette question qui demeura en suspens parce qu'elle en soulevait une autre, alors vivement discutée, savoir le choix d'un *méridien d'origine*. — 14. *Choix du premier méridien*. Les cartes primitivement tracées par les Grecs n'avaient ni méridiens, ni parallèles. Dicéarque figura le premier, sur la carte du monde connu, le méridien de Rhodes. Les géographes arabes et les astronomes indiens comptaient les longitudes à partir d'un point fictif placé à égale distance des îles Fortunées et de l'extrême Asie. Parmi les méridiens employés, on trouve aussi ceux de Gibraltar, du Cap Vert, etc. Au XVII^e siècle, Richelieu fit choisir comme premier méridien celui de l'île de Fer, la plus occidentale des Canaries.

Plus tard, les principales nations adoptèrent chacune, pour premier méridien, celui de leur observatoire principal.

Depuis 1875, des efforts furent tentés pour revenir à un méridien unique : ils aboutirent, en 1884, au choix du méridien de Greenwich.

Ch. II. LES FUSEAUX HORAIRES. — 1. *Définition des fuseaux horaires.* — 2. *Avantages et inconvénients du système des fuseaux horaires.* Les avantages sont manifestes pour toutes les relations internationales, chemins de fer, postes, télégraphes, etc. Mais il favorise un nombre relativement restreint de personnes, et il présente des inconvénients pour les populations sédentaires ; strictement appliqué, il ne s'écarte jamais, il est vrai, de l'heure locale de plus d'une demi-heure, ce qui est tout juste acceptable ; mais cette limite moyenne est souvent dépassée pour donner la même heure à tout le territoire d'un pays qui déborde le fuseau. En outre, par rapport à *l'heure vraie*, l'équation du temps vient s'y ajouter, portant la différence à plus de 50 minutes, ce qui est très gênant. Aussi, en certains endroits, a-t-on pratiquement subdivisé les fuseaux en les limitant à 30 minutes de temps, de manière à ne pas atteindre un écart d'une demi-heure. — 3. *Notation conventionnelle des fuseaux horaires.* — 4. *La loi française du 9 mars 1911.* L'heure légale en France et en Algérie est l'heure, temps moyen de Paris, retardée de 9 minutes 21 secondes, valeur en temps de la longitude E. de Paris par rapport au méridien de Greenwich.

Ch. III. TRANSMISSION DE L'HEURE. — 1. *Méthodes diverses.* Elles sont fort nombreuses ; nous n'indiquerons que celles qui sont susceptibles de se généraliser pour les usages de la vie pratique. — 2. *Méthode des signaux optiques*, qui fut employée surtout dans les opérations géodésiques. — 3. *Méthode des signaux électriques* ; on lui doit presque toutes les longitudes astronomiques aujourd'hui connues avec précision. — 4. *Méthode des signaux télégraphiques.* — 5. *Horloges électriques. Synchronisation des horloges par l'électricité.* — 6. *Distribution de l'heure par télégraphie sans fil* (T. S. F.). Les premières tentatives concluantes remontent à 1899. On sait combien cette merveilleuse découverte a simplifié et étendu les moyens de distribution de l'heure à distance, même avec toute la précision qu'exigent l'astronomie et la géodésie.

Ch. IV. LA CONFÉRENCE INTERNATIONALE DE L'HEURE. LA REVUE

a consacré un article à cette conférence, nous y renvoyons le lecteur (1).

A partir du 1 janvier 1915, les heures d'émission utilisées en 1914 seront probablement modifiées de la façon suivante (2) :

Les *signaux ordinaires anciens* (10^h44^m à 10^h49^m, et 23^h44^m à 23^h49^m) seront supprimés.

Les *signaux horaires ordinaires automatiques* (9^h57 à 10^h) seront émis à 10^h et à minuit.

Les *signaux horaires scientifiques* (23^h30^m) seront faits à (23^h45^m) et les *signaux de mesure* à 9^h55^m et à 23^h55^m.

La troisième notice scientifique de l'ANNUAIRE est consacrée, par M. B. Baillaud, à la 17^e Conférence de l'Association Géodésique internationale. Cette notice continue celles que, dans l'ANNUAIRE de 1889 et dans les volumes suivants, Faye, Bouquet de la Grye et H. Poincaré ont consacrées aux origines, aux développements et aux travaux de cette célèbre association qui compte plus d'un demi-siècle d'existence.

J. T.

VI

LE TÉLÉPHONE INSTRUMENT DE MESURE. Oscillographie interférentielle, par AUGUSTIN GUYAU, Docteur ès Sciences, Ingénieur. 2^e édition.— Paris, Gauthier-Villars, 1914. (Collection des *Actualités scientifiques*) 160 pages, 50 fig. et 1 planche.

M. Guyau a écrit, sur le téléphone instrument de mesure, une monographie extrêmement intéressante. Elle se divise en deux parties bien distinctes.

La première, qui comprend les deux premiers chapitres, se rattache aux travaux antérieurs sur le téléphone. M. Guyau rappelle d'abord (Chap. I) les recherches de Mercadier sur la sensibilité du téléphone en fonction de l'épaisseur de la membrane, etc... ; puis celles, toutes récentes, de Kennelly et Pierce sur les variations de la résistance et de l'inductance du récep-

(1) *Conférence internationale de l'heure. Paris 15-23 octobre 1912*, par le R. P. J. B. Lucas, S. J., REVUE DES QUEST. SCIENT., 3^e série, t. XIV, 1913, livraison du 20 octobre, pp. 442-494.

(2) La guerre a retardé l'exécution de ce projet.

teur téléphonique. Il établit ensuite d'une façon simple ses équations mécanique et électrique.

Le Chap. II débute par une étude complète du pont de Wheatstone en courant alternatif, d'où M. Guyau déduit la condition générale du silence téléphonique. Ce silence ne peut être complet que pour l'un des harmoniques du courant alternatif employé. D'où, comme corollaire, il suit qu'il y a utilité à employer, comme source de courant, un alternateur à tension sinusoïdale à peu près pure et, pour la réception, un téléphone à effets sélectifs (ou mieux, dans les mesures de haute précision, un galvanomètre à résonance) accordé sur l'harmonique fondamental. En outre, le minimum téléphonique étant fonction et de la fréquence et des éléments constitutifs des bras, on a, si on connaît ceux-ci, le moyen de calculer celle-là.

Vient ensuite l'exposé des principales méthodes de mesure où le téléphone intervient en tant qu'indicateur de maximum ou de minimum, méthodes classiques ou tout récemment introduites dans les laboratoires et dans la pratique industrielle, (résistivité des électrolytes, capacités, self-inductance, mutuelle inductance, longueurs d'onde; emploi en photométrie; recherche des défauts d'isolement dans les canalisations électriques, localisation des branchements souterrains des conduites de distribution d'eau, etc...)

Mais la partie la plus importante de cette belle monographie (Ch. III et IV, pp. 57-147) consiste dans l'étude approfondie des très petits mouvements de la membrane téléphonique par le moyen des interférences. Sur la surface vibrante est collé un petit miroir plan argenté. Un miroir fixe semi-argenté est placé en face du miroir mobile, de façon à former entre eux une lame d'air mince de $1/20$ de millimètre. Un faisceau lumineux, fourni par une lampe à mercure, concentré sur la lame mince, dessine sur celle-ci des franges d'interférence. Ces franges se déplacent quand, en conséquence des vibrations de la plaque, l'épaisseur de la lame d'air varie. Les déplacements des franges sont enregistrés photographiquement.

Le téléphone, jusqu'ici simple indicateur de maximum ou de minimum, est ainsi transformé en un véritable galvanomètre ou, d'une façon plus précise, en un « oscillographe interférentiel ».

Le fonctionnement de cet oscillographe soulève une foule de problèmes dont l'auteur fait une étude détaillée : calcul du mouvement des surfaces interférentielles en fonction de celui des franges, séparation des raies de l'arc au mercure, conditions

d'éclairement maximum des miroirs interférentiels, netteté des franges en lumière non parallèle, ordre de grandeur des temps de pose en fonction de la période du mouvement.

Au point de vue de la sensibilité, les mesures de l'auteur lui ont montré qu'un téléphone de 127 ohms transformé en oscillographe, décèle, à la fréquence de 42 (courant du secteur), une vingtaine de microampères efficaces; un téléphone de 4000 ohms, à la même fréquence, permet d'atteindre quelques microampères; enfin la sensibilité d'un monotéléphone de 5650 ohms pourrait s'évaluer, en basse fréquence, à quelques centièmes de microampère. (Soit dit en passant, le galvanomètre à corde à petit électro-aimant, dont le maniement est extrêmement simple, donne facilement des sensibilités au moins équivalentes.)

Par les qualités de méthode, de précision et de clarté, la monographie de M. Guyau rappelle les mémoires des maîtres de la science expérimentale française.

J. D. L.

VII

L'AFRIQUE ÉQUATORIALE FRANÇAISE, par MAURICE RONDET-SAINT. Préface de M. MARCEL SAINT-GERMAIN, sénateur. — Paris, Plon, 1914, in-8°, iv-312 pp. et une carte.

Désirant faire connaître à ses compatriotes la valeur de l'Afrique équatoriale française et ses éléments d'avenir, M. Maurice Rondet-Saint est allé, pendant trois mois et sans aucun esprit de lucre, observer, analyser, enquêter sur place. C'est le fruit de son travail, sincère, bien documenté, et où les questions africaines urgentes sont loyalement discutées, qu'il nous donne en ce livre attrayant et bien fait. S'il formule quelques critiques, il le fait de bonne foi, dans l'intérêt du bien général, et avec la volonté d'aider à la formation d'une opinion métropolitaine avertie.

Dès le début, il fait au sujet du joyau colonial, objet de ses études, une constatation qu'il faut retenir : « Il n'est peut-être plus de pays au monde, où rien soit moins connu, depuis les conditions de mise en exploitation jusqu'à la démographie elle-même de ces contrées, où la question du statut indigène est cependant la base essentielle de notre action ; je dirai plus : la

raison de notre présence en ces pays. Les détenteurs eux-mêmes des intérêts dominants en Afrique équatoriale française en sont encore, et plus que jamais, actuellement, à la période des recherches d'une doctrine stable et définitive sous ce rapport (p. 3). »

Suit une série de chapitres, ou mieux de monographies, bourrées de données qui font honneur à la sagacité de l'auteur.

Comme il convient, nous avons d'abord l'exposé des relations maritimes entre la métropole et l'Afrique équatoriale française, complété par des notes intéressantes (pp. 28-52) sur Dakar, dont le rôle, comme port militaire, sera toujours secondaire, mais dont le port commercial et d'escale demeurera dans l'avenir fonction directe de l'expansion économique française dans l'Afrique occidentale. L'organisation de ces relations maritimes « constitue l'une des assises essentielles de tout empire colonial » (p. 6) ; elle embrasse à la fois la combinaison des tarifs, le choix des ports de départ et d'escale, la fréquence des services et le matériel lui-même. Or les paquebots de la Compagnie française des Chargeurs Réunis partent du Havre, où ils prennent une partie de leur chargement qu'ils complètent à Panillac, dotés d'une mauvaise organisation locale. Il y a là, dit l'auteur, une faute de tactique. Ils devraient aller concurrencer leurs rivaux chez eux, en reportant le plus à l'Est possible, aux centres producteurs de fret, à Dunkerque, à Anvers, où c'est fait pour certaines compagnies de navigation, à Hambourg même, la tête de ligne, nous ne disons pas le point d'armement, et en rapprochant les marchandises importées de leurs marchés de destination ou de consommation : centres métallurgiques, tissages, grandes industries. Le complément du fret venant de la région parisienne et du centre aurait lieu au Havre ; le solde à Bordeaux. On porterait ainsi remède à la situation géographique de la France qui la met, comme le faisait un jour remarquer M. Charles Roux, dans un état d'infériorité vis-à-vis de ses concurrents directs sur mer ; les pays de grande production, donc de grande consommation, sont tous situés au Nord et à l'Est des côtes françaises. Leurs flottes commerciales passent déjà chargées, devant les ports que ces côtes présentent, y font escale, et recueillent, sans grande augmentation de dépense, le complément de leur fret, au détriment de l'armement indigène, réduit à la production nationale.

Sans nous attarder, quels que soient les beautés naturelles signalées et le côté utilitaire envisagé, à la question de tourisme,

c'est-à-dire de pénétration aisée et à la portée de tous en Afrique équatoriale française (pp. 53-88) ; sans nous occuper de la domestication de l'éléphant au Congo, domestication dont l'auteur n'est guère partisan (pp. 89-95), ni du débouché que l'Afrique occidentale et équatoriale peut offrir à l'industrie automobile terrestre ou nautique en France (pp. 142-151), voyons plutôt ce qu'il faut penser de l'ensemble des conditions économiques et démographiques, présentes et futures, de l'Afrique équatoriale française (pp. 96-141).

Il n'est guère facile de solutionner cette grosse question, lorsqu'on n'a passé que quelques mois dans un pays encore si imparfaitement connu ; mais grâce à une sage documentation, corroborée par l'avis éclairé de personnalités compétentes, on peut entrevoir la vérité.

Depuis trente ans, l'Afrique équatoriale française s'est transformée ; on y a créé des villes (tel Brazzaville), établi des factoreries, lancé une flottille active de vapeurs ; enfin les régions mystérieuses et farouches sont devenues un champ d'action économique important, riche des plus hautes promesses.

L'exploitation du pays s'est limitée aux richesses minières du massif de N'goué (Gabon), à l'ivoire, dont la production, fort précieuse dans les débuts de l'œuvre de pénétration, ira en diminuant, et surtout au caoutchouc, matière industrielle, qui soulève une série de problèmes délicats que l'auteur étudie : la main-d'œuvre ; la plantation de lianes ou d'arbres caoutchoutiers et leur exploitation régulière et scientifique ; l'exploitation rationnelle de la forêt, voir l'aménagement forestier.

M. Rondet-Saint conseille de songer à d'autres produits, car la monoculture peut être une ruine pour la colonie ; les entreprises agricoles, qui n'ont guère tenté les capitalistes français dans l'Afrique équatoriale, bien qu'elles soient essentielles, pourraient s'occuper des noix de palme, des arachides, de la vanille, du cacao, des cultures vivrières, des cultures industrielles : jute, coton, enfin de l'élevage.

Mais deux conditions essentielles s'imposent, si l'on veut que l'effort tenté ne soit pas stérile : la *main-d'œuvre*, et l'*outillage économique* de la colonie.

Quant à l'aménagement de la colonie, il est trop rudimentaire pour plusieurs raisons ; il ne comprend que :

1) Deux jardins d'essai coloniaux : Dakar et surtout Camayenne, près de Conathry ;

2) Une installation des plus sommaires pour la navigation à

Libreville, et tout le long de la côte et du fleuve Congo. A la rive française du Pool, il n'existe ni bouée, ni appontement fixe ou flottant pour passagers ou marchandises. Or la navigation fluviale et maritime est la base même des relations commerciales en ces pays ;

3) Des sentiers indigènes. Des routes sont indispensables ;

4) Enfin une voie étroite (0^m60) de 150 kilomètres de développement, par laquelle une entreprise industrielle relie le massif minier de Mindouli à Brazzaville et au Pool. La colonie possède un réseau télégraphique étendu, mais d'un fonctionnement irrégulier, par la précarité de la ligne Brazzaville-Libreville.

L'auteur recherche les causes de cet aménagement ultrasomme, détaille l'objet de diverses missions hydrographiques, radio-télégraphiques, d'études de voies ferrées, etc. (pp. 159-181), et expose quel devrait être l'ensemble de l'outillage économique de l'empire congolais de la France (voie ferrée de 1000 kilomètres reliant Brazzaville à Cap Lopez ; — organisation du port naturel de Cap Lopez, où devrait être établie une cale sèche ; utilisation des forces hydrauliques) (pp. 181-211).

Toutefois il ne suffit pas d'outiller la colonie ; il lui faut aussi et surtout de la main-d'œuvre (pp. 222-275). C'est l'étude de cette grosse question que M. Rondet-Saint entreprend dans la dernière partie de son travail.

L'Afrique équatoriale française manque de bras ; c'est le principal motif de sa stagnation coloniale. Ce fait repose sur trois raisons : la faible densité de la population, dont le recensement est impossible et dont le chiffre va diminuant sans cesse pour plusieurs causes : traite, guerres, alcool, prostitution, syphilis, avortement, poison ; la difficulté d'utilisation de la main-d'œuvre : le noir bat en retraite dans la forêt, devant le blanc dont il repousse le contact, notamment parce qu'il est impropre au travail qu'on devrait lui imposer, et qu'il ne veut pas supporter l'impôt qui a donné lieu à quelques abus ; enfin les maux qui frappent cette population, dont l'état physiologique est cause d'un déchet considérable de main-d'œuvre utilisable.

L'importation de bras étrangers semble une nécessité inéluctable, et c'est dans l'Inde et dans la Chine méridionale qu'il faudra les chercher. Un essai devrait être tenté dans des conditions normales. Le Gouverneur général est tout indiqué pour traiter la question avec les Gouvernements étrangers. Il y va du salut de l'Afrique équatoriale française !

FERN. VAN ORTROY.

VIII

ÉTUDES ARCHÉOLOGIQUES ET ETHNOLOGIQUES. POPULATIONS PRIMITIVES DE LA MONGOLIE ORIENTALE, par R. TORII, chargé du cours d'Anthropologie à l'Université Impériale de Tokyo, et attaché au Gouvernement général de Corée, et KIMIKO TORII, Membre de la Société d'Anthropologie de Tokyo. Tokyo, Imprimerie de l'Université, 1914. — Un vol. in-4° de 100, (26) pages ; 13 planches et 1 carte hors texte ; 75 illustrations dans le corps de l'ouvrage. — Ce volume forme le 4^e Article du tome XXXVI du JOURNAL OF THE COLLEGE OF SCIENCE, IMPERIAL UNIVERSITY OF TOKYO.

Pendant un séjour en Mongolie d'environ deux ans et demi, M. Torii, chargé du cours d'Anthropologie à l'Université de Tokyo, et sa femme ont eu l'occasion d'étudier, surtout au point de vue anthropologique, les peuplades relativement assez nombreuses qui séjournent aujourd'hui dans ces vastes contrées. En contact journalier avec les habitants, ils ont appris leur langue, observé leurs coutumes, noté leurs caractères physiques et la diversité des races.

Au cours de leur voyage dont ils nous donnent un récit rapide, M. et M^{me} Torii ont fait une ample moisson de documents anthropologiques modernes de toutes sortes. « Ces documents, disent-ils, devaient tout naturellement faire l'objet du premier fascicule. Cependant frappés par l'incroyable quantité de vestiges et de ruines laissés partout dans ces régions par les races aborigènes, croyons-nous, mais aujourd'hui disparues, ou du moins transformées, des anciens Tong-Hou, c'est de ces derniers dont nous allons d'abord nous occuper. C'est plus logique, semble-t-il. »

D'après cette entrée en matière, le volume actuel consacré exclusivement aux anciens Tong-Hou n'est qu'une première partie d'un ouvrage qui aura sous peu une suite. En attendant que les auteurs nous la donnent, voici comment ils ont traité ce qu'ils publient aujourd'hui de leur sujet.

Le volume s'ouvre par un « Avant-propos » et se divise en sept chapitres. Le CHAP. I n'a pas de titre, mais contient des généralités sur les Tong-Hou. Il se subdivise en trois parties. I. Distribution géographique des ruines et des vestiges Tong-

Hou. II. Ruines et vestiges Tong-Hou. III. État actuel des stations Tong-Hou.

CHAP. II. *Instruments et outils trouvés dans les stations Tong-Hou.* Les restes archéologiques anciens trouvés dans les stations Tong-Hou sont de trois sortes. I. *Les instruments ou outils en pierre* ; notamment a) des haches, b) des ciseaux, c) des couteaux, d) des rasoirs, e) des racloirs, f) des marteaux, g) des lances en pierre, h) des pointes de flèche, i) des sabres en silex, j) des colliers. Chacun de ces groupes d'objets fait le sujet d'une courte notice. II. *Instruments en os.* Les instruments en os de mammifères et d'oiseaux laissés en place par les anciens Tong-Hou sont moins abondants que les objets en silex. Les auteurs n'en ont trouvé que deux spécimens, des pointes de flèche, ou du moins, des pointes qui semblent avoir pu servir à cet usage ; ensuite des cornes de cerf travaillées. III. *Poteries.* Les historiens chinois ne font aucune mention de la poterie des Tong-Hou. On en rencontre cependant d'assez nombreux débris dans toutes les régions de la Mongolie Orientale. Cette poterie est grossière, sans émail, aux formes et aux dessins relativement très variés. Elle montre partout un type national caractéristique et fort original. Ces poteries paraissent accuser trois espèces d'industries assez distinctes les unes des autres, en progrès continu. Dans la première espèce, la poterie est grossière, fragile et de couleur brune. Dans la seconde, elle est mieux cuite, plus résistante, de meilleure qualité et grise. Dans la troisième, assez semblable à la précédente et de la même couleur, la cuisson est encore plus soignée. Les objets portent quelques dessins et les formes en sont plus variées. Les auteurs entrent ensuite dans le détail et nous parlent en autant de paragraphes, 1) du mode de fabrication de la poterie Tong-Hou ; 2) des formes des poteries Tong-Hou ; 3) de la forme des bords des poteries Tong-Hou ; 4) de la forme du fond des poteries Tong-Hou ; 5) de la forme des anses de la poterie Tong-Hou ; 6) des motifs de décoration des poteries Tong-Hou ; 7) de la distribution géographique des dessins ou motifs décoratifs de la poterie Tong-Hou ; 8) des dessins de la poterie Tong-Hou comparés avec les dessins décoratifs des indigènes de l'Amour, du Saghalien et du Yéso. Comme le lecteur peut le deviner par ce résumé, le chapitre II est le plus étendu du volume.

CHAP. III. *Scories de fer laissées par les Tong-Hou.* Les Tong-Hou eurent un âge de la pierre, mais il ne fut pas exclusif ;

alors même que ces barbares étaient encore dans cet état de civilisation peu avancée, ils connaissaient les métaux et en faisaient un certain usage.

CHAP. IV. *Objets en bronze laissés par les Tong-Hou.* Dans les stations en ruine Tong-Hou de la Mongolie Orientale, on rencontre un peu partout de nombreux objets en bronze mêlés aux poteries grossières et aux silex. Ce sont pour la plupart des pointes de flèche, des bracelets, des bagues, des agrafes de ceinture, etc. qui tous sont de fabrication et d'importation chinoises. Les anciens Tong-Hou ne travaillaient pas le bronze. Ces antiques objets en bronze étaient en usage à la fin de l'âge néolithique Tong-Hou. Par les dessins qu'ils portent, on peut le dater du temps qui va des Han antérieurs aux Han postérieurs.

CHAP. V. *Objets en or.* Il s'agit, dans ce chapitre, d'une boucle de ceinturon. Cette boucle en or a été ramassée sur les rives d'Oulgi-kol.

CHAP. VI. *Verroterie soufflée.* Les auteurs ont trouvé mêlés à des instruments en silex, et à des débris de poteries de toutes sortes, trois grains en verre soufflé très mince et qui eux aussi sont certainement d'importation chinoise.

CHAP. VII. *Monnaies anciennes.* Dans les stations abandonnées en Mongolie Orientale par les Tong-Hou, on rencontre ici et là mêlée à divers instruments en pierre, de la menue monnaie du temps de la deuxième dynastie des Han.

CONCLUSION. « D'après nos recherches à travers les ruines et les vestiges laissés en place en Mongolie, disent M. et M^{me} Torii, surtout dans les régions des monts Khin-gan et dans le bassin du fleuve Shira-Mouren, par les antiques Tong-Hou, les premiers habitants de ces vastes contrées, nous croyons pouvoir conclure qu'au point de vue archéologique, la vie sociale de ces intéressantes peuplades a dû traverser trois époques bien distinctes et de durée très inégale ; I. une époque préhistorique, ou âge de pierre, plus longue ; II. une première époque historique ou époque des Wou-hwang et des Sien-Pi ; III. enfin une dernière époque historique ou époque de Liao ou Kitan. » M. et M^{me} Torii développent cette triple conclusion en autant de paragraphes distincts.

Le mémoire sur les populations Tong-Hou est imprimé avec luxe, l'illustration est soignée, ce que je me plais à dire, non seulement des planches hors texte, mais aussi des figures intercalées dans le corps de l'ouvrage. Elles y ont été semées avec profusion, au nombre de 75 pour 100 pages d'impression. C'est

tout bénéfique pour le lecteur ; en archéologie, rien ne vaut une figure pour se faire comprendre. On en demeure d'accord, mais que de fois ne recule-t-on pas devant la dépense ? Je ne voudrais pas qu'on se méprit sur le sens de ma réflexion quand je parle de clarté ; car le professeur de l'Université de Tokyo écrit, en français, d'une plume correcte et très claire. Son mémoire, malgré les nombreux textes chinois qu'il renferme, est d'une lecture aisée et agréable.

I. S.

IX

ÉTUDE SUR L'ÉCRITURE ARTIFICIELLE DANS LES DOCUMENTS FORGÉS,
par CL. PAULIER. — Bruxelles, chez l'auteur, 1913.

Ce livre contient deux idées fort fécondes : l'une relative à l'organisation de l'expertise en écriture ; l'autre à une conception plus large de la science paléographique. Elles sont exposées respectivement dans la seconde et la troisième parties. La première, qui compte 54 pages sur les 98, est une introduction, une analyse minutieuse du « mécanisme de l'écriture dans sa manifestation ultime, dans les rapports de la plume et du papier ». Sans avoir lu ces définitions, on tenterait vainement de comprendre le reste de l'ouvrage. Nous nous bornerons à transcrire à l'occasion celles qui sont indispensables à l'intelligence de ce résumé.

Les experts d'aujourd'hui affectent de ne pas prendre au sérieux l'application des procédés du dessin à la reproduction des graphismes. En d'autres termes, ils négligent le *faux artificiel* pour le *faux naturel*, tracé à main libre. A tort, déclare M. Paulier. L'exécution du faux artificiel est une besogne facile surtout pour les autographistes, les lithographes, les graveurs et les miniaturistes. Il croit rendre service en démasquant des méthodes certainement employées par les faussaires. Sa première conclusion est que certains experts au moins doivent être des artistes-spécialistes. Mais comme on ne peut se passer non plus de calligraphes, de paléographes, de graphologues, etc., il demande que l'on organise dans les grandes villes des *services centraux d'expertise en écriture* ; et qu'on y attache à titre d'experts permanents des diplômés, calligraphes, paléographes,

graphologues, médecins spécialistes, ingénieurs chimistes, artistes spécialistes.

Quelles sont donc ces méthodes de confection par le dessin des documents forgés ?

Elles comportent deux séries d'opérations : la délimitation de la forme et l'exécution du graphisme.

On choisira d'abord une certaine quantité de documents originaux ; mais homogènes, c'est-à-dire exécutés dans des conditions identiques, en particulier sous le rapport de la nature, de la hauteur (1), de l'aplomb (2) et de l'orientation (3), de la plume qui a servi à les composer. On recherchera et on découpera chaque mot dont on a besoin. Si ces mots ne se trouvent pas tout faits, on les composera avec des groupes de lettres, collées l'une à côté de l'autre. Une lettre de la fin d'un mot ne figurera jamais au commencement, ni réciproquement. Il ne faudra pas choisir plusieurs fois le même mot ou la même lettre : une similitude absolue de deux mots ou de deux signatures dénote la fraude.

Pour un faussaire habile le transport direct, l'exécution simultanée du travail de groupement et de celui du graphisme est le moyen le plus simple et le meilleur. Si la transparence directe ne suffit pas, on aura recours à *la glace à calquer*. La lampe à acétylène (lampe Hélios), placée sous la vitre en forme de table, rend transparents tous les papiers.

Une seconde manière de groupement des lettres et des mots — distincte celle-là de l'exécution du graphisme — recourraux procédés photographiques. On découpe les mots ou fragments

(1) La *hauteur* de la plume, c'est l'angle formé entre elle et le papier. Il doit être d'au moins 45° pour que la tenue de la plume soit correcte.

(2) La plume est d'*aplomb* quand la projection de sa fente se place exactement au milieu de sa projection, à elle. Les mouvements du porte-plume sur lui-même dérangent cet aplomb : le mouvement de droite à gauche sur le bec gauche, le mouvement de gauche à droite sur le bec droit.

(3) « Si en maintenant la plume sur un point à une hauteur fixe, on la fait évoluer par rapport à un plan vertical, on décrit un segment de cône renversé. En prenant comme point de départ de l'évolution, le plan perpendiculaire au réglage, la plume située dans ce plan a ses deux becs horizontaux sur le réglage : elle est à *face*. Si l'on dirige l'évolution vers la gauche, on fait remonter le bec gauche au-dessus du réglage : la plume est *oblique à gauche*. Si l'on dirige l'évolution vers la droite, c'est le bec droit qui remonte et la plume est *oblique à droite*. La main est libre vers la droite et peut amener l'instrument à angle droit de son point de départ dans la direction du réglage : la plume est dite *de travers* » (p. 6). Dans ces diverses *orientations* de la plume, on ne tient aucun compte de la position de la main.

de mots des documents ou bien d'une photographie des documents, si ceux-ci doivent être conservés. On les colle en les rapprochant. La retouche peut être tentée avec un bon grattoir et une plume fine. Elle portera principalement sur la liaison et les finales. M. Depoin a démontré pratiquement que le découpage et la photographie donnaient la perfection absolue de la forme.

Mais ce système paraît fort compliqué. Beaucoup aimeront mieux le simple décalquage, soit à l'aide d'un papier transparent mince, enduit de mine de plomb, placé entre le décalque et le papier définitif, soit à l'aide d'une feuille de gélatine sur laquelle le trait se creuse au moyen d'une pointe sèche, d'une aiguille ou d'un diamant. Le décalque sur gélatine, destiné au tirage, doit s'exécuter avec une image retournée, par exemple avec l'envers d'un cliché photographique. Le transport se fait à la presse sur un papier humecté d'alcool.

Nous voici arrivés à la seconde série d'opérations, à l'exécution du graphisme. Elle se fera par l'*écriture écrite* ou par l'*écriture dessinée*. Dans le premier cas « l'exécutant final, celui qui doit parfaire le faux sera nécessairement un spécialiste de l'écriture, en connaissant bien les lois. Il déterminera avant tout le genre de plume dont celui qu'il imite avait l'habitude, les qualités particulières de cette plume... Il définira ensuite la hauteur, l'aplomb et l'orientation de cette plume. Il analysera encore le dynamisme de la main, son mode d'action dans l'effort ; il devra même tâcher de deviner la nature physiologique du mouvement, la part prise par les doigts, le poignet et le bras. Puis il étudiera à la loupe chaque lettre à reproduire ; il en cherchera l'allure par des exercices répétés à main libre. Et c'est alors seulement qu'il commencera son travail et qu'il s'aidera de la transparence, d'un tirage ou d'un décalquage pour maintenir sa main dans le mouvement de la forme à imiter ; les pleins et les déliés (1) devront se placer pour ainsi dire d'eux-mêmes aux bons endroits, de façon qu'il n'y ait plus à exercer qu'une sorte de surveillance générale. L'écueil connu de ce procédé étant surtout le tâtonnement, les sursauts et les reprises, le faussaire devra être hardi, et, plutôt qu'une hésitation, risquer

(1) Le *délié* est tout tracé grêle indécomposable. Le *plein* est le tracé maximum (le plus large) de la plume. Le *demi-plein* est la transition du *délié* au *plein* et réciproquement.

quelque altération de la forme qu'une explication graphologique pourra toujours justifier » (p. 60).

Par l'*écriture dessinée* on évite l'écueil qui vient d'être signalé. Dessiner l'écriture, c'est dessiner séparément les sillons (1) qui cerclent et enserrrent la forme au moyen d'une plume fine, telle que la plume Brandow ou la tit quill Gillott. La pointe de ces instruments vaut celle des meilleures aiguilles anglaises. Après l'exécution du double sillon, vient le remplissage du plein. L'auteur conseille de le faire précéder d'une ébauche. « Cette première esquisse devra tracer le plein en évitant toute super-épaisseur d'encre sur les bords ; on se servira d'une plume très douce et peu chargée d'encre, une plume de ronde, lorsque cela sera possible, ou mieux une plume d'oie spécialement taillée pour l'écriture qu'on veut reproduire. On se guidera soit directement avec un tirage éclairci pris sur cuivre ou sur pierre, ou avec un simple décalque ; soit par transparence avec une épreuve photographique des mots assemblés ou avec les pièces vraies elles-mêmes. Si le graphisme est irrégulier, lourd et accidenté, on tracera le plein seulement, les déliés s'indiqueront séparément avec un pointillé léger à la plume fine. Sur cette ébauche de l'écriture on reviendra avec la tit quill et on marquera tous les sillons, ceux du plein comme ceux du délié, en accentuant les détails caractéristiques, après avoir bien étudié la construction intime du modèle. Si l'on a affaire à une écriture légère et régulière, on l'exécutera souplement sans presser la plume, de préférence avec la main levée appuyée sur le petit doigt ; on marquera ensuite quelques sillons qui corrigeront au besoin les faux mouvements et donneront du relief. Ce procédé est certainement le plus subtil et le plus varié dans ses ressources. »

Dans la dernière partie de son livre, l'auteur fait l'histoire de l'écriture. Jusqu'ici, dit-il, les paléographes se sont bornés à considérer la direction générale du trait. Pourquoi ne pas s'attacher aussi au rapport entre le plein parfait et la hauteur de l'écriture (épaisseur du graphisme) et à la tenue de l'instrument, c'est-à-dire à l'orientation, à la hauteur, à l'aplomb de la plume et à la pression dont résulte le développement extérieur ? Cela me paraît fort exact. Il y a là des éléments de différencia-

(1) « La partie de la plume qui presse le papier le creuse et l'imprègne d'encre profondément ; les becs écartés pour la formation du plein l'encadrent ainsi sur les deux bords de deux traits fins plus marqués. Ces trajets des becs ont été appelés par M. Persifor Frazer les *sillons* » (p. 5).

tion des écritures dont ne tient compte aucun des manuels classiques de paléographie. En s'appliquant à réaliser cette conception plus large, l'auteur arrive sans doute à des résultats intéressants, mais il présente peu de conclusions générales. Je lui conseille donc de reprendre cette troisième partie et de l'approfondir. Toutefois, il devrait auparavant se livrer à une étude beaucoup plus sérieuse de la paléographie. Sa connaissance en est très sommaire. Et que dire d'affirmations comme celle-ci : « Au moyen âge, aux temps où les seigneurs signaient d'une croix et mettaient dans leur scel des poils de leur barbe, les faussaires ne pouvaient guère s'exercer que sur les livres » (p. 66) ? Allons donc ! Il n'est pas un monastère un peu ancien qui, dans son trésor de chartes, n'en compte plusieurs tout à fait fausses. La bibliographie du faux au moyen âge est fort considérable et j'engage M. Paulier à la consulter.

E. DE MOREAU, S. J.

REVUE

DES RECUEILS PÉRIODIQUES

ASTRONOMIE

Annuaire de l'Observatoire royal de Belgique, pour 1915. — Par arrêté royal en date du 31 juillet 1913, l'Observatoire de l'État, établi à Uccle, a été scindé en deux établissements distincts : l'*Observatoire royal de Belgique* et l'*Institut royal météorologique de Belgique*.

L'*Observatoire* et l'*Institut météorologique* ont respectivement dans leurs attributions, le premier, l'astronomie de position, l'astrophysique, la géodésie, la gravité et la sismologie ; le second, la météorologie, la climatologie, le magnétisme terrestre, l'électricité atmosphérique et terrestre ainsi que les branches connexes. La bibliothèque est commune aux deux établissements.

Le directeur de l'*Observatoire* est M. G. Lecointe ; celui de l'*Institut météorologique*, M. J. Vincent.

L'ANNUAIRE DE L'OBSERVATOIRE ROYAL DE BELGIQUE POUR 1915 a été conçu d'après un plan identique à celui du volume précédent. On y donne pour la dernière fois des renseignements sur le magnétisme terrestre et l'électricité atmosphérique : ce qui concerne ces branches devra être cherché désormais dans l'ANNUAIRE DE L'INSTITUT ROYAL MÉTÉOROLOGIQUE.

Parmi les notices scientifiques qui contribuent à l'intérêt de cette publication et lui assurent une valeur permanente, nous

signalerons spécialement celle que M. P. Stroobants consacre aux *Progrès récents de l'astronomie*. Elle fait suite aux cinq notices publiées par le même auteur et sous le même titre dans les ANNUAIRES précédents, et se rapporte aux découvertes et aux travaux astronomiques de l'année 1912. L'abondance des renseignements, les tableaux, cartes, diagrammes et planches qui les complètent, rendent ces notices — un peu touffues peut-être pour le grand public — éminemment recommandables et très commodes à consulter. Au point de vue documentaire, qui intéresse surtout les gens du métier, on les souhaiterait moins sobres d'indications bibliographiques précises.

Résumons brièvement la dernière.

Le Soleil. — ACTIVITÉ SOLAIRE EN 1912. La diminution de l'activité solaire, qui s'était manifestée en 1910 et s'était accentuée en 1911, s'est marquée plus encore en 1912.

LA ROTATION DU SOLEIL. Elle a été étudiée par J. B. Hübner, à l'Observatoire de Cambridge (Angleterre), par la méthode spectrographique, conformément aux décisions de la conférence (1910) de l'Union internationale pour les recherches solaires.

Ces mesures ont donné 1863 km. par seconde pour la vitesse équatoriale du Soleil, et elles mettent en lumière l'excès des vitesses de l'hémisphère austral sur celles de l'hémisphère boréal.

Suit une étude de S. Hirayama sur le mouvement systématique des taches solaires basée sur les observations effectuées à Greenwich de 1879 à 1901.

F. W. Dyson et E. W. Maunder ont déterminé la position de l'axe de rotation du Soleil d'après les photographies prises de 1874 à 1911 et mesurées à l'Observatoire de Greenwich. Ils trouvent, pour l'époque 1850, θ , I étant l'inclinaison de l'équateur solaire et N la longitude du nœud ascendant sur l'écliptique :

$$I = 7^{\circ}10',6 \quad \text{et} \quad N = 73^{\circ}53',6.$$

Pour la même époque, Carrington avait donné

$$I = 7^{\circ}15' \quad \text{et} \quad N = 73^{\circ}40'$$

PHYSIQUE SOLAIRE. Le P. S. Chevalier, S. J., a entrepris en 1905, à l'Observatoire de Zô-Sé (Chine) une étude photographique de la photosphère solaire. On ne trouve pas sur ces photographies les formes désignées par Nasmyh sous le nom de *feuilles de Saul*, mais on y voit les granules ou *grains de riz* (1). Leur diamètre moyen est de 1",5, et il en est de tous les diamètres compris entre 0",5 et 3". Leur aspect ne présente aucune différence systématique aux diverses phases du cycle solaire. Ils se forment et se déforment rapidement, et les mouvements de granules voisins ont lieu en tous les sens, ce qui exclut l'idée d'un courant de matière à la surface de la photosphère. Le P. Chevalier considère la photosphère comme une couche continue, mais très accidentée, de nuages incandescents. Chaque colonne de vapeurs chaudes, arrivant de l'intérieur à la surface inférieure de cette couche, la soulève en formant une sorte de bulle immense, de forme plus ou moins arrondie ou ovale. La partie soulevée doit augmenter d'éclat par surélévation de sa température et surtout par diminution de l'épaisseur du gaz absorbant qui la recouvre : c'est le granule brillant. Cette manière de voir rappelle celle de Faye, reprise plus tard par Ekholm.

Des observations de Slocum ont montré que les taches exercent à longue portée une forte attraction sur certaines proéminences qui leur sont associées.

H. Deslandres a continué ses recherches sur les filaments et les alignements, et a étudié leur relation avec les protubérances. Hale et Evershed considèrent les filaments comme la projection des protubérances sur le disque du Soleil ; d'après Deslandres, on peut dire seulement que les filaments annoncent ou jalonnent des files de protubérance.

Les phénomènes solaires et le magnétisme terrestre ont été étudiés par M. J. Bosler sur les diagrammes publiés, depuis trente ans, par l'Observatoire de Greenwich. Les éruptions

(1) C'est Secchi, croyons-nous, qui leur a donné le premier ce nom. Scheiner comparait l'aspect de la surface du Soleil à celui du « lait caillé » et W. Herschel à la « peau d'une orange ».

solaires seraient insuffisantes à provoquer directement des perturbations magnétiques ; mais elles pourraient produire des variations dans les courants telluriques, variations qui seraient capables de troubler les instruments magnétiques dans leur voisinage. Le champ directement perturbateur aurait donc son siège, non dans le Soleil, mais dans le sol terrestre.

Le P. Cortie a comparé les variations de l'activité solaire et celles du magnétisme durant la période 1898-1911. L'inclinaison de l'écliptique sur le plan de l'équateur solaire, amenant des changements dans la position de la Terre par rapport aux zones des taches, serait la cause de la variation annuelle dans le nombre des perturbations magnétiques.

Les observations cinématographiques de l'éclipse du Soleil du 17 avril 1912, indiqueraient un faible aplatissement de la Lune dans le sens de son axe de rotation (1).

Les grosses planètes et les satellites. — Il s'agit surtout des observations des surfaces planétaires dues à Jarry Desloges, G. et V. Fournier.

Mercure. Les plages sombres paraissent formées de détails permanents d'une grande stabilité.

Vénus. Dans le cas problématique d'une rotation rapide, on ne pourrait admettre qu'une période très voisine de 24 heures (2).

Mars. Six dessins et un planisphère de la planète reproduisent les observations faites, en 1907, 1909, 1911-12, aux Observatoires du Révard, du Massegros, de Toury et de Setif. — Autres observations de F. Le Coultre, C. Wirtz, Lowell et Slipher.

Jupiter. Observations du *Schleier* (3), de la tache rouge et des bandes de Jupiter.

(1) Voir REVUE DES QUEST. SCIENT., 3^e série, t. XXII, juillet 1912, p. 478.

(2) Les durées des rotations de Mercure et de Vénus sont toujours très incertaines. D'après Schiaparelli et Lowell, ces planètes, comme la Lune, tourneraient sur elles-mêmes en un temps égal à celui de leur révolution sidérale, soit en 88 jours environ pour la première et 225 jours pour la seconde. Pour d'autres, la durée de rotation serait voisine de 24 heures. On trouvera un bon résumé des travaux qu'a provoqués ce problème intéressant dans Ch. André, *Les Planètes*, pp. 18 et suiv. Paris, Gauthier-Villars, 1909.

(3) On appelle *Schleier* ou *Voile* une tache de latitude plus basse que la *tache rouge*, de forme elliptique, de teinte jaunâtre, plus claire au centre que sur les bords ; il est extrêmement difficile d'y discerner quelque détail. L'intervalle qui la sépare de la tache rouge, appelé parfois *Baie*, est variable, le *Voile* et la tache rouge ayant des mouvements différents en longitude.

Saturne. Quatre dessins de Jarry Desloges. Observations diverses sur la planète et ses anneaux (1).

Uranus. Durée de la rotation : 10^h45^m environ (P. Lowell) ; diamètre à la distance du demi-grand axe de l'orbite de la planète, $3'',537$ (Wirtz).

Neptune. Diamètre à la distance moyenne de la planète au Soleil, $2',29$ (G. Abetti).

LA LUNE. Analyse des *Recherches sur le mouvement de la Lune*, le dernier ouvrage de Newcomb, publié dans les *ASTRON. PAPERS* (t. IX, 1 part.) de Washington avec la collaboration de Frank E. Russ. Une planche traduit les fluctuations inexplicées dans la longitude moyenne de notre satellite, 1630-1908.

Absorption sélective de la lumière à la surface de la Lune. Recherches photographiques de R. W. Wood. La combinaison de photographies de la Lune prises avec des radiations appartenant à trois régions différentes du spectre, permet une étude pétrographique de la surface de la Lune. Ainsi, trois images obtenues avec des radiations jaunes, violettes et ultra-violettes du spectre présentent des différences dans l'intensité de certaines taches sombres comparables à celles que montrent des photographies, prises dans les mêmes conditions, d'un fragment de lave volcanique (2).

(1) Sept divisions ont été notées dans l'anneau de Saturne : « Six d'entre elles paraissent particulièrement instables, tant dans leur emplacement que dans leur aspect. Il semble que, sous des influences dont il nous est bien difficile de pénétrer la cause, ces divisions sont plus ou moins larges et donc visibles et invisibles ; de plus, les matériaux qui composent l'anneau paraissent se séparer, tantôt à une place, tantôt à une autre.

» Si en outre nous envisageons les plages sombres ou claires observées dans l'anneau et se déplaçant au cours de sa rotation, l'anneau lumineux, en dehors du plan, découvert en 1907 à mon observatoire du Revard par M. G. Fournier, les corpuscules brillants suivis sur le bord de l'anneau cette même année au Revard, les plages sombres et les régions claires de l'anneau de Bond si variables dans leur aspect, tout concourt à nous donner l'impression de l'instabilité du système des anneaux de Saturne. » R. Jarry-Desloges, *Les anneaux de Saturne*. BULLETIN ASTRONOMIQUE (Paris), t. XXXI (avril 1914), pp. 149-150.

(2) Sur le procédé employé par le Professeur américain, on peut lire : la *Lecture* qu'il a donnée à la *Royal Institution* le 19 mai 1911, reproduite dans l'ANNUAL REPORT (Smithsonian Institution, 1911), pp. 155-166 avec 6 planches, y compris les photographies de la Lune dont il est question ici.

Les petites planètes. — Tableau de 117 petites planètes nouvelles qui ont été numérotées définitivement et ont reçu des noms. — Tableau des éléments elliptiques des 21 astéroïdes, 733 à 754. Recherches diverses.

Les comètes. — Quatre comètes ont été découvertes en 1912. L'une d'entre elles (1912 *a*) a été visible à l'œil nu ; une autre (1912 *b*) est la comète périodique de Tuttle.

Recherches relatives à diverses comètes. Halley, Morehouse, Brooks (1911 *c*), Holmes, Wolf ; orbites définitives de 1910*a*, 1846 VII, 1905 II.

Univers sidéral. — *Catalogues et cartes.* Les feuilles de la carte photographique du Ciel parues en 1912 portent le nombre des cartes publiées par les divers observatoires, à la fin de cette année, aux totaux suivants.

| | <i>Zone</i> | <i>Cartes</i> |
|-------------------------|---------------|---------------|
| Uccle | + 39° à + 32° | 19 |
| Paris | + 24 à + 18 | 444 |
| Bordeaux | + 17 à + 11 | 201 |
| Toulouse | + 10 à + 5 | 254 |
| Alger | + 4 à — 2 | 414 |
| San Francisco | — 3 à — 9 | 366 |
| Tacubaya | — 10 à — 16 | 303 |

Étoiles variables. — *Photométrie stellaire.* Observations de *Mira Ceti* (o Baleine). — Résumé de très nombreuses recherches, théoriques et pratiques, sur les variables de différents types.

Dans le cours de l'année 1912, 34 variables nouvelles ont été annoncées. — Tableau des 141 variables nouvelles cataloguées définitivement par la commission de l'*Astronomische Gesellschaft*. — Monographie de *Nova Geminorum 2* (1), découverte par S. Enebo à Dombass (Norvège), le 12 mars 1912. Une planche donne divers aspects du spectre de cette étoile.

M. Giebeler a obtenu dix spectrogrammes de *Nova Geminorum 2*, du 15 mars au 4 avril 1912. Il trouve un certain nombre de coïncidences avec les raies du radium, de l'uranium et de l'émanation. Küstner et Kayser, qui ont examiné ces spectro-

(1) Distincte de *Nova Geminorum* découverte par Turner sur une photographie prise à Oxford, le 16 mars 1903.

grammes, estiment que la présence des éléments radioactifs dans la *Nova* est très probable. Kayser montre qu'un certain nombre de particularités présentées par les étoiles nouvelles s'expliqueraient par les processus radioactifs. Il estime que la *Nova Geminorum 2* ne diffère pas essentiellement des autres ; si les raies des corps radioactifs ont pu être aperçues dans son spectre, c'est uniquement grâce à un ensemble de conditions favorables.

Ludendorff, travaillant sur un spectrogramme obtenu le 15 mars 1912, à l'Observatoire de Postdam, a trouvé lui aussi une coïncidence assez satisfaisante entre certaines raies de la *Nova*, trois raies du radium et les quatre les plus marquées de l'émanation. Toutefois les écarts entre les vitesses radiales conclues des raies du radium, par Giebel et lui, l'amènent à penser que la présence des substances radioactives dans le spectre de la *Nova* est une question non résolue. C'est à une conclusion analogue que sont arrivés W. S. Adams et A. Kohlschütter, qui ont fait une étude approfondie des spectrogrammes de la *Nova* obtenus, du 22 mars au 27 mai 1912, au Mont Wilson : la présence du radium et de son émanation n'y est pas établie.

A la suite des communications de H. Giebel et de Küstner sur la présence du radium dans la *Nova*, Dyson l'a recherché dans le Soleil en comparant les principales raies du spectre d'étincelle du radium (Runge et Precht) et les lignes chromosphériques relevées dans les dernières éclipses. Il conclut que la présence du radium dans la chromosphère est probable ; celle de l'émanation laisse plus de place au doute. A. S. Mitchell et Eversched, qui ont étudié la même question, se prononcent pour la négative dans les deux cas.

Photométrie et Colorimétrie. Généralités. D'après Ceraski, la grandeur stellaire du Soleil serait voisine de $-27,1$ en prenant pour grandeur de α Leonis 1,58. — Nombreuses observations sur les grandeurs photographiques et visuelles des étoiles et sur leur coloration.

II. Deslandres a cherché une explication simple des étoiles temporaires en rapprochant certaines particularités qu'elles présentent de ce que l'on observe sur le Soleil. Il arrive à cette conclusion : une *Nova* est une étoile déjà refroidie, présentant une écorce solide relativement mince. Sous l'influence d'une cause interne, l'écorce se brise et les gaz intérieurs incandescents font brusquement irruption à l'extérieur et forment pen-

dant quelque temps une atmosphère très dense, très brillante, animée de mouvements analogues à ceux de l'atmosphère solaire, mais beaucoup plus rapides. Puis l'écorce se reforme et l'atmosphère se refroidit, se condense et perd peu à peu son éclat. Les ions et les électrons des deux signes se mouvant verticalement dans l'atmosphère de l'étoile nouvelle, les uns dans un sens, les autres en sens inverse, peuvent expliquer en partie les grands déplacements des raies spectrales vers le rouge et vers le violet.

Dans cette hypothèse, on peut facilement expliquer la première partie du phénomène des étoiles nouvelles ; quant à la transformation finale en nébuleuse, elle reste toujours mystérieuse.

L'étude des transformations du spectre de *Nova Geminorum 2* a suggéré au P. Cortie une autre explication qui supprimerait ce mystère : le phénomène des étoiles nouvelles ne serait pas la transformation d'une étoile en nébuleuse, mais le résultat d'une éruption gigantesque, d'une tempête chromosphérique énorme se présentant dans une étoile nébuleuse ; la tempête se calme et l'étoile revient à son état primitif.

ÉTOILES DOUBLES VISUELLES. Mesures micrométriques ; observations photographiques ; déterminations d'orbites : *4 Aquarii*, γ *Coronae australis*, τ *Cygni* : en admettant pour valeur de la parallaxe absolue de cette dernière étoile $\pi = + 0''{,}069$, on obtient, pour ce couple, une luminosité égale à 9,25 fois celle du Soleil et pour la somme des masses 1,26 fois la masse du Soleil répartie de la manière suivante : composante A (gr. 5,0) $m = 0,71$; composante B (gr. 8,1) $m' = 0,55$.

ÉTOILES DOUBLES SPECTROSCOPIQUES. — VITESSES RADIALES. Tableau des éléments d'un certain nombre d'étoiles doubles spectroscopiques, récemment déterminés ou calculés à nouveau. — Tableau des étoiles dont la variabilité de la vitesse radiale a été établie ou annoncée en 1912, etc.

DISTANCES, MOUVEMENTS ET DISTRIBUTION DES ÉTOILES. F. Slocum a effectué une détermination photographique de la parallaxe de *Nova Lacertae*, 1910. Elle serait très faible, comme celles des *Nova* en général. — Tableau de 244 parallaxes obtenues à l'Observatoire de l'Université Yale. — Liste de 124 parallaxes stellaires déduites, par A. S. Flint, des observations de passage

effectuées à l'Observatoire Washburn, à Madison (Wisconsin). — Liste analogue de 41 parallaxes stellaires déduites, par G. Abetti, des observations de passage effectuées à l'Observatoire de Heidelberg. — Tableau de 57 parallaxes stellaires déterminées par N. Iewdokimow au cercle méridien de l'Observatoire de Khar-kow. — S. Kostinsky a appliqué à la recherche de parallaxes la méthode stéréoscopique :

Pour 61 du Cygne, il a obtenu les valeurs moyennes suivantes : Parallaxe = + 0",36 ; mouvement propre annuel total 5",64.

Mouvement propre de la Polaire (Updegraff). — Mouvement propre de 160 étoiles de la région des Pléiades (F. Kromm) : le déplacement général du groupe s'effectue suivant un grand cercle ayant pour angle de position $175^{\circ} 46'$, et pour valeur $4",024$ par siècle.

Courants d'étoiles, type spectral et vitesse radiale. Une liaison existe entre la vitesse et la classe spectrale ; il semblerait que la matière cosmique ne devient sujette à la gravitation qu'à partir d'un certain degré d'évolution. — E. B. Bross a déterminé la vitesse du système solaire relativement aux étoiles du type spectral A (1), d'après les vitesses radiales de 33 d'entre elles : il a obtenu 17 km. par seconde. — Étude des vitesses radiales de 225 étoiles à hélium (2) rangées suivant la classification de Lockyer (3), où les étoiles sont ordonnées non seulement d'après leur nature chimique, mais aussi suivant leur âge et leur température (Ludendorff) : les longueurs d'onde des raies dans les étoiles à hélium varient avec les conditions de l'étoile et sont en rapport avec la classification de Lockyer ; celles à vitesse radiale positive se rangent parmi les étoiles à température croissante, celles à vitesse radiale négative parmi les étoiles à température décroissante.

Dans ses études de *statistique stellaire*, Charlier a divisé le Ciel en 48 carrés de même aire. Un de ces carrés situé dans la Voie lactée, renferme de 30 000 000 à 250 000 000 étoiles, tandis que pour le carré renfermant un pôle de la Voie lactée, ces limites sont 600 000 à 2 000 000. Il estime que la limite de notre système solaire dans la direction de la Voie lactée est

(1) Classification des catalogues de Harvard. Voir l'ANNUAIRE DU BUREAU DES LONGITUDES, 1913, p. 297.

(2) Groupe B et BA de Harvard.

(3) Sur les idées de Lockyer, voir son livre *L'Évolution inorganique*. Trad. franç. Paris, Alcan (*Bibl. sc. intern.*).

comprise entre 600 et 1400 *siriomètres*, le siriomètre valant un million de fois la distance moyenne du Soleil à la Terre. Cette question a fait également l'objet des recherches de K. Schwarzschild, résumées dans l'ANNUAIRE.

G. A. Tikhoff a poursuivi ses études photographiques faites à l'aide de 4 filtres sélecteurs, laissant passer respectivement l'ultra-violet, l'indigo-violet, le jaune-vert et l'orangé. Il en a déduit des résultats généraux relatifs au groupe des Pléiades : l'éclat des étoiles *principales* de cette constellation croît de l'ultra-violet à l'orangé ; le nombre et l'éclat des étoiles *faibles*, au contraire, augmentent en passant de l'ultra-violet aux radiations moins réfrangibles. Ces résultats concordent avec les observations d'autres régions du Ciel : la différence d'éclat des étoiles augmenterait donc, en général, avec la diminution de la longueur d'onde.

La couleur d'une étoile dépend essentiellement de la température. D'après des expériences de laboratoire sur des sources terrestres de lumière, la couleur d'une étoile à spectre continu se rapproche d'autant plus du rouge que sa température est plus basse. Par contre, les étoiles bleuâtres ont la température la plus élevée. L'atmosphère des étoiles est une deuxième cause d'où dépend leur couleur : l'absorption sélective de cette atmosphère donne naissance aux raies de Fraunhofer, et elle augmente d'une façon continue avec la diminution de la longueur d'onde. La troisième cause qui agit sur la couleur des étoiles est l'absorption sélective de la lumière dans l'espace ; elle dépend de la distance des étoiles. La méthode suivie par Tikhoff lui a permis de négliger l'influence de l'atmosphère terrestre. La température effective du Soleil et des étoiles se déduit de la loi de Wien, par la longueur d'onde λ_m du maximum de l'énergie du spectre ; on la calcule par extrapolation, les températures des étoiles étant bien supérieures à celles que l'on obtient dans les laboratoires pour lesquelles la loi a été établie. Tikhoff trouve pour l'étoile la plus rouge 2800° et pour la plus bleue 17 700°. On constate que la couleur des étoiles est très bien expliquée par la température jusqu'à la classe E₅G inclusivement. Cette notation et les suivantes se rapportent à la classification des spectres stellaires employée dans les publications de l'Observatoire de Harvard. La classe G (étoiles solaires) montre un écart sensible, et les classes G₃K et K sont très mal représentées.

AMAS STELLAIRES ET NÉBULEUSES. Hertzsprung a déterminé les coordonnées équatoriales des pôles des grands cercles de plus grande concentration pour diverses catégories d'objets célestes : Voie lactée, étoiles à hélium, variables binaires, nébuleuses gazeuses etc. Le grand cercle de concentration des amas globulaires aurait son pôle vers $\alpha = 265^{\circ},0$ et $\delta = -52^{\circ},7$; Hinks avait trouvé $\alpha = 260^{\circ}$ et $\delta = -52^{\circ}$. Parmi les étoiles à hélium, 72 % ont leurs longitudes galactiques comprises entre $248^{\circ} \pm 90^{\circ}$, etc.

D'après 48 photographies obtenues par Fath avec le réflecteur de 60 pouces de l'observatoire du Mont Wilson, une pose d'une heure et des plaques Lumière Σ , on trouverait, pour l'ensemble du Ciel, 164 000 nébuleuses spirales.

Suivant Nicholson, il existe, dans le spectre des nébuleuses, deux raies que la constitution de l'atome du nébulium qu'il a imaginée n'explique pas ; ce sont : $\lambda 4685,7$ et $\lambda 3729,0$. Or M. Wolf a trouvé que la partie centrale obscure de la nébuleuse de la Lyre affecte, après une longue exposition, la plaque photographique : la radiation $\lambda 4686$ provient de cet espace et non de l'anneau brillant. Le maximum d'émission de la longueur d'onde 3729 vient, au contraire, du bord externe de l'anneau, et s'étend faiblement sur l'anneau entier.

D'après les recherches effectuées à l'observatoire de Harvard, portant sur 32 000 étoiles, on a trouvé : 1° que 52 % environ de ces étoiles sont du type A (étoiles type de cette classe : Sirius, Véga, etc.) ; 2° que le rapport du nombre d'étoiles du type A au nombre d'étoiles de tous les autres types augmente quand l'éclat diminue ; 3° que dans la Voie lactée les deux tiers des étoiles sur lesquelles ont porté les recherches sont du type A. Il semble résulter de là que le spectre de la lumière stellaire et, en particulier, celui de la lumière globale de la Voie lactée serait du type A. — E. A. Fath a cherché à déterminer directement le spectre de la lumière globale de la Voie lactée, en photographiant au Mont Wilson trois régions brillantes de la galaxie. Les temps de pose ont été, respectivement, de 65 heures 13 minutes, $67^{\text{h}}52^{\text{m}}$ et $74^{\text{h}}11^{\text{m}}$. Les résultats obtenus sont concordants, et il en résulte que le spectre de la lumière globale de la Voie lactée serait approximativement du type solaire.

LE GLOBE TERRESTRE ; COORDONNÉES GÉOGRAPHIQUES ; VARIATION DES LATITUDES. On nomme *lumière de la Terre* l'éclat du Ciel à minuit, abstraction faite de la lumière des étoiles. C'est une

lueur diffuse, éclairant même les régions du Ciel les plus sombres et qui, vraisemblablement, a son siège dans l'atmosphère terrestre. Voici les conclusions d'un travail de Yntema fait en Hollande sur cette question :

1° La lumière du Ciel la nuit est due en partie à celle venant directement des étoiles, et en partie à celle provenant de l'atmosphère ; 2° celle qui ne provient pas de la lumière diffuse des étoiles doit être attribuée en tout ou en partie à une aurore permanente ; 3° la lumière générale du Ciel est variable au cours d'une même nuit, d'une nuit à l'autre et augmente vers l'horizon.

Des recherches d'Abbas au Mont Whitney, à 4420 mètres d'altitude, ont confirmé les résultats de Yntema ; il a trouvé seulement que l'intensité de la lumière nocturne est plus faible dans le rapport de 10 à 7 environ. D'après Yntema, l'éclat de la lumière de la Terre est de 1/10 de celui d'une étoile de première grandeur, par degré carré.

On a invoqué, en faveur de l'explication basée sur l'existence d'une aurore permanente, la présence de la raie verte λ 5770 (celle de l'aurore boréale) reconnue par Campbell dans la lumière de toutes les parties du Ciel. Humphreys a calculé la lumière qui serait produite par le bombardement de la haute atmosphère par des corpuscules et des poussières cosmiques arrivant avec la vitesse parabolique de 42 kilomètres à la seconde. Il a trouvé qu'il suffit d'une masse de trois kilogrammes par seconde pour expliquer le phénomène observé. Cette masse semble n'avoir rien d'exagéré.

Ch. Galinot a étudié, à l'observatoire de Lyon, l'absorption sélective de l'atmosphère terrestre à l'aide du photomètre hétérochrome de Nordmann, entre 4° et 88° de distance zénithale. L'extinction atmosphérique croît d'autant plus vite avec la distance zénithale que la longueur d'onde est plus courte. Les écarts constatés entre l'observation et le calcul, à diverses distances zénithales, ne peuvent s'expliquer en admettant que l'absorption ne dépend que de la masse d'air traversé. Il semble que l'on doive admettre une diffraction produite par des particules de plus grandes dimensions que les molécules d'air.

L. de Ball a comparé les valeurs de la constante de la réfraction déduites de diverses séries d'observations (Ponkovo, Greenwich, Munich, Heidelberg, Odessa) ; la moyenne de ces déterminations est $60'',14$.

Coordonnées géographiques : Station astronomique du Pic du Midi de Bigorre (E. Rabiouille) : centre de la coupole, longitude ouest de Paris : $8^m46^s,64$, latitude nord $42^m56^s31'',5$. Longitude de l'observatoire de Lille : $3^m23^s,519$ E de Paris, etc. — Th. Albrecht a publié les résultats provisoires, concernant la variation des latitudes, tirés des observations des six stations de Mizusawa, Tchardjui, Carloforte, Gaithersburg, Cincinnati et Ukiah. L'ANNUAIRE reproduit la courbe décrite par le pôle de 1906,0 à 1913,0. Durant l'année 1912, l'amplitude de la variation a encore diminué. — Recherches se rapportant à la même question : G. L. Doolittle (Philadelphie) ; G. Boccardi (Turin), etc.

N. N.

HISTOIRE DES MATHÉMATIQUES

Comment s'y prendre pour éviter d'accréditer l'erreur dans l'histoire des mathématiques, par M. G. Eneström (1).

— Pour empêcher la propagation des erreurs, avant tout il convient de n'en pas commettre soi-même. Or, si l'on veut ne pas s'exposer à trop d'erreurs dans l'étude de l'histoire des mathématiques, il n'est au fond qu'une méthode : lire et relire sans cesse les auteurs originaux. On les lira dans leur langue, si c'est possible ; faute de quoi, on se contentera d'une traduction. Mais, une traduction n'est déjà plus le texte primitif ; il importe de ne pas l'oublier.

Depuis longtemps ces pensées me hantent l'esprit devant la persistance avec laquelle M. Eneström attaque M. Maurice Cantor, par ses « *kleine Bemerkungen* » sur les *Vorlesungen über Geschichte der Mathematik* du professeur d'Heidelberg. M. Eneström a tort et cède, je le crains, à un trop long accès

(1) *Wie kann die weitere Verbreitung unzuverlässiger mathematisch-historischer Angaben verhindert werden ?* von G. Eneström. BIBLIOTHECA MATHEMATICA, 3^e série, t. 13, Leipzig, Teubner, 1912-1913 ; pp. 1-13.

Kleine Bemerkungen zur letzten Auflage von Cantors Vorlesungen über Geschichte der Mathematik ; von G. Eneström. Même volume, pp. 65-82, 154-177, 261-271, 339-351.

d'humeur. L'expérience désagréable qu'il paraît avoir faite en étudiant les *Vorlesungen*, et qu'il devait, je crois, faire fatalement, explique pourquoi, selon moi, M. Eneström se trompe.

L'histoire est souvent bâtie sur des probabilités ; les mathématiques s'édifient sur des certitudes. Vouloir, dans les moindres détails, se servir en toute confiance d'un manuel d'histoire, comme on se sert d'un manuel de mathématiques, sera toujours une méprise, quand bien même cette histoire serait celle des mathématiques. Un manuel de mathématiques peut atteindre un degré de perfection définitif auquel un manuel d'histoire ne saurait prétendre. M. Eneström a cru le contraire, du moins a-t-il agi comme s'il l'avait cru. Quand il connut les *Vorlesungen* de M. Cantor, il éprouva d'abord pour elles une admiration profonde. Elles étaient, d'après lui, le « standard book » qu'un historien des mathématiques devait toujours avoir sur sa table de travail. M. Eneström avait raison et jugeait bien l'œuvre du maître d'Heidelberg. Son admiration, je l'ai insinué ci-dessus, le fit choir dans un piège ! Il ouvrit la BIBLIOTHECA MATHEMATICA aux savants, leur demandant de petites corrections, de petites remarques sur les *Vorlesungen* — « kleine Bemerkungen ». — Après amendement, les historiens des mathématiques prendraient les *Leçons* de Cantor comme une base, désormais inébranlable, sur laquelle ils bâtiraient leurs travaux ultérieurs. C'était vouloir édifier sur un manuel d'histoire, comme un géomètre bâtirait la géométrie descriptive sur les *Éléments* d'Euclide. Illusion de mathématicien ! Car seul un mathématicien pouvait à ce point se tromper sur ce que l'on doit, sur ce que l'on peut demander à un précis d'histoire.

Cette illusion, je n'ai pas été moi-même sans la partager quelque peu. Je n'en éprouve guère d'embarras, elle était naturelle ; mais, en l'avouant, j'épargne à M. Eneström l'ennui de devoir me la rappeler. J'ai donc suivi la tentative du directeur de la BIBLIOTHECA MATHEMATICA avec intérêt et curiosité d'abord, avec scepticisme plus tard, avec une parfaite incrédulité maintenant. Que doit-on demander, en effet, à un manuel embrassant dans son plan l'histoire des mathématiques tout entière, sinon un résumé fidèle de l'état de cette science ? Or, pareil résumé est beaucoup plus une recherche d'érudit, qu'un travail de mathématicien. Dans cette recherche, M. Cantor est venu le premier, M. Eneström l'a suivi. Pour les juger avec équité, il faut donc ne pas oublier la règle si chère à Paul Tannery : « Dans les recherches d'érudition, celui qui vient le

second prend aisément l'avantage. » Soyons de bon compte et ayons la loyauté de l'avouer ! Historiens des mathématiques, où en serions-nous tous, où en serait M. Eneström lui-même, si nous n'avions pas eu pour guider nos premiers pas les *Vorlesungen* de M. Cantor ?

Mais, voilà ! Après avoir admiré M. Cantor, M. Eneström s'avisait un jour de remonter aux sources et de le contrôler. Ce faisant, il remarqua, non sans surprise semble-t-il, des inexactitudes dans son modèle, voire des fautes. Il y en a, en effet, et d'assez nombreuses. Quoi d'étonnant dans un ouvrage aussi considérable ?

Plus fréquemment, cependant, lecture faite, il arriva à M. Eneström de juger les géomètres anciens autrement que M. Cantor. Question d'appréciation personnelle, où il est bien libre aux juges de différer d'avis. Souvent enfin le savant suédois crut pouvoir traduire les textes en serrant le sens de plus près que le savant allemand. Mais, encore une fois, descendant le second dans la lice, pour un homme aussi solidement armé que M. Eneström, était-ce fort difficile ?

De toutes ces gloses et rectifications aux *Vorlesungen*, M. Eneström désirerait nous faire conclure qu'elles sont un ouvrage surfait, à ne manier qu'avec la plus grande précaution.

Un ouvrage surfait ! Non ! En écrivant ses *Vorlesungen*, M. Cantor a exécuté un tour de force qui ne sera probablement pas répété de si tôt. Je ne crois pas qu'il faille être prophète pour le prédire.

Mais, qu'il soit bon de consulter les *Vorlesungen* avec discernement, voire avec précaution, voilà qui est différent. Les *Vorlesungen* sont à la fois un précis et une encyclopédie. Or, se servir d'un précis d'histoire et d'une encyclopédie avec discernement et précaution est dans l'ordre des choses.

Dans ses *Vorlesungen über Geschichte der Trigonometrie*, von Braunmühl (1) venant après Cantor, n'a pas eu grande peine à être plus exact que lui. « On sait que son ouvrage doit être employé avec grande prudence », dit néanmoins fort bien M. Eneström, en parlant de von Braunmühl (2). C'est que von Braunmühl n'écrivit pas une trigonométrie, mais un livre d'his-

(1) Leipzig, Teubner, t. 1, 1900 ; t. 2, 1903. Pour le but que j'ai en vue, il importe assez peu que von Braunmühl ne cite pas toujours la dernière édition des *Vorlesungen* de Cantor que nous possédons actuellement.

(2) BIBLIOTHECA MATHEMATICA, t. 13, p. 264.

toire. C'est surtout que ce livre d'histoire fut écrit pour les mathématiciens. Or, habitué à pouvoir se fier, sans y mettre de nuances, à la vérité d'un théorème, tout mathématicien doit utiliser les livres d'histoire avec précaution, même ceux de M. Eneström. Malgré son très louable, son méticuleux souci de l'exactitude, l'inexorable censeur n'échappe pas à cette loi. A preuve, au moment même où il nous met en garde contre les inexactitudes de von Braunnühl, M. Eneström lui attribue des *Vorlesungen über Geschichte der MATHEMATIK* (1) qui n'existent pas. En outre, à la même page de la BIBLIOTHECA MATHEMATICA, parlant de la célèbre approximation du nombre π calculée par Adrien Anthonisz, il lui donne, sans s'en apercevoir, les deux valeurs $\frac{355}{113}$ et $\frac{355}{113}$ (2). « Medice, cura te ipsum », me ripostera sans doute M. Eneström. Mon Dieu, oui ! Me rappelant certaines conclusions, aussi erronées qu'imprévues par moi, déduites de mes écrits, plus ou moins par ma faute, il me faut reconnaître que moi aussi je suis comme les autres.

Précisons, car je regretterais qu'on se pût méprendre sur le sens de mes observations. M. Eneström est, je crois, l'érudit d'aujourd'hui le mieux au courant de l'histoire des mathématiques ; je le dis sans aucune arrière-pensée. Quand il annonça

(1) Il faut évidemment der *Trigonometrie*, comme il est au surplus aisé de s'en assurer en consultant ce dernier ouvrage à l'endroit indiqué par la référence. L'erreur de M. Eneström n'embarrassera pas beaucoup les professionnels de l'histoire des mathématiques au courant de la bibliographie de leur science. Mais, oserait-on en dire de même du grand nombre des mathématiciens ? On sait le peu d'heures de loisir qu'ils peuvent d'ordinaire consacrer à l'histoire.

(2) C'est la valeur $\pi = \frac{355}{113}$ qui est exacte. Voir sur le sujet un excellent article de M. Mansion, *Sur le calcul de π* , publié dans *MATHESIS*, t. 28, Gand, 1908, pp. 236-242. L'auteur y dit que la valeur approchée calculée par Adrien Anthonisz fut publiée par son fils, Adrien Metius, en 1611, dans son *Arithmeticae et Geometriae Practica* (Franekeræ. Excudebat Rombertus Doyema ; t. II, p. 134 et p. 139). Je saisis cette occasion de confirmer l'exactitude de la date de 1611 donnée ici par M. Mansion. Comme tant d'autres volumes d'un prix inestimable pour l'histoire de la science dans les Pays-Bas, un des exemplaires de cette première édition de l'*Arithmeticae et Geometriae Practica*, que je connaissais, a péri dans l'incendie de la Bibliothèque de l'Université, lors du sac de la ville de Louvain par l'armée allemande, le 26 août 1914. Il y en a un second exemplaire à la Bibliothèque Royale de Belgique, coté : 5^e cl. : 1 ; F. 1. a : Met.

son intention de corriger les quelques imperfections des *Vorlesungen* de M. Cantor, tous ceux qui s'intéressaient à l'histoire des mathématiques y collaborèrent au début (1). Mais, au lieu de se contenter de rectifier ce qui était à proprement parler fautif, au lieu de s'arrêter à la date où parurent les *Vorlesungen*, et de prendre celles-ci pour point de départ des recherches ultérieures, comme semblaient l'indiquer le plan primitif, M. Eneström s'est insensiblement laissé entraîner à mêler à ses corrections, de simples réflexions, des remarques à côté, des découvertes personnelles, des résultats de nouvelles études d'autres mathématiciens ; tout cela en petites notes déchetées, sans liaison entre elles, disséminées non seulement dans treize volumes, mais à quatre endroits différents de ces volumes ! J'admire la grande, l'in vraisemblable patience déployée par l'auteur de ces remarques ; je ne disente pas leur intérêt ; mais leur ensemble a fini par former un des plus inextricables fouillis qui se puisse imaginer. Malgré les tables qui y sont annexées, c'est tout ce qu'il y a d'incommode à consulter. Treize volumes pour la moindre recherche ! Combien n'y a-t-il pas de bibliothèques où les règlements prohibent l'emploi simultané d'un pareil nombre de volumes ?

Ceci n'est qu'un simple inconvénient ; mais voici où M. Eneström a, semble-t-il, vraiment tort.

Le ton des « *kleine Bemerkungen* » a peu à peu perdu de sa sérénité. Sans tourner tout à fait à l'aigre, il dégénère trop souvent en chicanes dans lesquelles perce le désir de trouver M. Cantor malgré tout en défaut, même quand il ne l'est pas. Pourquoi ? Je n'en sais rien et il ne me convient pas de le rechercher ; mais, je le regrette et plusieurs des amis et des admirateurs de M. Eneström ne m'ont pas caché qu'ils le regrettent comme moi. A ne pas reconnaître les services d'un homme comme M. Cantor, la science n'a rien à gagner.

Soyons équitables. Peut-on reprocher à M. Cantor de n'avoir pas su dès 1900, ce qu'après tant de travaux ultérieurs nous savons aujourd'hui ? Ce serait cependant la conclusion logique de beaucoup des « *kleine Bemerkungen* » de M. Eneström.

Mais, m'objectera-t-on, M. Cantor a-t-il suffisamment tenu

(1) En 1900, dans le premier volume de la 3^e série de la BIBLIOTHECA MATHEMATICA, huit savants collaborèrent aux *Kleine Bemerkungen* ; en 1901, j'en compte 10 ; dans le volume actuel M. Eneström est seul.

compte des « kleine Bemerkungen » dans la 3^e édition de son premier volume ? (1)

Le vénérable maître eût, peut-être, été mieux inspiré en se contentant d'une édition inchangée conforme à la 2^e, comme il vient de le faire pour le second volume (2). Son grand âge, ses longs services l'y autorisaient. Personnellement j'eusse fait le vœu de voir une 3^e édition des *Vorlesungen* revue et annotée par M. Eneström, avec l'approbation de M. Cantor. C'est malheureusement désormais impossible. Il faut donc autre chose.

Pendant quelque temps, la librairie Teubner a annoncé la préparation d'un précis d'histoire des mathématiques, par M. Eneström (3). Pourquoi l'érudit critique tarde-t-il tant à faire paraître ce volume ? C'est, il est vrai, infiniment plus difficile que de se borner à annoter les *Vorlesungen* de Cantor. Mais, le précis de M. Eneström pourrait être écrit sur un plan réduit. J'ai traité de tour de force, je ne l'oublie pas, un nouvel ouvrage de l'envergure des *Vorlesungen* ; ce tour de force, je ne songe pas à prier M. Eneström de l'exécuter.

Mettons les choses au mieux : ce précis n'est que l'avenir. En attendant que nous ayons Eneström, il faut bien nous contenter de Cantor. Au surplus, ne nous laissons pas émouvoir outre mesure par les critiques. Les *Vorlesungen* restent un admirable instrument de travail pour qui sait s'en servir ; pour qui ne leur demande pas ce qu'aucune histoire des mathématiques n'a jamais donné et ne donnera jamais ; elles sont une introduction et un guide, rien de plus ; mais, quelle introduction et quel guide !

Cette réflexion me ramène à ma thèse initiale, la nécessité de lire les auteurs originaux. N'avoir pris connaissance des géomètres anciens qu'à travers le prisme Eneström, en donne une image presque aussi difforme, qu'en les regardant à travers le prisme Cantor. Pour les voir tels qu'ils sont, il faut les examiner à l'œil nu, dirai-je, et sans prisme.

(1) Voir à ce propos le compte rendu de la 3^e édition de ce premier volume donné par M. Eneström dans la BIBLIOTHECA MATHEMATICA, 3^e série, t. 7, Leipzig, Teubner, 1906-1907, pp. 398-406.

(2) Absolument parlant, la 3^e édition de ce premier volume l'emporte néanmoins beaucoup sur la seconde ; mais, vu l'état relatif de la science aux années où ces éditions parurent, la troisième est moins achevée que la seconde.

(3) Notamment : *B. G. Teubner's Verlag auf dem Gebiet der Mathematik...* Leipzig und Berlin, 1908, p. 80.

Entre mille autres, en voici une raison péremptoire. Sous peine d'être inintelligible, un historien des mathématiques doit conformer son style aux usages de son temps ; dans une certaine mesure parler et écrire, comme parlent et écrivent ses lecteurs. Liberté d'écriture et de langage très légitime sans doute, qui n'en est pas moins une cause d'appréciations peu justes, souvent même d'erreurs véritables.

Mais, je dis beaucoup de mal des manuels d'histoire des mathématiques !

Pas tant que cela. Leurs défauts ne sont pas le propre des manuels de l'histoire de cette science. Qu'on se renseigne dans la plus exacte, la mieux documentée des histoires littéraires, la lecture d'un discours de Cicéron réserve des surprises. Le critique littéraire peut aider à en faire apprécier l'art et la beauté, dès lors son rôle est terminé. Euclide, Stevin, Descartes, Huygens, Newton, pour peu qu'on les ait fréquentés, conduisent bientôt à une conclusion analogue. La meilleure histoire des mathématiques ne fait pas mieux connaître de pareils maîtres, qu'une histoire littéraire, si bonne soit-elle, ne donne l'idée adéquate d'un discours de Cicéron.

M. Eneström écrira-t-il un manuel assez parfait pour prouver que je me trompe ? Je le désire vivement, car, qu'il m'en croie, personne plus que moi n'admire sa vaste érudition et son beau talent.

La Bibliotheca Mathematica. — Voici les titres des autres articles de grand texte avec, au besoin, quelques lignes d'éclaircissements ou de remarques.

ANTIQUITÉ. — *L'époque où vécut Euclide*, par M. H. Vogt (1), à Breslau. M. Heiberg et après lui la plupart des historiens mettent l'apogée de la vie d'Euclide vers l'an 300 ; mais, M. Vogt croit, preuves à l'appui, devoir le reculer jusque vers 320. Son argumentation consiste surtout dans la discussion d'un passage du *Commentaire du premier livre des Éléments d'Euclide*, par Proclus(2) ; passage, qui nous fournit le meilleur document jetant un peu de lumière sur la date où vécut Euclide. — *Sur l'origine de la théorie des polyèdres semi-réguliers*, par M. G. Loria, à

(1) *Die Lebenszeit Euklids*, von H. Vogt, pp. 193-202.

(2) *Procli Diadochi in primum Euclidis Elementorum librum Commentarii*, ex recognitione Godofredi Friedlein. Lipsiae, in aedibus B. G. Teubneri, 1873, p. 68.

Gènes (1). D'une phrase des *Définitions* de Héron (2), on conclut que les polyèdres semi-réguliers ont été étudiés par Archimède; mais quelques-uns au moins d'entre eux étaient probablement déjà connus antérieurement.

MOYEN AGE. — *Le Trisatika of Sridharacarya*, par N. Ramanujacharia, à Madras et C. R. Kaye, à Simla (3). *Le Trisatika* est un traité de calcul composé par Sridharacaraya, géomètre que la tradition indoue fait vivre au XI^e siècle de notre ère. Le texte sanscrit du *Trisatika* fut publié en 1899, mais sans traduction en langue européenne. M. Ramanujacharia nous en donne maintenant une version anglaise; M. Kaye y ajoute des notes et une introduction. — *Chiffres indous chez les Arabes*, par M. Karpinski, à Ann Arbor (4). — *L'« algorismus de integris » de maître Gernardus*, par G. Eneström, à Stockholm (5). — *L'Algorismus demonstratus*, dont l'*Algorismus de integris* est la première partie, jouit d'une trop grande notoriété pour devoir être présenté au lecteur. Rappelons, cependant, qu'il a déjà fait, dans la BIBLIOTHECA MATHEMATICA, l'objet de plusieurs articles par MM. Duhem et Eneström (6). L'auteur de l'*Algorismus* est douteux. On a nommé, tantôt Regiomontanus, tantôt Jordan de Némore, tantôt Gérard de Crémone, tantôt un certain maître Gernardus, personnage dont au surplus on ne sait rien. C'est à cette dernière opinion que se range M. Eneström. Est-ce à tort ou à raison? Il importe assez peu, car l'*Algorismus* conserverait sa valeur entière, quand bien même il resterait définitivement anonyme. Regiomontanus ne crut pas perdre son temps en le transcrivant de sa propre main, et sa copie se conserve

(1) *Sulle origini della teoria dei poliedri semi-regolari*, di G. Loria, pp. 14-16.

(2) Les *Définitions* de Héron viennent d'être publiées dans *Heronis Alexandrini Opera quae supersunt omnia*, vol. IV. *Heronis Definitiones cum variis collectionibus quae feruntur geometrica*. Copiis G. Schmidt usus edidit J. L. Heiberg, Lipsiae, 1912.

(3) *The Trisatika of Sridharacarya*, by N. Ramanujacharia and G. R. Kaye, pp. 203-217.

(4) *Hindu numerals among the Arabs*, by L. C. Karpinski, pp. 97-98.

(5) *Der « Algorismus de Integris » des Meisters Gernardus*, von G. Eneström, pp. 289-332.

(6) *Ist Jordans Nemoravins Verfasser der Schrift « Algorismus demonstratus »?* von G. Eneström, 3^e sér., t. 5, 1904, pp. 9-14.

Sur l'« Algorismus demonstratus », par P. Duhem, 3^e sér., t. 6, 1905, pp. 9-15.

Voir aussi : *Ueber die « Demonstratio Jordani de Algorismo »*, von G. Eneström, 3^e sér., t. 7, 1906-1907, pp. 24-37.

à la Bibliothèque Impériale de Vienne. Jean Schöner, éditeur de tant d'ouvrages fameux, publia l'*Algorismus* en 1534, chez Petreius à Nuremberg; mais les exemplaires en sont devenus à peu près introuvables. M. Eneström rend donc service en rééditant l'*Algorismus*. Il nous en donne aujourd'hui la première partie, l'*Algorismus de integris*, d'après un manuscrit de la Bibliothèque Vaticane. C'est ce manuscrit qui attribue l'*Algorismus* au maître Gernardus. — Le « *Quadripartitum Numerorum* » de Jean de Meurs, par L. Karpinski (1). Jean de Meurs, savant normand du XIV^e siècle, plus connu sous le nom latinisé de Joannes de Muris, composa une algèbre sous le titre de *Quadripartitum numerorum*. M. Alfred Nagl l'étudia en 1890 (2); M. Karpinski reprend cette étude, mais sur un plan plus large. — « *De latitudinibus formarum* » de Nicole Oresme, par M. H. Wieleitner, à Pirmasen (3). Quand Maximilien Curtze appela jadis l'attention sur ce traité de l'évêque de Lisieux, ce fut une surprise; j'allais dire, ce fut chez plusieurs comme un instant de stupéfaction. Un génie tel qu'Oresme s'était-il vraiment rencontré en plein XIV^e siècle? L'étonnement des historiens des mathématiques prouve plutôt qu'ils connaissaient mal le XIV^e siècle; qu'alors, comme souvent encore aujourd'hui, ils abandonnaient à tort les vieux écrivains de ce siècle à la curiosité des théologiens et des philosophes. A qui croirait que j'exagère, je conseillerais la lecture des études de M. Pierre Duhem sur Léonard de Vinci. Au troisième volume (4) notamment, où l'auteur a réuni des tirés à part publiés dans le BULLETIN ITALIEN ou le BULLETIN HISPANIQUE, on trouve de nombreuses pages consacrées à Oresme et à son *De Latitudinibus formarum*. M. Wieleitner n'a malheureusement pas connu ce troisième volume et son travail y perd. Il me faut bien en faire l'observation, quoique ce soit à contre-cœur, car le mémoire très fouillé du professeur de Pirmasen a beaucoup de bon. On

(1) The « *Quadripartitum numerorum* » of John of Meurs, by L. C. Karpinski, pp. 99-114.

(2) Das « *Quadripartitum* » des Joannes de Muris und das praktische Rechnen im vierzehnten Jahrhundert, von Dr Alfred Nagl. ABHANDLUNGEN ZUR GESCHICHTE DER MATHEMATIK, t. 5, Leipzig, Teubner, 1890, pp. 135-146.

(3) Der « *Tractatus de latitudinibus formarum* » des Oresme, von H. Wieleitner, pp. 115-145.

(4) *Études sur Léonard de Vinci*, par Pierre Duhem, 3^e sér. *Les précurseurs parisiens de Galilée*, Paris, Hermann, 1913.

éprouve quelque ennui à ne pouvoir le louer sans réserve. — *Sur une algèbre du XV^e siècle*, par M. E. Rath, à Stuttgart (1).

TEMPS MODERNES. — *Sur la formation et l'usage des nombres dans les langues indiennes de l'Amérique du Nord*, par M. W. C. Eells, à Tacama (États-Unis) (2). — « *The Whetstone of witte* » (1557), par M. L. Karpinski (3). *The Whetstone of witte*, littéralement, *La pierre à aiguiser l'esprit*, parut en 1557, à Londres, chez Jean Kingston. C'est la première algèbre anglaise qui ait été imprimée. — *Sur l'intégration d'une fonction trigonométrique attribuée à tort à Kepler*, par M. Eneström (4). Bon article. En 1888, M. S. Günther publia, dans la BIBLIOTHECA MATHEMATICA, une note (5) où il attribuait à Kepler l'intégrale définie

$$\int_0^{\varphi} \sin \varphi d\varphi = 1 - \cos \varphi$$

M. Eneström s'excuse, avec quelque insistance, d'avoir admis alors dans sa REVUE, l'article de M. Günther. Il n'y a pas de quoi. On était, je viens de le dire, en 1888 et M. Eneström regardait, à très juste titre, M. S. Günther comme l'un des princes de la science. Mais, M. S. Günther lui-même écrirait-il encore cet article en 1915 ? Quoi qu'il en soit, j'abonde aujourd'hui pleinement dans le sens de M. Eneström. Le directeur de la BIBLIOTHECA observe, en effet, très justement, que parmi les passages de Kepler signalés par M. Günther, les uns sont relatifs à la sommation d'une suite limitée de sinus, qui ne mérite donc en aucune façon le nom d'intégrale. Les autres concernent, il est vrai, des suites illimitées ; mais, la règle donnée par Kepler pour trouver

$$\lim \sum_0^{\varphi} \sin \varphi \Delta\varphi$$

quand $\Delta\varphi$ tend vers 0 est fautive. En l'appliquant on ne trouve pas pour réponse $1 - \cos \varphi$. Aux deux arguments de M. Enes-

(1) *Ueber ein deutsches Rechenbuch aus dem 15. Jahrhundert*, von E. Rath, pp. 17-22.

(2) *On formation and use of numerals in Indian languages of North America*, by W. C. Eells, pp. 218-222.

(3) *The whetstone of witte (1557)*, by L. C. Karpinski, pp. 223-228.

(4) *Ueber die angebliche Integration einer trigonometrischen Funktion bei Kepler*, von G. Eneström, pp. 223-241.

(5) *Ueber eine merkwürdige Beziehung zwischen Pappus und Kepler*, 2^e sér., t. 2; pp. 81-87.

trôm, j'en ajouterais volontiers un troisième. Dans l'histoire des origines du calcul infinitésimal, c'est prêter aux malentendus que de regarder comme équivalentes, soit les notations

$$\int_0^{\varphi} \sin \varphi d\varphi \quad \text{et} \quad \sum_0^{\varphi} \sin \varphi \Delta\varphi,$$

soit les expressions « intégrales définies » et « somme de rectangles infinitésimaux en nombre illimité ». Si on les désirait, on trouverait mes raisons dans le dernier *Bulletin d'histoire des Mathématiques* (1), à propos des quadratures d'Archimède. Inutile de tomber dans une redite. — *Marino Ghetaldi et les débuts de la géométrie des coordonnées*, par M. H. Wieleitner (2). En 1882, M. Eugène Gelcich publia une étude très développée sur le *De resolutione et compositione mathematica* de Ghetaldi (3), étude dans laquelle il se mettait au point de vue spécial des débuts de la géométrie analytique. M. Wieleitner estime que cette étude a vieilli et la remet au point. — *Deux lettres de Desargues et de Bosse*, par M. G. Valentin, à Berlin (4). Rendant compte naguère de la brochure consacrée par M. H. Brocard à Desargues (5), j'ai signalé la trouvaille du bibliothécaire de la Bibliothèque Royale de Berlin, dans le dépôt dont il a la garde. — *Remarques sur la démonstration de Newton relative à la rotation du solide de moindre résistance*, par M. O. Bolza, à Fribourg en Brisgau (6). — *Les recherches de Leibniz sur une équation générale relative aux nombres premiers*, par M. D. Mahnke, à Stade (7). — *La notation par indices chez Leibniz, exemple de*

(1) REV. DES QUEST. SCIENT., t. 74, 1913, pp. 643-646. Dans l'analyse de l'article de M. A. Aubry : *Le Calcul infinitésimal avant Descartes et Fermat*.

(2) *Marino Ghetaldi und die Anfänge der Koordinatengeometrie*, von H. Wieleitner, pp. 242-247.

(3) *Eine Studie über die Entdeckung der analytischen Geometrie mit Berücksichtigung eines Werkes des Marino Ghetaldi Patrizier Ragusaer, aus dem Jahre 1630*, von Eugen Gelcich. ABHANDLUNGEN ZUR GESCHICHTE DER MATHEMATIK, t. 4, Leipzig, Teubner, 1882, pp. 191-231.

(4) *Zwei Briefe von Desargues und Bosse*, von G. Valentin, pp. 23-28.

(5) *Analyse d'autographes et d'autres écrits de Girard Desargues*, par H. Brocard, Bar-le-Duc, Comte-Jacquet, 1913. Voir mon dernier *Bulletin d'histoire des Mathématiques*, dans la REV. DES QUEST. SCIENT., t. 74, 1913, pp. 649 et 650.

(6) *Bemerkungen zu Newtons Beweis seines Satzes über den Rotationskörper kleinsten Widerstandes*, von O. Bolza, pp. 146-149.

(7) *Leibniz auf der Suche nach einer allgemeinen Prinzabgleichung*, von D. Mahnke, pp. 29-61.

sa caractéristique combinatoire, par le même (1). — *Lagrange et l'histoire des Mathématiques*, par G. Loria (2); avec un beau portrait de Lagrange. — *Pour l'histoire de l'interpolation par les fonctions exponentielles*, par MM. H. Burkhard et R. Kleeberg, à Munich (3). — *Sur l'introduction du mot « groupe » comme terme technique en mathématiques*, par M. G. A. Miller, à Urbana (4). Le sens technique, c'est-à-dire, propre aux mathématiques, a été donné au mot « groupe » par Galois. Telle était du moins l'opinion courante quand M. E. Bortollotti crut devoir la révoquer en doute dans le N° 22 de la TRIBUNE PUBLIQUE de l'édition française de l'*Encyclopédie des sciences mathématiques*. Il y fait remonter à Poinsoit l'emploi du mot « groupe » au sens spécial que lui donnent les mathématiciens. Les passages de Poinsoit cités à l'appui par M. Bortollotti sont peu concluants.

« Isis ». — *Revue consacrée à l'Histoire de la science, publiée par George Sarton* (5). — Dans un *Bulletin d'histoire des Mathématiques*, convient-il de mentionner la nouvelle Revue belge Isis? Je m'y décide, d'abord pour ne pas paraître ignorer une publication nationale; ensuite à cause de l'exemple que me donne M. Eneström, dans la BIBLIOTHECA MATHEMATICA; enfin et surtout à raison du titre: Isis, *Revue consacrée à l'histoire de la science*. Ce titre promettait beaucoup! Une revue consacrée à l'histoire de la science! On n'en possède pas publiée en langue française. Isis comblait une vraie lacune. Malheureusement, dès le second fascicule, le titre change et devient: Isis, *Revue consacrée à l'histoire et à l'organisation de la science*. Encore ce titre est-il trompeur. D'histoire de la science, j'entends de l'histoire vraie, fruit de recherches appuyées sur pièces et documents; de cette histoire là, il n'est presque pas question.

(1) *Die Indexbezeichnung bei Leibniz als Beispiel seiner kombinatorischen Charakteristik*, von D. Mahne, pp. 250-260.

(2) *Lagrange e la storia delle matematiche*, di G. Loria, pp. 333-338.

(3) *Zur Geschichte der Interpolation durch Exponentialfunktionen*, von H. Burkhardt und R. Kleeberg, pp. 150-153.

(4) *On the introduction of the word « group » as a technical mathematical term*, by G. A. Miller, pp. 62-64.

(5) Wondelgem-lez-Gand, Belgique, 1913-1914.

Les articles de la revue sont publiés en quatre langues: en français, anglais, allemand et italien.

Quant à l'organisation de la science, malgré sa bonne volonté, le directeur d'Isis paraît plein d'illusions.

Mais, en fait, est-ce bien d'histoire de la science, d'organisation même de la science, qu'il s'agit dans la revue de M. George Sarton? Je ne sais; j'hésite à me prononcer, la clarté n'étant pas ici la qualité maîtresse du rédacteur en chef. Quel est en réalité son programme? Il y revient à plusieurs reprises, sous prétexte de le préciser, en se plaignant, et pour cause, de n'avoir pas été suffisamment compris (1). Malgré ces nouvelles précisions, je ne suis pas encore assuré de comprendre. S'il m'était, cependant, permis d'essayer une formule, je dirais qu'Isis a pour but la philosophie de la science dégagée de toute idée métaphysique et religieuse. Philosophie inconsistante, vague, sans avenir; comme toute philosophie qui exclut a priori les idées métaphysiques.

Cette note caractéristique du programme d'Isis, je ne voudrais pas trop la généraliser en l'étendant indistinctement à tous les articles. Je l'applique surtout à ceux de M. Sarton lui-même, qui remplissent, au surplus, une bonne partie du volume. Quant aux articles de ses collaborateurs, quelques-uns sont de la bonne école, objectifs et vraiment historiques. Ils donnent au premier volume d'Isis sa valeur. Voici le titre de ceux que l'on peut citer dans un *Bulletin d'histoire des mathématiques*. Il faudrait en ajouter d'autres, si ce *Bulletin* s'étendait aux sciences naturelles.

La géométrie des Hindous, par David Eugène Smith (2). — *Le « Carmen de ponderibus » de Guarino Veronese*, par Antonio Favaro (3). — *Nicolo Tartaglia. A propos de l'impression de quelques-uns de ses ouvrages, notamment de la « Travagliata Inventione »*, par le même (4). — *Les gloires mathématiques de*

(1) *L'histoire de la science*, par George Sarton, pp. 3-46.

Le but d'Isis, par George Sarton, pp. 193-196.

Mais, le programme du directeur de la revue paraît se dégager surtout d'un article qui n'est pas à proprement parler un article programme : *Comment augmenter le rendement intellectuel de l'humanité*, par George Sarton, pp. 219-242 et 416-473. L'article est divisé en cinq chapitres dont voici les titres : 1^{re} partie. Introduction. — I. Le génie scientifique. — II. Le génie et la race. — 2^e partie. III. L'hérédité. — IV. L'hérédité des aptitudes intellectuelles. — V. Le milieu et l'hérédité.

(2) *The geometry of the Hindus*, pp. 197-204.

(3) *Il « Carmen de ponderibus » di Guarino Veronese*, pp. 205-207.

(4) *Di Nicolo Tartaglia e della stampa di alcune delle sue opere con particolare riguardo alla « Travagliata Inventione »*, pp. 329-340.

Outre cette étude, M. Favaro vient de donner, dans l'ARCHIVIO STORICO

la Grande-Bretagne, par Gino Loria (1). C'est la communication faite à Londres, le 4 avril 1913, au Congrès International d'histoire. — *L'origine du concept de l'intégrale définie d'après Cauchy et l'origine de celui de la continuité*, par Philippe-E.-B. Jourdain (2).

D'un genre très différent est l'article dû à la plume de M. George Sarton lui-même, *Sur les tendances actuelles de l'histoire des mathématiques* (3). Étude ne manquant pas d'intérêt, mais dont le titre est trop général. Dans les tendances de l'histoire des mathématiques telles que les décrit M. Sarton, on ne retrouve certainement, ni l'esprit de Cantor, ni celui d'Eneström, ni celui de Favaro, ni celui de Zenthen, ni celui de Heath, ni celui de Loria; je ne cite que les maîtres vivants, dont les noms me reviennent les premiers à la mémoire. M. Sarton les connaît, car à l'exception de M. G. Eneström, tous font partie du comité de patronage d'Isis. En réalité, M. Sarton nous communique les réflexions que lui suggère la lecture de deux ouvrages récents : *Les étapes de la philosophie mathématique*, par M. Léon Brunschvicg (4) et les *Principes de l'analyse mathématique*, par M. Pierre Boutronx (5). Voilà le fait. Je le signale sans commentaires. À insister davantage sur le plus ou moins d'à-propos des remarques de M. Sarton, je risquerais de me tromper. C'est que, pour les bien juger, il me faudrait connaître les ouvrages originaux de MM. Léon Brunschvicg et Pierre Boutronx, qui leur servent de base. Or, je n'ai pas eu l'occasion de les lire et l'interruption des communications entre Bruxelles et Paris, m'en rend l'acquisition impossible.

Force m'est donc de m'abstenir pour le moment. Quand les circonstances auront changé, peut-être pourrai-je, quelque jour, revenir sur le sujet.

En terminant cette revue des principaux articles d'Isis, je signale, comme utile à consulter, le *Bulletin analytique des publications relatives à l'histoire des sciences parues depuis le*

ITALIANO, une notice biographique de Tartaglia intitulée : *Per la biografia di Nicolo Tartaglia*, Rome, 1913. Ce travail, écrit avec le soin qu'y met toujours le savant éditeur des *Œuvres* de Galilée, a 40 pages.

(1) *Le glorie matematiche della Granbretagna*, pp. 637-654.

(2) *The origin of Cauchy's conception of a definitive integral and of the continuity of a function*, pp. 631-703.

(3) Pp. 577-589.

(4) Paris, Félix Alcan, 1912.

(5) Paris, Hermann, 1914.

1^{er} janvier 1912, par George Sarton (1). Une observation, cependant, imposée par le titre. M. Sarton conçoit sa bibliographie sur un plan très vaste. Aussi les diverses parties en sont-elles de mérite assez inégal. A embrasser des sujets si différents et si étendus, on risque beaucoup de rester incomplet.

Sur les connaissances géométriques des Grecs avant la réforme platonicienne, par H. G. Zeuthen (2). — Les mathématiques se développèrent par une suite de progrès insensibles. Voilà une vérité qu'on ne saurait trop répéter. Elle est un des principaux critères utilisés par M. Zeuthen pour essayer de reconstituer la géométrie grecque pré-Euclidienne. Il faut m'y arrêter un instant à un point de vue spécial.

Soit un théorème quelconque, soit mieux encore une théorie dont les démonstrations sont difficiles et délicates : le calcul différentiel ou la géométrie analytique, par exemple. Qui en est l'auteur ? Il est presque toujours impossible de répondre par un nom propre. C'est que, posée en ces termes, la question est mal posée. Elle provoque, en effet, la plupart du temps, au moins deux réponses. Pour les uns, l'auteur est celui qui, le premier, a eu l'idée du théorème ou de la théorie ; je l'entends évidemment d'une idée suffisamment exacte et claire. Pour d'autres, celui-là seul mérite le nom d'auteur d'un théorème, qui, le premier, en a donné la démonstration irréprochable. A ces deux réponses ne faudrait-il pas même en ajouter souvent une troisième ? Si Descartes, par exemple, mérite, à juste titre, d'être nommé le créateur de la Géométrie analytique, n'est-ce pas simplement pour avoir mis en pleine valeur des méthodes dont les premiers inventeurs n'avaient pas vu la fécondité ?

Mais, avec M. Zeuthen, je m'arrête aujourd'hui aux deux premières réponses. La question posée comme ci-dessus, présente une suprême ambiguïté dans l'histoire de la formation de la géométrie grecque, notamment, quand on veut retrouver la manière dont s'est développée la théorie des irrationnelles ou celle des proportions. Ces théories aboutirent aux deux

(1) Pp. 136-188 ; 293-325 ; 543-574 et 757-791.

(2) *Sur les connaissances géométriques des Grecs avant la Réforme Platonicienne*. par H. G. Zeuthen, BULLETIN DE L'ACADÉMIE ROYALE DES SCIENCES ET DES LETTRES DE DANEMARK, Copenhague, 1913 ; pp. 431-473.

Ce mémoire est le neuvième présenté, depuis 1893, à l'Académie de Danemark, par M. Zeuthen, sous le titre général de *Notes sur l'Histoire des Mathématiques*.

chefs-d'œuvre que nous lisons encore aujourd'hui dans les *Éléments* d'Euclide, mais elles furent l'une et l'autre le résultat de longs tâtonnements (1).

Deux savants, MM. Vogt de Breslau et Zeuthen de Copenhague, se sont attachés à débrouiller l'histoire des irrationnelles. Je n'y reviens pas ; j'ai raconté leur discussion dans mon *Bulletin* de juillet 1911 (2). Qu'il me suffise de rappeler que tout en admirant le flair du chercheur et la patience de l'érudit chez M. Vogt, je me suis rallié aux conclusions de M. Zeuthen. La philosophie des mathématiques a donné au professeur de Copenhague un sens exquis des étapes par lesquelles doit passer une théorie mathématique pour se constituer. Suivons M. Zeuthen dans son nouveau mémoire.

Archimède, dit-il, nous apprend dans son traité récemment retrouvé sur la *Méthode* (3), que Démocrite connaissait le rapport $1/3$ de la pyramide ou du cône, au prisme ou au cylindre de même base et de même hauteur. Dans l'introduction du premier livre *De la Sphère et du Cylindre* (4), il dit au contraire, qu'avant Eudoxe personne n'avait cette connaissance. Est-ce une contradiction ? Du tout. C'est que le Syracusain distingue entre un savoir mal fondé selon lui, tel que celui de Démocrite, et un savoir géométrique bien fondé, tel que celui d'Eudoxe. Mais, avant la découverte du traité de la *Méthode*, on pouvait, on devait croire, sur la foi d'Archimède, que le rapport $1/3$ en question n'avait jamais été énoncé avant Eudoxe.

Pour les géomètres grecs, la plus abondante source historique d'information était l'historien des mathématiques de profession, Eudème. Cette source était aussi la meilleure ; et néanmoins Eudème, comme tous les historiens des mathématiques, a contribué involontairement à semer l'erreur. C'était fatal. Toujours il y a eu, toujours il y aura des mathématiciens, pour ne connaître le passé de leur branche que par les livres d'histoire. Or, je l'ai dit ci-dessus en parlant de M. Eneström et je le répète à propos d'Eudème, un historien qui veut rester intelli-

(1) Sur la constitution des éléments d'Euclide, voir : *Die Mathematik im Altertum und im Mittelalter*, von H. G. Zeuthen ; dans la collection DIE KULTUR DER GEGENWART, herausgegeben von Paul Hinnenberg ; Leipzig, Teubner, 1912, pp. 33-50.

(2) T. LXX, 1911, pp. 330-335.

(3) *Archimedis opera omnia, cum commentariis Eutocii*. Iterum editit J. L. Heiberg. Lipsiae, in aedibus B. G. Teubneri, t. II, 1913, pp. 430-431.

(4) Même édition, t. I. 1910, pp. 4 et 5.

gible doit adopter le langage de ses contemporains. Par le fait même, il doit se contenter d'être exact dans les grandes lignes de son exposition, sans fatiguer les lecteurs par un style et des notations archaïques; sans les perdre à tout instant sous prétexte d'exactitude, dans un dédale de minuties accessoires. L'historien Eudème agit en cela comme les autres. Ainsi, il attribue quelque part les fondements de la théorie des proportions à Thalès. Depuis lors, il a été longtemps d'usage de répéter sans commentaire cette information d'Eudème. Mais, Paul Tannery a excellemment montré, dans sa *Géométrie grecque* (1), qu'énoncé en ces termes c'était une erreur. Les théorèmes dont Thalès eut connaissance sont tout au plus ceux qui lui servirent à exécuter quelques constructions pratiques. Ce serait se tromper que d'y voir le commencement de la formation d'un système géométrique. Dès le moment où on s'est mis à dessiner, on a eu l'idée générale de la similitude des figures. Il a fallu plusieurs siècles pour faire, avec Euclide, de la théorie de la similitude le couronnement de la géométrie plane élémentaire. Thalès n'en était pas là.

Ce sont Platon et ses disciples qui créèrent définitivement l'exposition de la géométrie telle que la pratique Euclide. « Dans la méthode platonicienne — je laisse ici la parole à M. Zeuthen — les notions géométriques primitives sont nos propres créations. Nous leur donnons une existence, soit par nos définitions, soit par les postulats qui achèvent l'énumération des propriétés que nous voulons leur attribuer sans démonstration. Leurs autres propriétés, ainsi que l'existence et les propriétés des figures qu'on construit en faisant usage des postulats, demandent des démonstrations reposant sur les postulats et certaines notions générales énoncées de même que les postulats au commencement. »

En d'autres termes, dans le système platonicien, la géométrie part de définitions et de postulats en nombre minimum et, autant que possible, indépendants les uns des autres; ceux-ci admis, elle en tire des conséquences logiques par des démonstrations rigoureuses.

Mais, pour avoir une pareille conception de la géométrie, il fallait déjà se trouver en possession d'une science très parfaite. C'est la voie contraire, ou du moins une voie toute diffé-

(1) *La géométrie grecque, comment son histoire nous est parvenue et ce que nous en savons*. Paris, Gauthier-Villars, 1887; pp. 89 et suiv.

rente qu'ont suivie les premiers créateurs de la géométrie. La connaissance des vérités géométriques a commencé par s'attacher à des figures concrètes. On en a successivement découvert les propriétés. Les premières durent même commencer par se présenter sous une forme assez complexe. C'est seulement par une décomposition des vérités complexes que l'on est parvenu aux vérités simples qui forment la base du système platonicien, tel que l'a perfectionné Euclide.

La démonstration géométrique a existé aussi bien longtemps avant la formation d'un système géométrique. Son but est de persuader ceux qui concèdent les prémisses; peu importe d'ailleurs que ces prémisses soient des vérités simples ou des vérités complexes.

Ces principes posés, M. Zeuthen entre au cœur de son sujet. Le but du présent mémoire est de déterminer ce que renfermèrent probablement les *Éléments de géométrie* d'Hippocrate de Chio (1). Un seul fragment de quelque étendue nous en a été conservé. Il est relatif aux quadratures des lunules et nous le devons à Simplicius, qui le rapporte d'après l'historien des mathématiques Eudème. Plusieurs fois édité à part il l'a été récemment encore, par M. Rudio de Zurich, sous le titre : *Der Bericht des Simplicius über die Quadraturen des Antiphon und des Hippokrates* (2). En rendant compte de cette édition (3) j'ai raconté dans la REVUE les longues, mais courtoises, controverses auxquelles donna lieu l'établissement du texte. Leur nombre et leur durée s'expliquent par l'importance de ce passage de Simplicius. Nous ne possédons, sur l'état des mathématiques avant Platon, aucun texte qui puisse être mis en parallèle avec celui-là.

M. Zeuthen en reprend ici l'examen. Une discussion approfondie l'amène à présenter, pour certains passages, une interprétation nouvelle. Elle est, en tous cas, non seulement très ingénieuse, mais aussi, semble-t-il, très vraisemblable et incontestablement plus satisfaisante que celles que l'on en avait données jusqu'ici. Il s'agit notamment de la lunule circonscrite au trapèze isocèle (4). Mais, il faut me borner.

(1) Nous connaissons l'existence des *Éléments* d'Hippocrate, notamment par Proclus. *Procli Diadochi in primum Euclidis elementorum librum commentarū*, ex recognitione G. Friedlein, p. 66.

(2) Collection des URKUNDEN ZUR GESCHICHTE DER MATHEMATIK IM ALTERTUME, t. I, Leipzig, Teubner, 1907.

(3) T. LXV, janvier 1909, pp. 294-301.

(4) En rendant compte dans MATHESIS (t. XXIX, Gand 1909, pp. 11-14) de l'édition du fragment de Simplicius, par M. Rudio, j'ai donné en style et nota-

Voici donc les conclusions du mémoire de M. Zeuthen.

Les connaissances étendues dont témoigne la quadrature des lunules montrent que, comme fond, les *Éléments* d'Hippocrate peuvent avoir contenu la plupart des « faits » géométriques qui se trouvent dans les *Éléments* d'Euclide; mais, comme forme, les *Éléments* des deux auteurs doivent, au contraire, avoir été fort différents. En élaborant le plan de ses *Éléments*, Euclide a été très influencé par la théorie des proportions d'Eudoxe, par celle des irrationnelles, et davantage encore par les habitudes d'extrême rigueur introduites en mathématiques par l'école de Platon. Ses *Éléments* sont le résultat d'une refonte complète des *Éléments* d'Hippocrate, refonte commencée par Léon et Theusius, achevée par Euclide. Cela n'empêche pas pourtant que beaucoup de démonstrations particulières n'aient passé d'un traité à l'autre; notamment celles des 3^e et 4^e livres d'Euclide. Les constructions géométriques données dans les *Éléments* d'Hippocrate doivent avoir, elles aussi, été les mêmes que celles qui se lisent dans les *Éléments* d'Euclide. Mais, chez ce dernier, les constructions effectuées par la règle et le compas jouent un rôle nouveau, celui de démontrer l'existence de la figure construite. A ce rôle, Hippocrate, sans doute, n'avait jamais songé. C'est que l'idée de faire cet usage des constructions par la règle et le compas n'a pu naître qu'après que les géomètres eurent une longue pratique de ces constructions. Mais, d'un autre côté, où chercher cette pratique, sinon dans les *Éléments* d'Hippocrate? Le géomètre de Chio en carrant la lunule circonscrite au trapèze isocèle, suppose que l'on connaît la construction d'un trapèze dont on donne les quatre côtés. Ce fait indique, ou bien qu'il explique cette construction dans ses *Éléments*, ou bien, peut-être, qu'il la regarde déjà comme trop simple pour devoir être donnée. Mais alors, trop simple, pour qui? Précisément pour les lecteurs de ces mêmes *Éléments*.

D'autre part, aucune considération systématique ne prescrivait encore à Hippocrate de construire les figures par l'emploi exclusif des droites et des cercles. Il est donc possible, vraisemblable même, que ses *Éléments* contenaient d'autres constructions que celles qui peuvent s'exécuter par la règle et le compas.

tions modernes, les démonstrations imaginées par Hippocrate pour carrer ses lunules. J'y renvoie le lecteur que le sujet intéresserait. Il va de soi cependant que ce n'est pas sur des démonstrations ainsi rajeunies qu'on peut juger le bien fondé des déductions de M. Zeuthen.

Dans ses *Éléments*, Hippocrate s'occupait évidemment aussi des figures semblables. On sait l'emploi ingénieux qu'il en a fait pour carrer les lunules. Mais, la théorie de la similitude doit avoir eu entre ses mains une forme bien différente de celle qu'Euclide lui donna dans son 6^e livre. Chez Euclide le 6^e livre fait suite au 5^e, qui contient la théorie géométrique des proportions due à Eudoxe ; en d'autres termes, la théorie de la similitude s'appuie sur une théorie rigoureuse des proportions. Hippocrate, au contraire, aura eu besoin de la considération, plus ou moins intuitive, des figures semblables, pour établir une théorie des angles et des parallèles. Cette ébauche de théorie dut lui permettre d'appliquer les proportions à la géométrie. Il en aura, en tous cas, eu besoin, sous une forme ou sous une autre, pour démontrer le théorème de Pythagore. La démonstration générale de la proposition du carré de l'hypoténuse doit, en effet, s'être faite d'abord par les triangles semblables ; par exemple, en décomposant le triangle rectangle en deux autres, au moyen d'une perpendiculaire abaissée du sommet de l'angle droit sur l'hypoténuse. Ce genre de démonstration est, en effet, relativement fort simple, tandis que la démonstration ingénieuse, mais artificielle, dont se sert Euclide à la fin de son 1^{er} livre, — démonstration restée classique, et qu'on trouve encore aujourd'hui dans tous nos manuels de géométrie, — cette démonstration, dis-je, semble avoir été inventée par Euclide, pour les besoins de son système. Car, il lui fallait, d'une part, renvoyer le plus loin possible tout ce qui concerne les proportions, et de l'autre, avoir néanmoins à sa disposition le théorème de Pythagore.

Quant à l'algèbre géométrique, connue probablement déjà par les pythagoriciens, elle semble ne pas avoir été utilisée par Hippocrate. Il ne paraît pas s'être occupé davantage de la théorie arithmétique des proportions. En revanche, d'après la lettre attribuée par Eutocius à Ératosthènes (1), Hippocrate aurait réduit les problèmes de la duplication du cube et de la trisection de l'angle à celui de l'insertion de deux moyennes proportionnelles.

Les derniers travaux du R. P. Van Hée, S. J., sur l'histoire des mathématiques chinoises (2). — Le R. P. Van Hée

(1) Publiée par Heiberg, dans ses *Archimedis Opera omnia, cum commentariis Eutocii*, t. III, Leipzig, Teubner, 1881, pp. 102-111.

(2) *Bibliotheca Mathematica Sinensis Pé-Fou*, par le Rév. Père Van Hée, S. J. Même recueil, t. XV, Leyde, 1914, pp. 111-164.

continue, dans le T'OUNG-PAO, ses études sur l'histoire des mathématiques chinoises. J'ai à signaler aujourd'hui deux nouveaux travaux.

Le premier est intitulé : *Li-Yé, mathématicien chinois du XIII^e siècle* (1). Li-Yé vécut de 1178 à 1265. Les Chinois le considéraient comme un de leurs plus habiles géomètres. Il nous reste de lui deux traités fort curieux.

Le premier, daté de 1248, est une espèce d'algèbre et de trigonométrie. Il porte le titre de *Ts'è yuen hai king*, c'est-à-dire, *Miroir pour calculer les cercles*. Le second, daté de 1259, est un recueil de problèmes, avec solutions raisonnées, sur le quadrilatère et les cercles. Il est connu sous les quatre monosyllabes *I kou yen-toan*. C'est ce dernier ouvrage qui forme l'objet du travail du P. Van Hée. Nous y trouvons l'énoncé chinois de 64 problèmes, avec la traduction française ; quelques solutions raisonnées, celles-ci aussi avec la traduction française ; enfin la préface et la postface de Li-Yé, mais cette fois, malheureusement, sans la traduction. L'omission est regrettable, car ces traductions, indispensables pour la plupart des lecteurs, eussent à peine allongé le travail d'une page ou deux au plus.

Le deuxième mémoire du P. Van Hée est intitulé *Bibliotheca Mathematica Sinensis Pé-Fou*. Voici en quels termes l'auteur le présente au lecteur : « Les jésuites apportèrent à la Chine la science européenne : arithmétique, algèbre, géométrie, trigonométrie, logarithmes, mécanique, physique, géographie, philosophie, astronomie surtout, eurent désormais des livres classiques dictés par les missionnaires et mis en beau style par leurs illustres élèves, la plupart grands mandarins et grands lettrés.

» Pour se faire une idée nette de l'influence exercée sur l'esprit des Chinois, par cet enseignement oral et écrit, pour démêler ce que les mathématiciens jaunes y ont puisé, ajouté ou modifié, pour être à même de porter un jugement impartial et définitif sur les productions chinoises, qui s'échelonnent de la fin des Ming à la dernière période des T'sing — soit un espace de trois siècles environ — il faut absolument connaître les ouvrages scientifiques de *l'imprimerie Sino-Européenne*.

» Pendant mon long séjour en Chine, j'ai lu et relu, annoté et admiré ces beaux travaux, et j'en donnerai plus tard un

(1) *Li-Yé, mathématicien chinois du XIII^e siècle*, par le Rév. Père Van Hée, S. J. T'OUNG-PAO, t. XIV, Leyde, E. J. Brill, 1913, pp. 537-568.

aperçu clair et concis, auquel, pour le moment, la bibliographie de Cordier peut servir de premiers jalons, combien exactement placés, il est inutile de le dire.

» J'offre aujourd'hui l'analyse de la collection *Pé-fou*. Elle fera voir au lecteur la tournure générale des travaux exécutés par les mathématiciens jaunes; nomenclatures, procédés, notations, idées maitresses, avec cet avantage immense de donner les textes originaux caractéristiques, sans lesquels notre manière de penser se substitue trop facilement à celle que nous sommes chargés de traduire. »

Le P. Van Hée analyse alors les 23 traités qui composent la collection. Il est malaisé d'analyser cette analyse et de résumer encore ce résumé. La simple transcription des titres apprendrait peu de chose au lecteur. Aller plus loin serait s'exposer à dépasser les bornes reçues dans un compte rendu. Le mémoire du P. Van Hée est bourré de citations chinoises; en les traduisant, l'auteur fait un effort visible pour suivre le texte de près, mais il vient de nous dire combien le style et les raisonnements mathématiques des Chinois diffèrent des nôtres. Il est presque impossible d'abrégier le traducteur en restant, à la fois, exact, court et clair. Force nous est donc de renvoyer le lecteur au mémoire même du P. Van Hée. J'y signalerai, comme particulièrement curieuse, l'analyse du 45^e traité, dans lequel il est question du calcul de π . L'auteur Ts'eng Ki-hong, qui vécut au XVIII^e siècle, abandonne la vieille méthode par extraction de racines carrées et par calcul direct des périmètres des polygones réguliers inscrits et circonscrits, pour se servir d'un développement en série de fractions rationnelles, développement que le P. Van Hée nomme formule du P. Jartroux.

Les travaux de M. Louis Karpinski sur l'algèbre d'Abu-Kamil (1). — Dans mon dernier *Bulletin* (2), j'ai signalé l'étude publiée par M. Karpinski, sur l'*Algèbre* d'Abu Kamil, dans la BIBLIOTHECA MATHEMATICA, mais en me contentant d'en traduire le titre. C'était vraiment bien peu pour un si bon travail. Un nouveau mémoire du professeur de l'Université du Michigan,

(1) *The Algebra of Abu Kamil Shoja' ben Aslam*, by Louis C. Karpinski, BIBLIOTHECA MATHEMATICA, 3^e sér., t. XII, Leipzig, 1914-1912, pp. 40-55.

The Algebra of Abu Kamil, by L. C. Karpinski, University of Michigan, THE AMERICAN MATHEMATICAL MONTHLY, t. XXI, fév. 1914, pp. 37-48. Je cite le tiré à part.

(2) T. LXXIV, Bruxelles, 1913, p. 640.

publié, cette fois, dans THE MATHEMATICAL AMERICAN MONTHLY, me donne l'occasion de revenir sur le sujet.

C'est Michel Chasles, en 1841, d'après M. Karpinski, qui appela le premier l'attention sur une algèbre du moyen âge contenue dans le manuscrit de la Bibliothèque Nationale coté : Paris, 7377, A. Michel Chasles se bornait à signaler l'importance de cette algèbre et l'intérêt qu'elle présentait, mais, chose assez étrange, le nom de l'auteur lui échappa. On ne s'explique pas bien cette distraction de sa part ; car on lit au 1^o 93 v^o : « Explicit. Dixit Abuchamel Ssagia, filius Abraham, aggregator hujus libri. »

Steinschneider et Suter avaient, eux aussi, après Chasles, appelé l'attention sur l'*Algèbre* d'Abu Kamil ; mais les choses n'allèrent pas plus loin. C'était regrettable. Qu'attendait-on pour publier le texte de la Bibliothèque Nationale ? La rédaction originale arabe d'Abu Kamil était perdue ; du moins les bibliographes les mieux documentés sur les manuscrits arabes, tel Suter (1), n'en connaissaient pas d'exemplaire. Raison suffisante pour en publier sans plus de retard la version latine, puisque c'était tout ce qui nous en restait. C'est à quoi se résolut, du moins en partie, M. L. Karpinski, dans le tome XII de la BIBLIOTHECA MATHEMATICA. Il nous y donna le texte même de quelques-uns des principaux passages de l'*Algèbre* d'Abu-Kamil et l'analyse des autres.

A l'ouverture de l'*Algèbre* du géomètre arabe, on reconnaît du premier coup d'œil plusieurs des figures du second livre des *Éléments* d'Euclide. L'*Algèbre* d'Abu-Kamil est effectivement consacrée à la résolution des équations du 2^e degré ; mais, suivant la coutume arabe, aux démonstrations graphiques d'Euclide, Abu Kamil ajoute des exemples numériques.

L'histoire des logarithmes, par F. Cajori (2). — La *Mirifica logarithmorum canonis descriptio* de Néper, parut à Édimbourg, chez André Hart, en 1614. L'Écosse et l'Angleterre entière

(1) *Nachträge und Berichtigungen zu « Die Mathematiker und Astronomen der Araber und ihre Werke »*. ABHANDLUNGEN ZUR GESCHICHTE DER MATHEMATISCHEN WISSENSCHAFTEN MIT EINSCHLUSS IHRER ANWENDUNGEN, begründet von Moritz Cantor, t. XIV, Leipzig, Teubner, 1912, p. 164.

(2) *History of the exponential and logarithmic concepts*, by Florian Cajori, Colorado College, Colorado Springs, THE AMERICAN MATHEMATICAL MONTHLY, t. XX, janvier-juillet et septembre, 1913, Lancaster, Pa., et Chicago, pp. 5-14, 35-47, 75-84, 107-117, 148-151, 173-182, 205-210.

ont célébré dignement, au mois de juillet dernier, à Édimbourg, le 300^e anniversaire de la publication de cet immortel ouvrage, l'un de ceux qui ont eu l'influence la plus profonde sur le développement des mathématiques. Je me proposais de décrire, dans la REVUE, les fêtes qui eurent lieu à cette occasion, d'y résumer les travaux historiques et scientifiques écrits récemment à la mémoire du baron de Merchiston. La guerre est venue y mettre obstacle. Je n'ai pu entrer en possession des documents que j'avais tâché de réunir. Seule l'étude de M. Florian Cajori sur l'état actuel du château de Merchiston m'est parvenue (1).

Mais le professeur de Colorado-Springs avait voulu prévenir les fêtes de l'anniversaire de Néper, en écrivant, dès 1913, pour le public américain un précis de l'histoire des logarithmes. Ce n'est pas un récit des étapes qui précédèrent la découverte, mais l'exposé des développements qu'elle prit après la mort de l'inventeur. Le travail de M. Cajori se divise en cinq chapitres.

I. *De Néper à Leibniz et Jean I Bernoulli, 1614-1712.* — Logarithmes des nombres positifs. Notation exponentielle moderne.

II. *De Leibniz et Jean I Bernoulli à Euler, 1712-1747.* — Essais infructueux pour édifier une théorie des logarithmes des nombres négatifs. Identité des deux concepts : exposant et logarithme.

III. *Création de la théorie des logarithmes des nombres complexes, par Euler, 1747-1749.*

IV. *D'Euler à Wessel et Argand, 1749-1800.* Un demi siècle de discussion sur la nature des logarithmes. Encore de l'identité des concepts, exposant et logarithme.

V. *Généralisations et rectifications faites au cours du XIX^e siècle.* — Représentation graphique. Les puissances en général et les logarithmes. Uniformisation. Valeurs principales des puissances et des logarithmes. Classification des divers systèmes de logarithmes. Les logarithmes fonctions complexes.

L'abbé Bossut, par E. Doublet (2). — L'abbé Charles Bossut est mort le 14 janvier 1814. Voilà pourquoi il a semblé à

(1) *Merchiston castle and John Napier.* Tiré à part de THE MERCHISTONIAN, 1912-1913, 14 pp. richement illustrées et deux planches hors texte.

(2) *L'abbé Bossut. (A l'occasion du centenaire de sa mort).* par M. E. Doublet, astronome à l'Observatoire de Bordeaux, BULLETIN DES SCIENCES MATHÉMATIQUES, 2^e sér., t. XXXVIII, Paris, mars-juillet 1914, pp. 93-96, 121-125, 158-160, 186-190, 220-224.

M. E. Doublet, astronome à l'Observatoire de Bordeaux, que le moment était bien choisi pour raviver le souvenir de cet homme distingué. Sachons en gré à M. Doublet, car Bossut est assez oublié aujourd'hui ; il l'est même beaucoup plus qu'il ne le devrait être.

Voici d'abord quelques souvenirs sur les premières années de sa jeunesse. « Il était né le 11 août 1730, à Tartaras, village de la banlieue immédiate de Lyon selon Lalande, et selon d'autres à Tarare, près de Saint-Étienne. Il n'avait que six ans quand il perdit son père, Barthélemy Bossut. Heureusement un des oncles paternels du pauvre orphelin se chargea de veiller sur lui et de lui donner les éléments d'instruction nécessaire pour qu'il pût entrer au collège de Lyon, ce qu'il fit à l'âge de 14 ans.

» Ses études furent excellentes et une véritable bonne fortune pour lui, c'est que dans ce collège dirigé par les jésuites, le professeur de mathématiques était un homme remarquable, le P. Béraud, né à Lyon en 1702, mort dans la même ville en 1777.

» Une preuve du mérite du P. Béraud, c'est qu'il a formé quatre élèves dont les noms survivent, Montucla, Bossut, Lalande et le chevalier de Fleurieu, officier du plus haut mérite, à qui la Nation n'a pas encore payé sa dette, car aucun de nos navires de guerre ne porte son nom, bien qu'il ait rendu des services incomparables à la marine. »

Le P. Béraud était bien le maître qu'il fallait à des élèves d'élite, tels que ceux que nous venons de nommer. Mathématicien, numismate, astronome, ses connaissances étaient aussi étendues que variées. Il avait établi, dans l'enceinte du collège, un petit observatoire, où ses disciples favoris pouvaient s'initier à l'astronomie pratique. C'est là que Lalande se forma en partie. Mais, revenons à Bossut.

« Ses études achevées au collège de Lyon, il alla à Paris, où il rendit visite à Fontenelle, alors dans toute la gloire de sa merveilleuse vieillesse. Fontenelle lui fit bon accueil et le présenta à Clairaut et à d'Alembert.

» Dès la fin de sa philosophie, Bossut avait pris l'habit ecclésiastique ; toutefois, bien qu'il ait gardé cet habit et le titre d'abbé jusqu'en 1792, il ne semble pas qu'il ait dépassé les ordres mineurs. Il n'est pas sans importance, puisqu'il s'agit d'un homme du XVIII^e siècle, d'ajouter qu'il a été un catholique convaincu d'un bout de sa vie à l'autre. Il n'a rien de commun avec les abbés si nombreux de son temps, qui scandalisaient à la fois le monde et l'Église. »

Bossut était donc très éloigné de d'Alembert par ses convictions philosophiques et religieuses ; mais, comme mathématiciens, ces deux hommes s'estimaient. Au sujet de leurs relations, on a parfois raconté un trait curieux, qu'il est intéressant de rappeler. Arrivé à Paris, Bossut avait abordé l'étude de l'*Analyse des Infiniment petits*, ouvrage publié par le marquis de l'Hôpital, en 1686. Il y trouva quelque difficulté, ayant de la peine à concevoir qu'on pût négliger sans une erreur quelconque une quantité infiniment petite en comparaison d'une quantité finie. Il confia son embarras à un « fameux géomètre » — apparemment à d'Alembert, dit M. Doublet. — Celui-ci lui répondit : « Admettez les infiniment petits comme une hypothèse, étudiez la pratique des infiniment petits ; la foi vous viendra. » La foi vint, en effet ; mais, pas comme l'entendait d'Alembert. Bossut se convainquit que la métaphysique de l'analyse infinitésimale est la même au fond que celle de la méthode d'exhaustion des anciens.

A Paris, Bossut se lia aussi avec l'académicien Camus, qui le présenta à d'Argenson, ministre de la guerre. Celui-ci reconnut le mérite du jeune homme et le nomma, en 1752, professeur à l'École du génie de Mézières. Elle venait d'être fondée quatre ans auparavant, et on sait combien Monge devait l'illustrer.

Nous ne suivrons pas Bossut dans les péripéties de sa carrière professorale, ni plus tard, dans celle de membre de l'Académie des Sciences. Cette double carrière lui fournit l'occasion de beaucoup écrire. La majeure partie de la notice de M. Doublet est, cela va de soi, consacrée à une revue rapide de ces ouvrages. Deux d'entre eux surtout ont conservé, aujourd'hui encore quelque notoriété : l'*Histoire des mathématiques* et l'édition des *Œuvres complètes de Blaise Pascal*. Pourquoi ? C'est difficile à dire. Ni l'une, ni l'autre ne manquent de valeur ; mais, elles ne sont pas les meilleures productions de l'élève du P. Béraud.

Bossut avait le caractère triste et morose. Son commerce assidu avec les œuvres de Pascal contribua-t-il à accentuer le côté chagrin de son esprit ? Qui sait ? Toujours est-il qu'il professait pour le grand écrivain la plus vive admiration. Et ce n'était pas seulement le mathématicien, le physicien, le polémiste de génie que Bossut admirait dans Blaise Pascal ; c'était aussi le théologien. Il ne se lassait pas de transcrire les *Pensées*.

« Ceci nous amène à croire, dit M. Doublet, que Charles Bossut, l'ami de d'Alembert et aussi de Condorcet, a été un des derniers jansénistes. D'ailleurs cela est bien d'accord avec ce

que nous savons de son caractère sombre, de son humeur atrabilaire. On lisait, en effet, dans un manuscrit de Bossut que Delambre a eu entre les mains — qu'est devenu ce manuscrit ? — qu'il avait toujours eu « *une raideur de caractère qui lui a souvent nuï auprès de ceux qui ne le connaissaient que superficiellement* ». Il n'accordait pas facilement sa confiance ; il croyait en général les hommes dissimulés et trompeurs ; mais, quand il croyait pouvoir s'abandonner à la franchise naturelle de son âme, il mettait dans le commerce de la vie une effusion de sentiments vrais, qui lui ont fait une foule d'amis dévoués, surtout dans le corps militaire du génie. »

« Il abhorrait les charlatans de toute espèce, nous dit-il encore, et quelquefois il avait eu l'imprudence ou la maladresse de leur donner à connaître son opinion. Mais, il cherchait partout le vrai mérite ; il était obligeant et il se plaint amèrement des ingrats. Il se persuada que des hommes, qui lui devaient leur première existence, avaient montré l'acharnement le plus soutenu, et s'étaient donné bien des peines qu'ils auraient pu s'épargner, pour l'écarter de places auxquelles il n'avait jamais aspiré. »

Les derniers temps de la vie de Bossut furent sans doute bien tristes. Les malheurs publics du mois de janvier 1814 ne pouvaient que redoubler ses chagrins. Il ne vit pas le retour de cette paix qui selon son espérance devait rétablir « la libre communication entre les membres de la République universelle des Sciences et des Belles-Lettres ». Bossut, nous l'avons dit en commençant, mourut le 14 janvier 1814, âgé de 83 ans et 5 mois.

H. BOSMANS, S. J.

BOTANIQUE INDUSTRIELLE

EXPLOITATION DES LIANES CAOUTCHOUTIFÈRES
EN AFRIQUE CENTRALE

En 1911, lors de la première réunion internationale caoutchoutière tenue à Londres, nous avons insisté sur l'intérêt qu'il y avait, en Afrique, à continuer la culture et l'exploitation des essences caoutchoutifères indigènes. Dans l'*Official Guide book*, nous terminions notre notice *Native or exotic rubber trees* par la considération qu'il fallait à chaque pays ses produits propres et ses producteurs bien adaptés à la région.

Dans l'une des séances tenues au local de l'Exposition, nous sommes entré davantage dans le détail du sujet en nous étendant sur notre manière de comprendre l'exploitation et la culture des lianes congolaises basées sur des procédés d'extraction mécanique du caoutchouc contenu dans les tissus, et nous faisons voir que cette méthode était tout indiquée pour le développement économique du centre et de l'ouest du continent noir.

Ce n'était pas la première fois que nous préconisions ces idées, nous les avons défendues depuis de nombreuses années, mais cette méthode a trouvé parmi les agronomes officiels de diverses colonies plusieurs contradicteurs et l'on n'a pas jusqu'à ce jour appliqué en Afrique le procédé sur lequel nous sommes revenu si souvent.

Au contraire la crise récente a provoqué de nouvelles critiques de la part des opposants irréductibles de la culture, et même de l'exploitation des lianes, et on a vu conseiller leur abandon total. On a été jusqu'à dire que cette exploitation pouvait être considérée comme de nulle valeur pour les indigènes et qu'il était très aisé de supprimer le droit qu'ils ont acquis de récolter du caoutchouc dans les forêts si on leur offrait en échange un travail rémunéré, plus facile, dans les entreprises agricoles de tous genres qui pourraient être créées par le blanc.

Ce sont là naturellement pures conjectures, car rien ne prouve que l'indigène abandonne si facilement ses droits de culture.

Mais en supposant même qu'elles soient fondées, serait-il utile pour la colonie elle-même et pour le commerce de la métropole, de s'engager dans une voie qui aboutirait à la suppression d'un des postes importants du tableau de son commerce, et à un changement radical et relativement brusque dans les habitudes du noir ?

Heureusement, à côté des contradictoires, un certain nombre de coloniaux partagent tout à fait notre manière de voir, et récemment nous avons vu un de nos confrères français, M. Baudon, écrire, à propos de la production du caoutchouc au Congo français, une étude sur le caoutchouc pilonné des rhizomes du *Landolphia owariensis*, dans laquelle il arrive, comme nous, à conseiller la multiplication de la liane pour sa mise en exploitation réglée en enlevant du sol, à leur maturité, les racines qui devront être traitées mécaniquement (1).

M. le Gouverneur Merlin, de l'Afrique française, a récemment, lui aussi, insisté sur cette méthode d'exploitation ; ses idées ont fait le tour de la presse spéciale et ont été reproduites, sans grands commentaires il est vrai, même dans les revues allemandes consacrées au caoutchouc (2).

La lecture du travail de M. Baudon et du rapport du Gouverneur Merlin, nous a amené à reprendre la question et tout d'abord à rappeler quelques dates ayant, ce nous semble, un certain intérêt pour l'histoire du caoutchouc.

C'est en 1907, dans une communication faite à la Société scientifique de Bruxelles, publiée dans ses ANNALES et reproduite par la Société de Géographie de l'Est, que nous avons publié, peut-être pour la première fois, l'idée de mettre des lianes à caoutchouc, croissant dans les forêts, en véritable coupe réglée. « L'exploitation caoutchoutifère, disions-nous, du moins celle des lianes les plus communément cultivées au Congo (*Landolphia owariensis*, *Klainei* et espèces voisines) doit se borner aux opérations coupe et battage. Après la coupe on laissera repousser. En un mot, on devra mettre la réserve caoutchoutifère en coupe réglée. »

Nous ne nous faisons pas l'illusion, à cette époque, de voir ce principe admis d'emblée ; la plupart des gouvernements coloniaux avaient, par décrets, défendu la coupe de lianes et, dans

(1) A. Baudon, *Le caoutchouc pilonné des rhizomes du Landolphia owariensis*. Pal. Beauv., sa production, son avenir. ANNALES DE L'INSTITUT COLONIAL DE BORDEAUX 1913.

(2) Cf. GUMMI-ZEITUNG, 1914, n° 30, 24 avril, p. 1167.

certaines colonies, cette défense persiste encore. Mais aujourd'hui, comme en 1907, nous sommes persuadé que le jour viendra — puisse-t-il ne pas être trop éloigné! — où l'on reconnaîtra que la coupe fait moins de tort et donne plus de bénéfices que la saignée. « Le jour, disions-nous en 1907, où la coupe sera permise, où les forêts à caoutchouc auront été mises en coupes réglées comme nos forêts européennes, où l'on aura déterminé le roulement et où l'on connaîtra exactement l'étendue de la région qui peut être mise en exploitation, bien des abus criants cesseront d'eux-mêmes, et peut-être arrivera-t-on à éviter dans le commerce ces fluctuations de prix si désagréables pour la bonne marche des affaires. »

Dès avant 1907, nous avons à diverses reprises, dans des cours, des conférences ou des publications, défendu le principe de la coupe réglée et du procédé mécanique, qui n'est pas de notre invention. L'idée première en revient aux recherches de Godefroy-Lebeuf, basées elles-mêmes sur les pratiques des indigènes africains. Mais, répétons-le, c'est dès 1907 surtout que nous avons préconisé cette mise en coupes réglées des réserves caoutchoutifères : lianes et caoutchoutiers des herbes, et depuis lors nous avons souvent repris le développement de ces idées, entre autres dans la revue française : LE CAOUTCHOUC ET LA GUTTA-PERCHA (1).

Nous avons été très heureux de voir, il n'y a pas fort longtemps, un fonctionnaire du service forestier de Madagascar, s'appuyant sur notre manière de voir, proposer un projet d'aménagement des forêts à essences caoutchoutifères et de leur exploitation rationnelle.

Mais cette question de l'exploitation des lianes est, comme toutes celles qui se rattachent aux caoutchoutiers, beaucoup plus complexe qu'on ne se l'imagine fréquemment ; elle soulève, en effet, une série de questions accessoires, malheureusement trop peu étudiées.

Admettant, ce qui nous paraît certain, que l'exploitation est possible, est-elle économique, les frais ne seront-ils pas trop élevés, dans les conditions actuelles surtout, pour laisser au collecteur et au négociant des bénéfices suffisants ?

C'est, pensons-nous, pour n'avoir pas assez approfondi ces questions, que beaucoup ont conclu d'emblée à l'impossibilité

(1) LE CAOUTCHOUC ET LA GUTTA-PERCHA. Paris, rue des Vinaigriers, 49. 1904-1914.

de la rentabilité d'une telle exploitation, et c'est ainsi qu'ils sont arrivés à déclarer, sans hésitation, qu'il fallait abandonner non seulement la culture, mais l'exploitation des lianes existant à l'état sauvage dans la forêt, et remplacer cette production par celle de cultures, faites par des sociétés européennes, d'*Hevea brasiliensis* ou de *Manihot*, qui seuls seraient capables, le premier surtout, de fournir du caoutchouc à un prix suffisamment rémunérateur.

En rapport avec cette idée, nous avons vu M. R. Vauthier, membre du Conseil colonial du Congo Belge, écrire à propos d'un décret approuvant une convention conclue entre des firmes belges et anglaises et le Gouvernement de la Colonie : « La cueillette du caoutchouc sauvage n'a été qu'un mode d'exploitation provisoire en attendant mieux. Elle porte sur des ressources naturelles qui sont destinées à s'épuiser plus ou moins rapidement ; avant même cette échéance fatale, il s'est produit, dans la valeur du caoutchouc, une baisse notable des prix. Il en est résulté une crise qui retentit durement sur les finances de la colonie » (1).

Nous ne pouvons partager cette manière de voir ; le Congo ne s'appauvrit pas tellement en caoutchouc qu'il faille envisager la suppression de cet article de commerce. Nous pensons au contraire que la cueillette se continuera, si on le veut, non plus peut-être sur des plantes tout à fait sauvages, mais sur des plantes déjà soignées par le noir ; cela naturellement si les gouvernements prennent en main la réglementation de la cueillette, et démontrent à l'indigène, qui de lui-même l'a d'ailleurs souvent très bien compris, l'intérêt qu'il a à protéger les plantes productrices.

Nous avons dit que nous considérons le caoutchouc provenant des essences indigènes africaines comme capable de donner au collecteur et au négociant des bénéfices rémunérateurs, et cela même avec des taux de vente aussi bas que ceux que l'on obtient actuellement. Cela est-il bien exact ?

Il faut, en matière coloniale et surtout quand on considère le caoutchouc, se méfier des idées préconçues, il faut au contraire chercher à mûrir le sujet et éviter de donner une solution immédiate, dans un sens ou dans un autre, qui risquerait de devoir être rapportée ultérieurement, alors qu'un courant nouveau, néfaste peut-être, aurait été créé.

(1) LE MOUVEMENT GÉOGRAPHIQUE, Bruxelles, 28 déc. 1913, p. 66.

Dans un discours prononcé en 1913, le général Thys, dont la compétence coloniale est reconnue, a pu dire avec grande justesse à propos du caoutchouc congolais : « Quant à nos sociétés caoutchoutifères, je crois qu'elles devront apporter beaucoup de soins dans leurs exploitations, s'appliquer rigoureusement à tâcher de réduire leurs frais généraux et, dans tous les cas, mettre leurs prix d'achat à la hauteur des prix auxquels elles peuvent réaliser leurs produits en Europe. Enfin et surtout, elles devront apporter le plus grand soin dans le choix de leur personnel européen, car, de tous les dangers signalés, il y en a peu qui effrayent, mais il y en a un auquel on ne pense pas beaucoup et dont on parle peu, et qui, à mon sens, est peut-être le plus grand, c'est de trouver un bon personnel européen en Afrique. Je considère que, de toutes les difficultés de l'heure présente, celle-là est peut-être la plus grave (1). »

Nous n'avons nullement l'intention de développer les divers points soulevés par le général Thys, bien qu'ils mériteraient, vu leur importance, d'être discutés. Nous retenons simplement l'impression que la crise caoutchoutifère n'est pas aussi grave que beaucoup l'ont pensé.

Cet avis est d'ailleurs partagé par M. G. Lamy-Torrilhon : « Il ne faut pas trop s'alarmer, dit-il, de cette situation qui se tassera, qui s'équilibrera à un moment donné sans trop de dommage, espérons-le, pour les récolteurs aussi bien de « plantation » que du « Para sauvage », il faut au contraire tirer un enseignement de ce qui se passe en ce moment. Cette crise, qui semble plutôt affecter le Brésil et le Congo, s'atténuera. On s'était habitué trop vite à des bénéfices exagérés, on dépensait sans compter un argent trop facile à rentrer, il va falloir maintenant réduire les frais généraux et le coût de la main-d'œuvre au strict nécessaire, se restreindre de tous côtés (2). »

Pour lutter contre cette crise, tous les gouvernements intéressés ont cherché à modifier les règlements en vigueur, à diminuer les frais de transport de manière à amener les produits de cueillette, sur les marchés, à un prix capable d'entrer en concurrence avec la « plantation ».

La crise qui s'atténue déjà, nous voyons en effet les prix augmenter, ne doit donc pas faire abandonner la culture ni même

(1) LE MOUVEMENT GÉOGRAPHIQUE, Bruxelles, 21 déc. 1913, p. 646.

(2) G. Lamy-Torrilhon, *La situation économique du caoutchouc*. JOURNAL D'AGRICULTURE TROPICALE, n° 149, 30 novembre 1913.

l'exploitation des essences indigènes. Du fait que le Brésil va se voir dépassé dans la production du caoutchouc, par l'Extrême-Orient, faut-il conclure que le Brésil ne doit plus, et ne pourra plus, exporter du caoutchouc ? Ce serait là, nous semble-t-il, une conclusion outrée que l'on paraît avoir été très pressé d'émettre. Il en est de même pour le Congo Belge, par exemple, qui depuis des années exporte par an environ 4000 tonnes de caoutchouc. Faut-il brusquement admettre que par suite d'une simple baisse de prix cette vaste région n'est plus capable de produire économiquement la gomme et, partant, abandonner la cueillette qui seule a fourni jusqu'à ce jour cette quantité notable de caoutchouc ? Nous pensons au contraire qu'en étudiant soigneusement la question, en faisant de sages économies, en réglant surtout le prix d'achat suivant le prix de vente, il sera possible de maintenir le poste « caoutchouc » dans les exportations de notre colonie et qu'il y aura encore, pour les commerçants de tout genre, moyen de faire des bénéfices raisonnables.

Les propositions de diminution faites par le Gouvernement de l'Afrique équatoriale française porteraient un dégrèvement de 0,785 fr. au kilo, soit 785 fr. à la tonne, ce qui laisserait la tonne de caoutchouc à $2750 - 785 = 1965$ fr., chiffre auquel il faudrait naturellement ajouter les frais de transport jusque sur le marché européen (1).

Dans ce chiffre, le prix d'achat du caoutchouc est fixé à 1 fr., chiffre officiel proposé par le ministre des Colonies de France dans le JOURNAL OFFICIEL du 14 mars dernier (QUINZAINE COLONIALE, 25 mars 1914, p. 203). Mais le ministre des Colonies de France a eu soin de faire remarquer que ce prix est « généralement supérieur à celui que payent les commerçants au lieu de production ».

Lorsque nous avons examiné la question de la rentabilité des essences caoutchoutifères indigènes congolaises, en nous basant sur le prix de 1381,25 fr. à la tonne pour le caoutchouc congolais rendu à Anvers, nous avons ajouté 750 fr. de prix d'achat à l'indigène, ce qui portait la tonne à 2131,25 fr. rendue à Anvers. Or le plus bas prix obtenu en décembre 1913 est de 3,50 fr. au kilo, soit 3500 fr. la tonne, ce qui laisse un bénéfice net de plus de 1300 fr. à la tonne.

Admettons même qu'il faille payer 1000 fr. à la tonne lors de

(1) Cf. BULLETIN DE L'ASSOCIATION DES PLANTEURS DE CAOUTCHOUC, vol. VI, mars 1914, n° 2, p. 35 ; voyez également p. 39.

l'achat, ce qui porterait le caoutchouc à Anvers à 2381,21 fr. ; il y aurait encore un bénéfice très appréciable à la tonne. Il faut d'ailleurs compter que la moyenne très basse du prix d'achat sur le marché d'Anvers est de 4 fr., ce qui rachète la dépense supplémentaire pour l'achat de la matière brute au Congo.

Le prix de vente s'est d'ailleurs encore relevé et le 25 avril on notait, à Anvers, pour les caoutchoucs congolais de belle qualité très recherchés :

| | |
|-----------------------------------|-------------|
| Congo Haut-Ubangi rouge | 5,90 — 6 |
| H. C. rouge ordinaire | 5,65 — 5,75 |
| H. C. noir | 5,80 — 5,90 |
| Kasai rouge et noir I | 5,75 — 5,85 |
| Sanga Ubangi noir | 5,90 — 6 |
| Katanga noir et rouge I | 5,85 — 5,95 |
| Alima | 4,05 |

C'est-à-dire que le plus bas prix du produit vendu dépassait le chiffre que nous avons cité.

Il faut, il est vrai, faire remarquer qu'une partie de la marchandise a été retirée de la vente, les vendeurs ne voulant accepter des offres en baisse trop sensible.

Mais le prix de vente du caoutchouc africain pourrait être facilement maintenu autour de 4,50 fr. le kilo et même dépasser ce taux, il suffirait pour cela de relever la qualité. Ce relèvement peut déjà se faire par un simple lavage, et on l'obtiendra avec plus de sûreté, en instruisant l'indigène comme on l'a fait dans certaines colonies africaines.

Ne faut-il pas tenir compte, comme l'a fait remarquer M. le Gouverneur Merlin, du fait que certaines puissantes firmes telles que la « Provoduik » de Riga, tout en reconnaissant les supériorités que présente le caoutchouc de plantation sur le caoutchouc sauvage, ont néanmoins affirmé que la substitution ne saurait avoir lieu de longtemps encore, elles ont au contraire signalé l'intérêt qu'elles verraient à recevoir des espèces congolaises, surtout si celles-ci devaient être de qualité meilleure que beaucoup de celles qui ont été introduites jusqu'ici.

Nous tenons cependant à faire remarquer que pour les sortes du Congo belge la mauvaise qualité est exagérée. Il suffirait pour s'en persuader de jeter un coup d'œil sur les taxations des caoutchoucs présentés sur le marché d'Anvers en avril 1914 (Circulaire Grisar 20 mars, n° 7). Nous y voyons les prix du

caoutchouc sylvestre congolais fluctuer entre 2,50 fr. et 6 fr. le kilo et ceux du caoutchouc de plantation varier de 4,80 à 6,85 fr.

Comme le montre le tableau que nous avons reproduit plus haut, le Congo français (Alima) paraît se trouver dans des conditions moins favorables que le Congo belge.

Il n'y a donc pas là un très grand écart entre le « plantation » et le « sylvestre », et il est sans conteste que la purification sur place, l'éducation de l'indigène et la mise en œuvre de procédés de préparation de plus en plus rationnels permettraient d'obtenir des produits congolais de qualité de plus en plus belle, toujours semblables à eux-mêmes, et de valeur au moins égale aux maximums obtenus actuellement, et capables dès lors de lutter de mieux en mieux contre le caoutchouc de plantation.

C'est d'ailleurs le but vers lequel doivent tendre tous les efforts : diminuer le nombre de variétés de caoutchoucs apportés sur le marché et augmenter leur qualité, faire de la « standardisation », comme le veut la *Rubber Growers Association* de Londres. Mais c'est là un aspect encore très obscur de la question caoutchoutifère et qui ne peut être abordé que par de nombreuses recherches de science pure, de technique et de pratique industrielle (1).

Indiscutablement, la lutte entre les deux genres de produits sera âpre, mais nous prétendons qu'ils persisteront tous les deux. Cependant, il faut admettre que les producteurs de l'un ou de l'autre genre, qui ne seront pas assez forts, c'est-à-dire qui ne seront pas suffisamment préparés, disparaîtront, malheureusement pour eux, heureusement pour la cause générale.

C'est d'ailleurs ce que l'on observe déjà : les sociétés caoutchoutifères montées au moment du « boom », et franchement surcapitalisées, doivent tomber, car les conditions actuelles ne leur permettent pas de rémunérer les capitaux engagés ; mais il en est tout autrement des exploitations de plantes sauvages, fondées sur la collaboration des indigènes.

Nous pensons donc que l'exploitation et la culture des lianes sont rentables ; les essais que nous avons rapportés dans des études antérieures, *Mission Laurent*, *Mission permanente d'études de la Compagnie du Kasai*, ont démontré la possibilité de la multiplication de diverses essences caoutchoutifères, tant de lianes à tige aérienne capable de produire du caoutchouc,

(1) Cf. BULLETIN DE L'ASSOCIATION DES PLANTEURS DE CAOUTCHOUC, vol. VI, mai 1914, n° IV.

que de lianes dans lesquelles la gomme s'est réfugiée dans les rhizomes, par suite de l'habitat particulier de ces plantes, telles que les caoutchoutiers des herbes et certaines formes de *Landolphia owariensis* sur lesquelles M. Bandon a fait ses expériences très significatives.

Mais il est indiscutable que pour obtenir des résultats avec ces essences, il faut non seulement mettre les réserves caoutchoutifères en coupes réglées, comme nous l'avons dit et comme l'ont dit après nous M. Louvel à Madagascar, et M. Bandon au Congo Français, mais traiter les tissus par un procédé mécanique.

C'est la seule méthode pour réaliser, à l'aide de ces plantes, une exploitation méthodique et industrielle.

M. Bandon estime que l'exploitation des ressources caoutchoutifères indigènes de l'Ubangi-Chaci est impossible par les particuliers, à cause de l'éloignement des pays où il faut travailler, des difficultés de toutes sortes qu'on y rencontre et de la rareté de la main-d'œuvre. Il croit aussi que pour réussir il faudrait disposer de terrains particulièrement étendus et d'un capital énorme qui, d'après lui, ne serait pas rémunéré par le rendement. Mais il considère que la question se présente tout différemment si l'on envisage la possibilité de faire exécuter le travail par l'Administration qui, dit-il, agirait dans « l'intérêt de l'indigène en exigeant de lui un effort dont il retirerait le plus gros bénéfice ».

Nous ne pouvons partager complètement cette manière de voir ; une entreprise particulière bien gérée pourrait, nous en sommes persuadé, faire, par ce genre d'exploitation, des bénéfices qui seraient suffisants pour rémunérer convenablement un capital proportionné aux possibilités économiques de l'exploitation. Certes une telle entreprise devrait être organisée un peu différemment de celles que l'on a eu l'habitude d'installer dans les colonies africaines, et différemment aussi des Estates de l'Extrême-Orient. Il est indiscutable, par exemple, qu'il ne pourrait être question de traiter des lianes si la coupe des tiges aériennes et leur utilisation n'étaient pas permises, et si l'arrachement des racines, comme la coupe des tiges utilisables, n'étaient pas faites par zones. Mais rien ne serait plus facile, pour une société qui posséderait une concession forestière, ou des terrains recouverts par une brousse à essences caoutchoutifères, de mettre celles-ci en coupes réglées et de transporter successivement dans les zones exploitées les appareils nécessaires à l'extraction mécanique du caoutchouc. Si ce procédé ne pouvait

donner de résultat, ne serait-il pas possible de faire amener par les indigènes la matière première à une usine installée dans un endroit favorablement choisi de la concession ?

Dans ce dernier cas, le noir n'aurait qu'à soigner les réserves et à récolter la matière brute qu'il livrerait à l'usine contre paiement proportionnel soit aux tiges et racines apportées, soit au caoutchouc obtenu du produit brut.

Cette méthode, à notre sens, très recommandable, n'exigerait pas un travail bien considérable de l'indigène ; elle a pour d'autres produits, par exemple pour le cacao, donné de fort bons résultats dans certaines colonies de l'Afrique occidentale.

C'est d'ailleurs, ne l'oublions pas, dans notre intérêt que nous devons amener le noir à travailler sur place au progrès des industries actuellement existantes ; cela vaudra mieux, pensons-nous, que de créer, de toutes pièces, des industries ou des cultures nouvelles pour lesquelles l'indigène ne possède actuellement aucune aptitude.

Encore, si l'on craignait que même dans ces conditions le capital européen ne puisse être suffisamment rémunéré, il reste la ressource, que l'on ne devrait en aucune façon négliger, de favoriser directement chez l'indigène le travail de la liane par le pilonnage à la main, et de faire acheter par des salariés de la factorerie, blancs ou capitas noirs, le caoutchouc ainsi obtenu, comme cela a été pratiqué depuis des années par quelques fortes sociétés capitalistes européennes. Peut-être aurait-on, dans ce cas, avantage à purifier le caoutchouc dans une usine centrale avant de l'envoyer en Europe en vue d'améliorer et d'uniformiser, si possible, la qualité du produit.

D'ailleurs, nous ne devons pas nous le dissimuler, dans bien des régions, qui pendant de longues années resteront encore éloignées des métropoles, les cultures intensives de rapport ne pourront être introduites avec succès, et le caoutchouc, s'il existe, dans ces régions, sera toujours un produit qui trouvera preneur dans des conditions satisfaisantes.

Naturellement dans des circonstances pareilles les Gouvernements devraient intervenir, mais uniquement pour examiner si les conditions dans lesquelles les indigènes exploitant pour le compte des sociétés particulières, restent dans la limite des règlements que la colonie aurait édictés pour assurer la conservation des réserves. Cela ne soulève, pensons-nous, aucune difficulté. Les sociétés commerciales concessionnaires ont, dans la plupart des colonies, à observer dans les exploitations fores-

tières un cahier des charges. Le travail du caoutchouc de lianes même en dehors des forêts, dans les brousses africaines, devrait être mis sur le même pied que l'exploitation d'autres produits forestiers.

Madagascar a réglementé dans ce sens l'obtention de caoutchouc, dans son décret du 28 août 1913. Le Président de la République Française, sur le rapport du Ministre Morel, y a fait inscrire ces articles :

Art. 46. — Les récoltes de gommés, résines, gutta, caoutchouc, latex divers et tous autres produits accessoires, se feront suivant les indications du service de colonisation afin de ne pas détruire les végétaux producteurs. Des cahiers des clauses spéciales devront être établis pour ces exploitations qui demeurent soumises aux règles générales ci-après :

1° L'abatage des arbres à caoutchouc est rigoureusement interdit, seules les lianes à caoutchouc dont le diamètre est supérieur à 4 centimètres pourront être coupées. La récolte du caoutchouc d'arbre ne pourra avoir lieu que par saignée.

Art. 47. — En ce qui concerne le caoutchouc, le concessionnaire sera en outre tenu de planter chaque année, dans les parcelles exploitées, un nombre de lianes et d'arbres à caoutchouc qui ne sera pas inférieur à 150 pieds par hectare. Un cahier des clauses spéciales indiquera dans quelles conditions s'effectueront ces plantations.

Nous sommes cependant d'avis que l'abatage des arbres pourrait fort bien être toléré; nous avons démontré antérieurement, et M. Pagrouont Farreuc a repris la même thèse, que le *Funtumia elastica* pouvait, avec avantage, être abattu et ses écorces traitées mécaniquement (1).

Il suffirait d'inscrire au chapitre de la récolte du caoutchouc la restriction introduite par le décret de Madagascar pour les gommés et résines, savoir : « Le concessionnaire pourra, employer telle méthode d'extraction qui lui conviendra, pourvu qu'elle ne soit pas préjudiciable à l'avenir de la forêt. »

Peut-être faudrait-il remplacer le mot « concessionnaire » par celui de « collecteur », appliquer le qualificatif « économique » à « avenir de la forêt » et ajouter : « ou de la région ».

L'exploitation des lianes a donc encore de l'avenir; elle demande surtout à être étudiée; elle devrait être soumise à

(1) Cf. De Wildeman, in LE CAOUTCHOUC ET LA GUTTA-PERCHA, 15 février 1914 8019, où l'on trouvera des indications bibliographiques sur le sujet.

une enquête, sans idée préconçue. De cette étude découlerait naturellement une réglementation bien définie que les États, les sociétés commerciales et les indigènes auraient le plus grand intérêt à voir appliquer rigoureusement.

Cette réglementation devrait tenir compte des plantes exploitées qui, nous avons eu l'occasion de le dire fréquemment, sont très variables.

Nous avons donc ici une raison de plus de réclamer, pour toutes les ressources des colonies tropicales, des enquêtes scientifiques et économiques approfondies sans lesquelles, nous ne devons pas nous le dissimuler, toutes nos entreprises culturelles resteront basées sur l'empirisme et, dans la plupart des cas, vouées à un échec.

C'est d'ailleurs une des conclusions auxquelles aboutit notre confrère M. Bandon : « Il faudrait, dit-il, reconnaître au préalable tous les peuplements importants, les limiter dans leurs grandes lignes et les porter sur les cartes locales. Ce serait là le plus gros travail, mais il pourrait être fait assez rapidement par les agents de l'Administration au cours des tournées qu'ils doivent faire dans leurs régions respectives » (1).

Lorsque, à la première conférence du caoutchouc à Londres, en 1911, nous avons insisté sur l'intérêt de la culture et de l'exploitation des caoutchoutiers indigènes, nous avons émis l'idée que cette exploitation rationnelle devait avoir pour résultat d'attacher le noir au sol et qu'elle aurait fait faire plus de progrès à la civilisation qu'en amenant l'indigène à travailler, pour le capitaliste blanc, dans une plantation ou une usine.

De plus, il ne faut pas oublier que la mise en valeur rationnelle des forêts et des brousses africaines, aurait le grand avantage de conserver ces forêts, de donner à ces terres une couverture de végétation, et d'empêcher ainsi la modification du climat et le ravinement, qui ont, sur l'avenir économique des régions tropicales, la plus grande action.

Nous voyons déjà dans les Indes Anglaises, dans les Indes Néerlandaises, à Madagascar, les agronomes attirer l'attention sur les nombreux inconvénients des déboisements qui entraînent avec eux des changements contre lesquels, hélas, la culture faite par le civilisé ne peut lutter. M. Louvel n'a-t-il pas fixé, pour une seule province de Madagascar (Morondava) à 2000 hectares la surface boisée détruite annuellement par les indi-

(1) *Loc. cit.*, page 20.

gènes? Ajoutez-y les hectares de forêts que le blanc supprime pour l'établissement de cultures, souvent aléatoires, et songez à ce qui restera dans quelques années des forêts tropicales et de leurs ressources sur lesquelles nous comptons tant.

Il serait à souhaiter que les vœux émis récemment encore par M. Altona, du service forestier de Java, et M. Harold Hamel-Smith de Londres, fussent largement pris en considération. Leur exécution forcerait naturellement les gouvernements des pays tropicaux à prendre des mesures pour mettre en exploitation rationnelle les ressources de leurs forêts.

É. DE WILDEMAN.

TABLE DES MATIÈRES

DU

VINGT-SIXIÈME VOLUME (TROISIÈME SÉRIE)

TOME LXXVI DE LA COLLECTION

Livraison de Juillet 1914

| | |
|--|-----|
| ORIGINE ET HISTOIRE D'UNE CHAÎNE DE MONTAGNES : LES ALPES, par M. G. Delépine | 5 |
| LE MILIEU INTERSTELLAIRE, par le R. P. F. Willaert, S. J. | 33 |
| LA FIÈVRE TYPHOÏDE ET LA VACCINATION ANTITYPHOÏDIQUE, par le D^r A. Haibe. | 77 |
| LES ONDES HERTZIENNES ATMOSPHÉRIQUES, par le R. P. Marc Dechevrens, S. J. | 96 |
| LES ACTIONS CATALYTIQUES EN CHIMIE, par M. P. Bruylants | 119 |
| LES PARATONNERRES A L'ASSOCIATION ÉLECTROTECHNIQUE ALLEMANDE, par le R. P. J. D. Lucas, S. J. | 136 |
| L'ÉLÉMENT NERVEUX (<i>fin</i>), par le R. P. L. Boule, S. J. . | 165 |
| VARIÉTÉS. — I. A propos d'un ouvrage récent sur l'astro- nomie nautique au Portugal à l'époque des grands voyages de découverte, par le R. P. H. Bosmans, S. J. | 216 |
| II. Roger Bacon, septième centenaire de sa naissance, par J. T. | 227 |
| BIBLIOGRAPHIE. — I. Cours de Mécanique professé à l'École Polytechnique, par L. Lecornu, tome I, M. O. . | 241 |
| II. Les coordonnées intrinsèques. Théorie et applica- tions, par L. Braude, M. O. | 243 |
| III. Introduction géométrique à quelques théories physiques, par Émile Borel, M. O. | 245 |
| IV. Beispiele zur Geschichte der Mathematik. Ein mathematisch-historisches Lesebuch, II Teil, von Alexander Witting und Martin Gebhart, H. B. | 249 |

- V. A History of Japanese Mathematics, by Eugene Smith and Yoshio Mikami, **H. B.** 251
- VI. Bibliotheca scriptorum Graecorum et Romanorum Teubneriana. — Des Clodius Ptolemäus Handbuch der Astronomie. Aus dem Griechischen übersetzt und mit erklärenden Anmerkungen versehen von Karl Manitius, **H. B.** 253
- VII. La forme de la Terre et sa constitution interne, par Alex. Véronnet, **N. N.** 255
- VIII. I. Les lois empiriques du système solaire et les harmoniques tourbillonnaires, par F. Butavand. — II. L'harmonie tourbillonnaire de l'atome. Les spectres et les éléments, par F. Butavand, **L. R.** 256
- IX. Traité de Physique, par O. D. Chwolson. Traduction de E. Davaux. Tome IV, Deuxième fascicule. Champ magnétique constant. Tome V, Premier fascicule. Champ magnétique variable, **J. T.** 260
- X. Radiations visibles et invisibles, par Silvanus P. Thompson. Traduction et annotations de L. Dunooyer, **J. T.** 262
- XI. L'esthétique de la lumière, par Paul Souriau, **G. Lechalas** 269
- XII. Annuaire météorologique de la Station de Géographie mathématique de l'Université de Gand. Année météorologique mars 1913-février 1914, par M. L. N. Vandevyver, **J. T.** 274
- XIII. La silice et les silicates, par Henry Le Châtelier, **H. De Greeff, S. J.** 275
- XIV. Il Metodo degli Equivalenti. Contributo allo studio dei processi di confronto. Ricerche sperimentali del Dott. Agostino Gemelli, **J. Maréchal, S. J.** 281
- XV. La fermentation alcoolique, par Arthur Harden (F. S. R.). Traduit de l'anglais, par G. Schaefer, **J. Maréchal, S. J.** 287
- XVI. Restauration des montagnes. Correction des torrents. Reboisement, par E. Thiéry, **C. de Kirwan** 289
- XVII. Économie forestière. Tome I, deuxième partie. fascicule I. Propriété et législation forestière, par G. Huffel, **C. de Kirwan** 293
- XVIII. The Banana. Its cultivation, distribution and commercial uses, by W. Fawcett, **É. D. W.** 298

| | |
|---|-----|
| XIX. Le caoutchouc. Sa chimie nouvelle. Ses synthèses, par A. Dubosc et A. Luttringer, É. D. W. . . . | 299 |
| XX. La notion de temps, par D. Nys, P. Geny . . . | 301 |
| XXI. Semaine sociale d'octobre 1913. L'évolution des Associations et des Institutions (Institut Solvay). Compte rendu par M. Vauthier, H. D. . . . | 304 |
| XXII. Recherches sur le Paganisme de Libanios, par J. Misson, J. B. Herman | 306 |
| XXIII. Le portrait du Christ, par René Colson, P. du Ph. | 307 |
| REVUE DES RECUEILS PÉRIODIQUES. | |
| SCIENCES TECHNIQUES, par M. M. Demanet. | 310 |
| MÉTÉOROLOGIE, par W. T. | 325 |
| ASTRONOMIE, par N. N. | 335 |

Livraison d'Octobre 1914

| | |
|---|-----|
| S. S. LE PAPE BENOIT XV. | 1 |
| L'ASTROLOGIE AU MOYEN AGE, par M. P. Duhem. | 349 |
| LES FORÊTS CONGOLAISES, par M. É. De Wildeman. | 392 |
| LA QUOTITÉ DE VIE D'UNE NATION PAR KILOMÈTRE CARRÉ, par M. Paul Mansion | 415 |
| LES PLÉIADES, par le R. P. J. Thirion, S. J. | 420 |
| UNE ENQUÊTE SUR L'ASSURANCE POPULAIRE SUR LA VIE (ASSU- RANCE DE CAPITAUX), par M. C. Beaujean | 453 |
| VARIÉTÉS. — I. Un mémoire d'Ampère trop peu connu sur la ruine du joueur, par M. Paul Mansion | 496 |
| II. La lumière « froide » d'après le procédé Dussaud, par M. E. Demanet | 507 |
| BIBLIOGRAPHIE. — I. Wahrscheinlichkeitsrechnung von A. A. Markoff. Nach der zweiten Auflage des russischen Werkes übersetzt von H. Liebmann, Paul Mansion | 514 |
| II. Leonhardi Euleri opera omnia sub auspiciis Societatis Scientiarum naturalium Helveticae edenda curaverunt Ferdin. Rudio, Adolf Krazer, Paul Staeckel, H. Bosmans, S. J. | 521 |
| III. Études sur Léonard de Vinci, par Pierre Duhem, H. Bosmans, S. J. | 529 |

| | |
|--|-----|
| IV. Encyclopédie des Sciences mathématiques pures et appliquées, publiée sous les auspices des Académies des Sciences de Göttingue, de Leipzig, de Munich et de Vienne, H. Bosmans, S. J. . . . | 537 |
| V. L'Annuaire pour l'an 1914, publié par le Bureau des Longitudes, J. T. | 551 |
| VI. Le téléphone instrument de mesure, par Augustin Guyau, J. D. L. | 557 |
| VII. L'Afrique équatoriale française, par Maurice Rondet-Saint, préface de Marcel Saint-Germain, Fern. Van Ortrov | 559 |
| VIII. Études archéologiques et ethnologiques. Populations primitives de la Mongolie Orientale, par R. Torii et Kinniko Torii, I. S. | 563 |
| IX. Étude sur l'écriture artificielle dans les documents forgés, par Cl. Paulier, E. de Moreau, S. J. . . | 566 |
| REVUE DES RECUEILS PÉRIODIQUES. | |
| ASTRONOMIE, par N. N. | 571 |
| HISTOIRE DES MATHÉMATIQUES, par H. Bosmans, S. J. | 583 |
| BOTANIQUE INDUSTRIELLE, par M. Éd. De Wildeman. | 610 |

REVUE
DES
QUESTIONS SCIENTIFIQUES

PUBLIÉE
PAR LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES

Nulla unquam inter fidem et rationem
vera dissensio esse potest.
Const. de Fid. Cath., c. IV.

TROISIÈME SÉRIE
TOME XXVI — 20 JUILLET 1914
(TRENTÉ-HUITIÈME ANNÉE ; TOME LXXVI DE LA COLLECTION)

LOUVAIN
SECRÉTARIAT DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE
(M. J. Thirion)
11, RUE DES RÉCOLLETS, 11

1914

LIVRAISON DE JUILLET 1914

- I. — ORIGINE ET HISTOIRE D'UNE CHAÎNE DE MONTAGNES : LES ALPES, par **M. G. Delépine**, p. 5.
- II. — LE MILIEU INTERSTELLAIRE, par le **R. P. F. Willaert, S. J.**, p. 33.
- III. — LA FIÈVRE TYPHOÏDE ET LA VACCINATION ANTITYPHOÏDIQUE, par **M. le Docteur Haibe**, p. 77.
- IV. — LES ONDES HERTZIENNES ATMOSPHÉRIQUES, par le **R. P. M. Dechevrens, S. J.**, p. 96.
- V. — LES ACTIONS CATALYTIQUES EN CHIMIE, par **M. P. Bruyants**, p. 119.
- VI. — LES PARATONNERRES A L'ASSOCIATION ÉLECTROTECHNIQUE ALLEMANDE, par le **R. P. Lucas, S. J.**, p. 136.
- VII. — L'ÉLÉMENT NERVEUX (*Suite et fin*), par le **R. P. L. Boule, S. J.**, p. 165.
- VIII. — VARIÉTÉS. — I. *A propos d'un ouvrage récent sur l'astronomie nautique au Portugal à l'époque des grands voyages de découverte*, par le **R. P. H. Bosmans, S. J.**, p. 216. — II. *Roger Bacon, septième centenaire de sa naissance*, par **J. T.**, p. 227.
- IX. — BIBLIOGRAPHIE. — I. Cours de Mécanique professé à l'École Polytechnique par L. Lecornu, tome I, **M. O.**, p. 241. — II. Les coordonnées intrinsèques. Théorie et applications, par L. Braude, **M. O.**, p. 243. — III. Introduction géométrique à quelques théories physiques, par Émile Borel, **M. O.**, p. 245. — IV. Beispiele zur Geschichte der Mathematik. Ein mathematisch-historisches Lesebuch, II Teil, von Alexander Witting und Martin Gebhart, **H. B.**, p. 249. — V. A History of Japanese Mathematics, by Eugene Smith and Yoshio Mikami, **H. B.**, p. 251. — VI. Bibliotheca scriptorum Graecorum et Romanorum Teubneriana. — Des Clodius Ptolemæus Handbuch der Astronomie. Aus dem Griechischen übersetzt und mit erklärenden Anmerkungen versehen von Karl Manitius, **H. B.**, p. 253. — VII. La Forme de la Terre et sa Constitution interne, par Alex. Veronnet, **N. N.**, p. 255. — VIII. — I. Les lois empiriques du système solaire et les harmoniques tourbillonnaires, par F. Butavand. — II. L'harmonie tourbillonnaire de l'atome. Les spectres et les éléments, par F. Butavand, **L. R.**, p. 256. — IX. Traité de Physique, par O. D. Chwolson. Traduction de E. Davaux. Tome IV, Deuxième fascicule. Champ magnétique constant. Tome V, Premier fascicule. Champ magnétique variable, **J. T.**, p. 268. — X. Radiations visibles et invisibles, par Silvanus P. Thompson. Traduction et annotations de L. Dunoyer, **J. T.**, p. 260. — XI. L'Esthétique de la Lumière, par Paul Souriau, **G. Lechalas**, p. 269. — XII. Annuaire météorologique de la Station de Géographie Mathématique de l'Université de Gand. Année météorologique mars 1913-février 1914, par M. L. N. Vandevyver, **J. T.**, p. 274. — XIII. La silice et les silicates, par Henry Le Châtelier, **H. de Greeff, S. J.**, p. 275. — XIV. Il Metodo degli Equivalenti, Contributo allo studio dei processi di confronto. Ricerche sperimentali del Dott. Agostino Gemelli, **J. Maréchal, S. J.**, p. 280. — XV. La Fermentation alcoolique, par Arthur Harden F. R. S. Traduit de l'anglais par G. Schaefer, **J. Maréchal, S. J.**, p. 287. — XVI. Restauration des Montagnes. Correction des torrents. Reboisement, par E. Thiéry, **G. de Kirwan**, p. 291. — XVII. Économie forestière Tome I, deuxième partie, fascicule I. Propriété et législation forestière, par G. Huffel, **C. de Kirwan**, p. 293. — XVIII. The Banana. Its cultivation, distribution and commercial uses, by W. Fawcett, **E. D. W.**, p. 298. — XIX. Le caoutchouc. Sa chimie nouvelle. Ses synthèses, par A. Dubosc et A. Luttringer, **E. D. W.**, p. 299. — XX. La notion de temps, par D. Nys, **P. Geny**, p. 301. — XXI. Semaine sociale d'octobre 1913. L'Évolution des Associations et des Institutions (Institut Solvay). Compte rendu par M. Vauthier, **H. D.**, p. 304. — XXII. Recherches sur le Paganisme de Libanios, par J. Misson, **J. B. Herman**, p. 306. — XXIII. Le portrait du Christ, par René Colson, **P. du Ph.**, p. 307.
- X. — REVUE DES RECUEILS PÉRIODIQUES. — Sciences techniques, par **M. M. Demanet**, p. 310. — Météorologie, par **W. T.**, p. 325. — Astronomie, par **N. N.**, p. 335.

PUBLICATIONS DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE

- ANNALES DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES**, t. I à t. XXXV, 1875 à 1911. Chaque vol. in-8° de 400 à 600 pages fr. 20 00
- TABLE ANALYTIQUE** des vingt-cinq premiers volumes des ANNALES DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE (1875-1901). Un vol. in-8° de 250 pages (1904), en vente au prix de fr. 3 00
- REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES**. Première série, 1877 à 1891. Trente volumes. Seconde série, 1892 à 1901. Vingt volumes. Troisième série, commencée en 1902. Les deux volumes annuels, de 700 pages in-8° chacun, fr. 20 00
- TABLE ANALYTIQUE** des cinquante premiers volumes de la REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES (1877-1901). Un vol. in-8° de XII-168 pages, petit texte (1904), en vente au prix de 5 fr.; pour les abonnés . . fr. 2 00
- Ph. Gilbert**. Mémoire sur l'application de la méthode de Lagrange à divers problèmes de mouvement relatif. Deuxième édition (1889). Un vol. in-8° de 150 pages fr. 7 50
- DISCUSSION SUR LE FŒTICIDE MÉDICAL**. Brochure in-8° de 38 pages (1904) fr. 1 00
- LA CRISE DU LIBRE-ÉCHANGE EN ANGLETERRE**. Rapports de MM. G. Blondel, Ch. Dejace, A. Viallate, Emm. de Meester, P. de Laveye, Éd. Van der Smissen. Brochure in-8° de 121 pages (1905). . . fr. 2 00
- LES PORTS ET LEUR FONCTION ÉCONOMIQUE** : **T. I.** Introduction, Éd. Van der Smissen. I. La Fonction économique des Ports dans l'Antiquité grecque, H. Francotte. II. Bruges au Moyen âge, G. Eeckhout. III. Barry, H. Laporte. IV. Beira, Ch. Morisseaux. V. Liverpool, P. de Rousiers. VI. Anvers, E. Dubois et M. Theunissen. VII. Les Ports et la vie économique en France et en Allemagne, G. Blondel. Un vol. in-8° de 183 pages, figures et plans (Épuisé). **T. II.** VIII. Londres, G. Eeckhout. IX. Délos, A. Roersch. X. Rotterdam, J. Charles. XI. Gênes au Moyen âge, J. Hanquet. XII. Marseille, G. Blondel. Un vol. in-8° de 123 pages, figures et plans. Prix : 3 francs. **T. III.** XIII. Le Port moderne de Gênes, M. Theunissen. XIV. Ostende. L.-Th. Léger. XV. Jaffa, P. Gendebien. XVI. Lisbonne, Ch. Morisseaux. XVII. Le Havre, G. Blondel. XVIII. Hambourg, P. de Rousiers et J. Charles. XIX. Rio-de-Janeiro, F. Georlette. XX. Han-Kow. A. Vanderstichele. Prix : 3 francs. **T. IV.** XXI. Barcelone et Bilbao, J. Charles. XXII. Buenos-Aires, M. Theunissen. XXIII. Brême, J. Charles. XXIV. New-York, Paul Hagemans. XXV. Le Port de Pouzzoles dans l'Antiquité, d'après un livre récent, Alphonse Roersch. XXVI. Shanghai, A. A. Fauvel. XXVII. Zeebrugge, J. Nyssens-Hart. Un vol. in-8° de 184 pages, figures et plans. Prix : 3 francs. **T. V.** XXVIII. Rouen, G. Blondel. XXIX. Montréal, M. Dewavrin. XXX. Seattle et Tacoma, M. Rondet-Saint. XXXI. Trieste, Fiume, Venise, M. Dewavrin. XXXII. Venise au moyen âge, C. Terlinden. XXXIII. Les ports du Nord-Est de l'Angleterre, J. Meuwissen. — Conclusions, G. Blondel. — Appendices : L'administration des Ports, J. Charles, S. J. L'industrie des transports maritimes, H. Mansion. Prix : 3 francs.
- SUR QUELQUES POINTS DE MORALE SEXUELLE DANS SES RAPPORTS AVEC LA MÉDECINE**. Rapport de M. le Dr X. Francotte. Brochure in-8° de 48 pages (1907) fr. 0 75
- DE LA DÉPOPULATION PAR L'INFÉCONDITÉ VOULUE**. Rapport de M. le Dr Henri Desplats, et discussion. Brochure in-8° de 29 pages (1908) fr. 0 75

REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES

PUBLIÉE PAR

LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES

TROISIÈME SÉRIE

Cette revue de haute vulgarisation, fondée en 1877 par la Société scientifique de Bruxelles, se compose actuellement de deux séries : la **première série** comprend 30 volumes (1877-1891); la **deuxième**, 20 volumes (1892-1901). La livraison de janvier 1902 a inauguré la **troisième série**.

La revue paraît en livraisons trimestrielles de 352 pages, à la fin de janvier, d'avril, de juillet et d'octobre. Chaque livraison renferme trois parties principales.

La **première partie** se compose d'**Articles originaux**, où sont traités les sujets les plus variés se rapportant à l'ensemble des sciences mathématiques, physiques, naturelles, sociales, etc.

La **deuxième partie** consiste en une **Bibliographie scientifique**, où l'on trouve un compte rendu détaillé et l'analyse critique des principaux ouvrages scientifiques récemment parus.

La **troisième partie** consiste en une **Revue des Revues et des Publications périodiques**, où des écrivains spéciaux résument ce qui paraît de plus intéressant dans les archives scientifiques et littéraires de notre temps.

Chaque livraison contient ordinairement aussi un ou plusieurs articles de **Variétés**.

CONDITIONS D'ABONNEMENT

Le prix d'abonnement à la REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES est de **20 francs** par an. Les membres de la Société scientifique de Bruxelles ont droit à une réduction de **25 %**; le prix de leur abonnement est donc de **15 francs** par an.

Table analytique des cinquante premiers volumes de la REVUE. Un vol. du format de la REVUE de XII-168 pages. Prix : 5 francs ; pour les abonnés, 2 francs.

Des volumes isolés seront fournis aux nouveaux abonnés à des conditions très avantageuses.

S'adresser pour tout ce qui concerne la Rédaction et l'Administration au secrétariat de la Société scientifique, 11, rue des Récollets, Louvain.

Une Notice sur la Société scientifique, son but, ses travaux, est envoyée gratuitement à ceux qui en font la demande au secrétariat.

REVUE

DES

5.26 (495) B
QUESTIONS SCIENTIFIQUES

PUBLIÉE

PAR LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES

Nulla unquam inter fidem et rationem
vera dissensio esse potest.
Const. de Fid. Cath., c. IV.

TROISIÈME SÉRIE

TOME XXVI — 20 OCTOBRE 1914

(TRENTE-HUITIÈME ANNÉE ; TOME LXXVI DE LA COLLECTION)

LOUVAIN
SECRÉTARIAT DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE

(**M. J. Thirion**)

11, RUE DES RÉCOLLETS, 11

1914

V. 1778
MUSEUM HISTORICUM
1914

LIVRAISON D'OCTOBRE 1914

- I. — S. S. LE PAPE BENOÎT XV, p. 1.
- II. — L'ASTROLOGIE AU MOYEN AGE, par **M. P. Duhem**, p. 349.
- III. — LES FORÊTS CONGOLAISES, par **M. É. De Wildeman**, p. 392.
- IV. — LA QUOTITÉ DE VIE D'UNE NATION PAR KILOMÈTRE CARRÉ, par **M. Paul Mansion**, p. 415.
- V. — LES PLÉIADES, par le **R. P. J. Thirion, S. J.**, p. 420.
- VI. — UNE ENQUÊTE SUR L'ASSURANCE POPULAIRE SUR LA VIE (ASSURANCE DE CAPITAUX), par **M. C. Beaujean**, p. 453.
- VII. — VARIÉTÉS. — I. *Un mémoire d'Ampère trop peu connu sur la ruine du joueur*, par **M. Paul Mansion**, p. 496. — II. *La lumière « froide » d'après le procédé Dussaud*, par **M. E. Demanet**, p. 507.
- VIII. — BIBLIOGRAPHIE. — I. Wahrscheinlichkeitsrechnung von A. A. Markoff. Nach der zweiten Auflage des russischen Werkes übersetzt von H. Liebmann, **Paul Mansion**, p. 514. — II. Leonardi Euleri opera omnia sub auspiciis Societatis Scientiarum naturalium Helveticae edenda curaverunt Ferdin. Rudio, Adolf Krazer, Paul Staedel, **H. Bosmans, S. J.**, p. 521. — III. Études sur Léonard de Vinci, par Pierre Duhem, **H. Bosmans, S. J.**, p. 529. — IV. Encyclopédie des Sciences mathématiques pures et appliquées, publiée sous les auspices des Académies des Sciences de Göttingue, de Leipzig, de Munich et de Vienne, **H. Bosmans, S. J.**, p. 537. — V. L'Annuaire pour l'an 1914, publié par le Bureau des Longitudes, **J. T.**, p. 551. — VI. Le téléphone instrument de mesure, par Augustin Guyau, **J. D. L.**, p. 557. — VII. L'Afrique équatoriale française, par Maurice Rondet-Saint, préface de Marcel Saint-Germain, **Fern. Van Ootroy**, 559. — VIII. Études archéologiques et ethnologiques. Populations primitives de la Mongolie Orientale, par R. Torii et Kimiko Torii, **I. S.**, p. 563. — IX. Étude sur l'écriture artificielle dans les documents forgés, par Cl. Paulier, **E. de Moreau, S. J.**, p. 566.
- IX. -- REVUE DES RECUEILS PÉRIODIQUES. — Astronomie, par **N. N.**, p. 571. — Histoire des mathématiques, par **H. Bosmans, S. J.**, p. 583. — Botanique industrielle, par **M. Éd. de Wildeman**, p. 610.

PUBLICATIONS DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE

- ANNALES DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES**, t. I à t. XXXV, 1875 à 1911. Chaque vol. in-8° de 400 à 600 pages fr. 20 00
- TABLE ANALYTIQUE** des vingt-cinq premiers volumes des ANNALES DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE (1875-1901). Un vol. in-8° de 250 pages (1904), en vente au prix de fr. 3 00
- REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES**. Première série, 1877 à 1891. Trente volumes. Seconde série, 1892 à 1901. Vingt volumes. Troisième série, commencée en 1902. Les deux volumes annuels, de 700 pages in-8° chacun, fr. 20 00
- TABLE ANALYTIQUE** des cinquante premiers volumes de la REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES (1877-1901). Un vol. in-8° de xii-168 pages, petit texte (1904), en vente au prix de 5 fr. ; pour les abonnés . . . fr. 2 00
- Ph. Gilbert**. Mémoire sur l'application de la méthode de Lagrange à divers problèmes de mouvement relatif. Deuxième édition (1889). Un vol. in-8° de 150 pages fr. 7 50
- DISCUSSION SUR LE FCETICIDE MÉDICAL**. Brochure in-8° de 38 pages (1904) fr. 1 00
- LA CRISE DU LIBRE-ÉCHANGE EN ANGLETERRE**. Rapports de MM. G. Blondel, Ch. Dejace, A. Viallate, Emm. de Meester, P. de Laveleye, Éd. Van der Smissen. Brochure in-8° de 121 pages (1905). . . fr. 2 00
- LES PORTS ET LEUR FONCTION ÉCONOMIQUE** : **T. I.** Introduction, Éd. Van der Smissen. I. La Fonction économique des Ports dans l'Antiquité grecque, H. Francotte. II. Bruges au Moyen âge, G. Eeckhout. III. Barry, II. Laporte. IV. Beira, Ch. Morisseaux. V. Liverpool, P. de Rousiers. VI. Anvers, E. Dubois et M. Theunissen. VII. Les Ports et la vie économique en France et en Allemagne, G. Blondel. Un vol. in-8° de 183 pages, figures et plans (Épuisé). **T. II.** VIII. Londres, G. Eeckhout. IX. Délos, A. Roersch. X. Rotterdam, J. Charles. XI. Gènes au Moyen âge, J. Hanquet. XII. Marseille, G. Blondel. Un vol. in-8° de 123 pages, figures et plans. Prix : 3 francs. **T. III.** XIII. Le Port moderne de Gènes, M. Theunissen. XIV. Ostende. L.-Th. Léger. XV. Jaffa, P. Gendebien. XVI. Lisbonne, Ch. Morisseaux. XVII. Le Havre, G. Blondel. XVIII. Hambourg, P. de Rousiers et J. Charles. XIX. Rio-de-Janeiro, F. Georlette. XX. Han-Kow. A. Vanderstichele. Prix : 3 francs. **T. IV.** XXI. Barcelone et Bilbao, J. Charles. XXII. Buenos-Aires, M. Theunissen. XXIII. Brème, J. Charles. XXIV. New-York, Paul Hagemans. XXV. Le Port de Pouzzoles dans l'Antiquité, d'après un livre récent, Alphonse Roersch. XXVI. Shanghai, A. A. Fauvel. XXVII. Zeebrugge, J. Nyssens-Hart. Un vol. in-8° de 184 pages, figures et plans. Prix : 3 francs. **T. V.** XXVIII. Rouen, G. Blondel. XXIX. Montréal, M. Dewavrin. XXX. Seattle et Tacoma, M. Rondet-Saint. XXXI. Trieste, Fiume, Venise, M. Dewavrin. XXXII. Venise au moyen âge, C. Terlinden. XXXIII. Les ports du Nord-Est de l'Angleterre, J. Meuwissen. — Conclusions, G. Blondel. — Appendices : L'administration des Ports, J. Charles, S. J. L'industrie des transports maritimes, H. Mansion. Prix : 3 francs.
- SUR QUELQUES POINTS DE MORALE SEXUELLE DANS SES RAPPORTS AVEC LA MÉDECINE**. Rapport de M. le Dr X. Francotte. Brochure in-8° de 48 pages (1907) fr. 0 75
- DE LA DÉPOPULATION PAR L'INFÉCONDITÉ VOULUE**. Rapport de M. le Dr Henri Desplats, et discussion. Brochure in-8° de 29 pages (1908) fr. 0 75

REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES

PUBLIÉE PAR

LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES

TROISIÈME SÉRIE

Cette revue de haute vulgarisation, fondée en 1877 par la Société scientifique de Bruxelles, se compose actuellement de deux séries : la **première série** comprend 30 volumes (1877-1891); la **deuxième**, 20 volumes (1892-1901). La livraison de janvier 1902 a inauguré la **troisième série**.

La revue paraît en livraisons trimestrielles de 352 pages, à la fin de janvier, d'avril, de juillet et d'octobre. Chaque livraison renferme trois parties principales.

La **première partie** se compose d'**Articles originaux**, où sont traités les sujets les plus variés se rapportant à l'ensemble des sciences mathématiques, physiques, naturelles, sociales, etc.

La **deuxième partie** consiste en une **Bibliographie scientifique**, où l'on trouve un compte rendu détaillé et l'analyse critique des principaux ouvrages scientifiques récemment parus.

La **troisième partie** consiste en une **Revue des Revues et des Publications périodiques**, où des écrivains spéciaux résument ce qui paraît de plus intéressant dans les archives scientifiques et littéraires de notre temps.

Chaque livraison contient ordinairement aussi un ou plusieurs articles de **Variétés**.

CONDITIONS D'ABONNEMENT

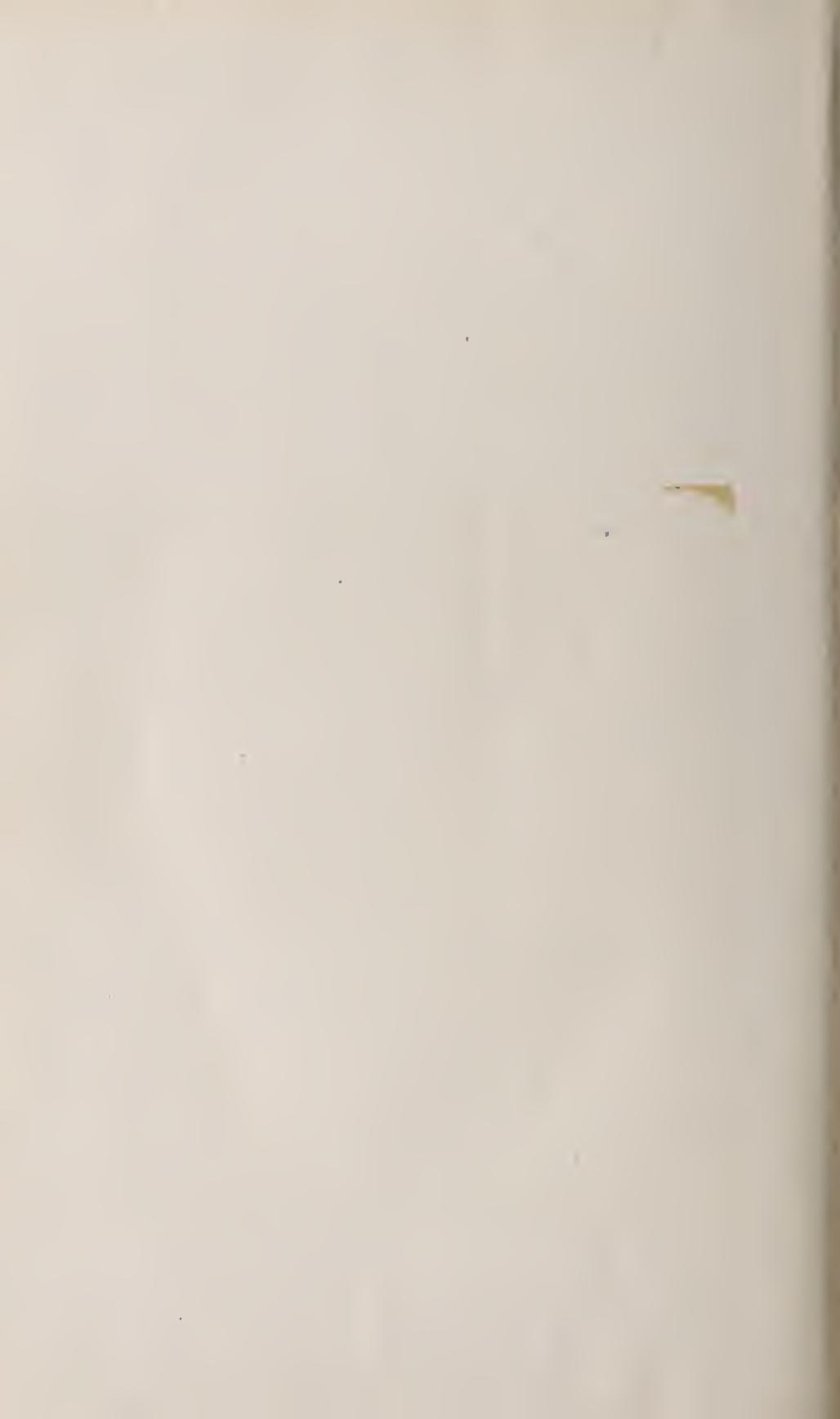
Le prix d'abonnement à la REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES est de **20 francs** par an. Les membres de la Société scientifique de Bruxelles ont droit à une réduction de **25 %**; le prix de leur abonnement est donc de **15 francs** par an.

Table analytique des cinquante premiers volumes de la REVUE. Un vol. du format de la REVUE de xii-168 pages. Prix : 5 francs ; pour les abonnés, 2 francs.

Des volumes isolés seront fournis aux nouveaux abonnés à des conditions très avantageuses.

*S'adresser pour tout ce qui concerne la **Rédaction et l'Administration** au secrétariat de la Société scientifique, 11, rue des Récollets, Louvain.*

Une Notice sur la Société scientifique, son but, ses travaux, est envoyée gratuitement à ceux qui en font la demande au secrétariat.



Bruxelles

22-88527

AMNH LIBRARY



100226276