PGE

~~[illegible]~~

~~[illegible]~~

TRAITÉ
DE L'ÉLECTRICITÉ
ET
DU MAGNÉTISME.

TOME III.

TRAITÉ

EXPÉRIMENTAL

DE

L'ÉLECTRICITÉ

ET DU MAGNÉTISME,

ET DE LEURS RAPPORTS AVEC LES PHÉNOMÈNES NATURELS ;

PAR M. BECQUEREL,

DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE L'INSTITUT DE FRANCE, ETC.

.....Si quid novisti rectius istis,
Candidus imperti : si non, his utere mecum.

TOME TROISIÈME.

PARIS.

FIRMIN DIDOT FRÈRES, LIBRAIRES,

RUE JACOB, N° 24.

M DCCC XXXV.

TRAITÉ
DE L'ÉLECTRICITÉ
ET
DU MAGNÉTISME.

TOME III.

Arnim. Coup d'œil sur le magnétisme des matières non métalliques; T. V, p. 384.

Heller, de Fulde. Recherches sur le pouvoir conducteur de l'eau, et réflexions sur la lumière électrique; T. VI, p. 249.

Cruickshank. Recherches et observations sur quelques phénomènes chimiques de l'électricité galvanique; T. VI, p. 360.

Cruickshank. Sur les propriétés chimiques de l'électricité galvanique; T. VII, p. 88-97.

Haldane. Sur l'efficacité de l'union de quelques métaux différents dans la pile de Volta; sa puissance augmente avec la quantité de matière contenue dans la plaque et son épaisseur; mode d'action de la pile dans quelques circonstances; T. VII, p. 190-202.

Bochmann, de Carlsruhe. Recherches faites avec la pile; T. VII, 242 et 259.

Pfaff, de Kiel. Recherches faites avec la pile et sur l'identité des fluides galvaniques et électriques; T. VII, p. 247.

Hebebrand, conseiller. Remarques sur les étincelles de la pile et les sensations qu'elles produisent; T. VII, p. 254.

Treviranus. Nouvelles recherches sur l'influence de l'électricité galvanique sur les végétaux et les infusions végétales; T. VII, p. 281.

Grimm, de Breslau. Recherches sur la pile de Volta et sur l'augmentation des sécrétions animales, par l'électricité galvanique; T. VII, p. 348.

Pfaff, de Kiel. Description d'un appareil simple et commode, pour faciliter les recherches relatives aux effets de l'électricité galvanique sur l'eau; T. VII, p. 363; Recherches sur la pile, p. 37.

Ritter. Probabilité de l'existence du fluide galvanique dans les plantes et les animaux; T. VII, p. 431.

Ritter. Action de l'électricité galvanique sur les appareils sensoriaux de l'homme; T. VII, p. 447.

Bourguet. Recherches sur les fortes décharges de l'électricité galvanique; T. VII, p. 485.

Hermstad, de Berlin. Recherches sur l'influence de l'électricité dans les évaporations; conséquences météorologiques; T. VII, p. 501.

Pfaff. Recherches sur les étincelles galvaniques et les effets de la pile de Volta dans la décomposition de l'eau; T. VII, p. 514.

Henry Steffens, de Freiberg. Recherches avec la pile de Volta sur la décomposition de l'ammoniaque; T. VII, p. 521.

Simon, de Berlin. Nouvel appareil pour examiner l'action de l'électricité galvanique sur les fluides; Propriétés d'un nouveau galvanoscope; Action de l'électricité voltaïque sur l'eau et l'acide sulfurique concentré; T. VIII, p. 22-30-36.

Treviranus. Influences du galvanisme sur l'irritabilité animale; T. VIII, p. 69.

Arnim. Théorie relative à la polarité du magnétisme; T. VIII, p. 84.

Treviranus. Recherches galvanico-météorologiques; T. VIII, p. 129.

Boekmann. Sur la construction de la pile; Action de l'électricité voltaïque sur le corps des animaux; Des étincelles électriques; Effets chimiques de l'électricité galvanique; T. VIII, p. 137-143-145-152.

Arnim. Rapports suivant lesquels l'électricité voltaïque se partage entre les conducteurs. Des pôles et de leurs changements; T. VIII, p. 163-182.

Erman, de Berlin. Sur quelques phénomènes de la pile; T. VIII, p. 197.

Gruner, de Hanovre. Arborisations remarquables d'argent produites par l'électricité galvanique sans le concours de l'eau; T. VIII, p. 216.

Arnim. Action de la pile de Volta sur les matières animales et végétales; T. VIII, p. 257-270.

Einhorf. Recherches sur l'activité qu'imprime à la pile de Volta l'union de quelques métaux et de quelques acides; T. VIII, p. 316

Ritter. Recherches sur l'électricité voltaïque; polarité de la pile de Volta et identité des fluides galvaniques et électriques; dégagement des deux électricités, dans toute batterie voltaïque, analogue à ce qui se passe dans le magnétisme de l'aimant; polarité chimique de la pile; indépendance des phénomènes physiques, chimiques et physiologiques de la pile de Volta; bruit des étincelles; T. VIII, p. 385-387-445.

Bohnenberger. Modifications apportées à quelques appareils électriques de Nicholson, Bennett et Cavallo; manière de s'en servir; T. IX, p. 158.

Ritter. Manière dont se comporte l'étincelle galvanique dans les conducteurs de la pile; T. IX, p. 335.

Ludicke, de Meissen. Recherches avec la batterie magnétique; T. IX, p. 385.

De Simon, de Berlin. Ses recherches avec des disques volumineux, et ses observations sur les acides et les solutions salines; T. IX, p. 385.

Bucholz. Observations et recherches sur l'électricité galvanique et quelques-unes de ses propriétés chimiques; T. IX, p. 434.

Volta. Lettre à Pfaff sur le galvanisme; T. IX, p. 489.

Arnim. Sur la dénomination des pôles de la pile de Volta; T. IX, 494.

Erman, de Berlin. Recherches électroscopiques; T. X, p. 1.

Heidmann. Résultats des recherches faites avec une réunion de métaux de diverse nature, ou avec la pile de Volta; T. X, p. 50.

Lettre de Van Marum à Alexandre Volta, sur les recherches faites avec la pile à Haarlem dans le laboratoire de Teyler. T. X, p. 121.

Pfaff. Exposé des principes de

la théorie de la pile de Volta; T. X, p. 219.

Lettres des professeurs Ebeling et Klugel sur des guérisons opérées avec l'électricité galvanique; T. X, p. 379.

Voltre, professeur à Jever. Récit de guérisons remarquables de sourds et muets, opérées par le pharmacien Sprenger au moyen de l'électricité galvanique; T. X, p. 380.

Tourdes, à Strasbourg. Lettre à Volta sur l'irritabilité de la fibre animale du sang par l'électricité galvanique; vitalité du sang; T. X, p. 499.

Reuss, de Stuggard. Récit de guérisons opérées par lui au moyen de l'électricité galvanique; T. X, p. 104.

Ludicke, de Meissen. Suite de ses recherches avec une réunion de barreaux d'acier aimantés, et observations sur la pile de Volta; T. XI, p. 114.

Erman, de Berlin. Sur la faculté conductrice de la flamme et du charbon; vide pour l'électricité voltaïque; T. XI, p. 143.

— Recherches pour prouver que l'eau perd, quand elle se congèle, sa faculté conductrice pour l'électricité de la pile et pour toute autre espèce d'électricité; T. XI, p. 166.

Lettre de Van Marum à Berthollet sur une méthode pour décomposer l'eau avec une machine électrique aussi bien qu'avec la pile voltaïque; T. XI, p. 220.

Grimm, professeur à Leignitz. Recherches avec une pile voltaïque de 495 couples; T. XI, p. 222.

Parrot, de Riga. (Lettre.) Esquisse d'une nouvelle théorie de l'électricité galvanique et sur la décomposition de l'eau opérée par elle; T. XII, p. 49.

Erdmann, de Wien. Description d'un appareil voltaïque inventé par Bremzer, de Wien, pour découvrir si la mort n'est qu'apparente, et rappeler à la vie ceux qui en sont atteints; T. XII, p. 450.

Erdmann, de Wien. Description d'un nouvel appareil voltaïque très-actif; T. XII, p. 458.

Heinrich Reinhold, de Zelle. Observations sur quelques recherches galvaniques faites sur les sourds et muets; T. XII, p. 230.

Curtet. Quelques observations galvano-électriques sur le charbon et de l'influence de la pile de Volta sur la machine électrique; T. XII, p. 361.

Erdmann. Suite de ses recherches galvano-électriques appliquées à la médecine; T. XII, p. 374.

Ritter. Recherches faites avec une pile de Volta composée de 600 plaques cuivre et zinc; T. XIII, p. 1.

Ritter. Suite de ses recherches avec la batterie de 600 plaques cuivre et zinc; T. XIII, p. 265.

Jager, de Stuggard. De l'action de la pile de Volta et de ses conducteurs sur les électroscopes; T. XIII, p. 399.

SIOSTEN. Recherches sur les propriétés de l'électricité positive négative du corps de l'homme; T. XIII, p. 471.

MULLER, à Breslau. Observations galvaniques sur son corps; T. XIII, p. 477.

BASSE. Recherches galvaniques et observations sur les grandes propriétés conductrices des métaux, des fluides et de la terre; T. XIV, p. 26.

MARÉCHAUX, de Wesel. Résultat de ses recherches galvano-électriques sur les gaz; et nouvelle théorie de l'électricité; T. XIV, p. 118.

STEINHAUSER. Lettre à Langguth, de Wittemberg, sur la soi-disant décomposition de l'eau par le magnétisme; recherches électriques sur l'homme et les animaux; T. XIV, p. 125.

GAHN, assesseur à Fahlun. Recherches galvanico-électriques faites à Schwede; T. XIV, p. 235.

ERMAN, de Berlin. Sur la décharge de la pile de Volta, au moyen d'un rapide courant d'eau; T. XIV, p. 385.

CLOS, professeur de botanique à Sorèze. Insensibilité des plantes pour l'électricité; T. XIV, p. 423.

MARÉCHAUX, de Wesel. Nouvel électromètre d'une sensibilité excessive, et recherches faites avec lui sur l'électricité de la pile voltaïque; T. XV, p. 98.

RITTER. Ses Recherches avec la pile de Volta. — Découverte d'une nouvelle polarité électrique de la terre; T. XV, p. 106.

RITTER. Observations sur les aurores boréales, sur les connexions de leurs phénomènes avec le magnétisme, et sur les connexions du magnétisme avec les globes de feux qu'on voit dans l'atmosphère, les éclairs et l'électricité; T. XV, p. 206.

ERMAN, de Berlin. Mesure de l'électricité atmosphérique; T. XV, p. 385.

MARÉCHAUX, de Wesel. Description de son micromètre électrique, et nouvelles recherches faites avec cet instrument; T. XVI, p. 115.

RITTER. Suite de ses recherches sur les aurores boréales et de leurs rapports avec les divers phénomènes énoncés.

RITTER. (1re lettre à l'Herausgeber) sur le rang que doivent occuper dans l'échelle électrique le palladium et d'autres métaux; T. XVI, p. 293.

RITTER. 2e lettre sur l'irritabilité des organes des animaux par le galvanisme; T. XVI, p. 320.

HEIDMANN, docteur-médecin. Justesse des recherches de Tourdes et de Circaud sur l'excitabilité des fibres musculaires par l'électricité galvanique. — Observations faites par lui sur les changements que subit le sang par l'action des rayons solaires et sur l'accroissement que donne à son action l'électricité galvanique; T. XVII, p. 1.

Reuss, de Helmstadt. Recherches électriques et observations sur les apparences lumineuses dans les briquets à air; T. XVII, p. 15.

Gersdorf, de Meffersdorf. Nouvelles recherches sur quelques propriétés de l'électricité qui attire vers elle les matières colorées réduites en poussière très-fine; T. XVII, p. 200.

Ritter. Nouvelles recherches et observations sur le galvanisme. — Des effets d'une grosse batterie électrique sur les organes du sentiment et en particulier sur l'œil. — De la possibilité d'augmenter la puissance du galvanisme, jusqu'à l'infini; T. XIX, p. 1.

Van Marum et **Van Mons**, à Bruxelles. Quelques recherches et observations galvaniques et électriques faites dans le Muséum de Haarlem; T. XIX, 488.

Heidmann, de Vienne. Nouvelle échelle galvanique dans laquelle il a classé les solides et les fluides, d'après l'ordre de leurs actions galvaniques et de leurs propriétés chimiques; T. XXI, p. 85.

Erman, professeur à Berlin. Sur les différences que présentent les corps relativement à leurs facultés conductrices pour le galvanisme; T. XXII, p. 14.

Ritter. Lettre sur ses nouveaux travaux magnétiques (1806); T. XXII, p. 223.

Maréchaux, de Wesel. Pile galvanique sans liquides. — Piles composées de matières [illegible] végétales; T. XXII, p. 318.

Schweigger. Recherches avec [illegible] un nouvel électromètre particulier, qui semble combattre [illegible] la théorie de Volta; T. XXII, [illegible], p. 407.

Behrens. Sur l'électricité atmosphérique; T. XXIII, p. 13.

Behrens. Exposition d'une hypothèse sur les aurores boréales; T. XXIII, p. 28.

Schweigger. Supplément à ses recherches avec son électromoteur dont il a été parlé; T. XXIII, p. 114.

Maréchaux, de Wesel. Recherches sur une pile galvanique sans humidité; T. XXIII [illegible], p. 220.

Gruner, à Hanovre. Quelques recherches sur la formation d'acides et d'alcalis dans l'eau qui est soumise à l'action de la pile de Volta; T. XXIV, p. 85[illegible].

Gruner, de Hanovre. Production de la chaleur dans les conducteurs d'une forte d[illegible] pile; T. XXV, p. 149.

Phénomènes galvaniques su[illegible] les grenouilles; T. XXV[illegible], p. 149.

Erman, de Berlin. Recherche[illegible] sur la polarité électrique de la terre, qui, selon lui, serai[illegible] toujours chargée d'électricité (électricité permanente), e[illegible] des effets chimico-magnétiques; T. XXVI, p. 1.

Erman, de Berlin. 2e Mémoire sur le même sujet; T. XXVI [illegible] p. 121.

Hisinger et **Berzelius**. Recherches galvanico-électriques faites en Suède, traduites [illegible]

par Droysen; T. XXVII, p. 269.
1er *Chapitre*. — Recherches sur les effets de la pile de Volta; T. XXVII, p. 270.
2e *Chapitre*. — Recherches sur les effets de la pile de Volta dans les substances animales et végétales, par Hisinger; T. XXVII, p. 304.
3e *Chapitre*. — Recherches pour décomposer l'eau, au moyen des étincelles de l'électricité ordinaire de la machine, par Gahn et Hisinger; T. XXVII, p. 311.
4e *Chapitre*. — Berzelius. Recherches électroscopiques; T. XXVII, p. 316.

Gilbert. Quelques observations sur l'électricité développée au contact, et sur la théorie de la pile de Volta, émises par M. Berzelius; T. XXVIII, p. 203.

Pfaff. Système électrique des corps; résultat de ses recherches, et critique de celles de Ritter sur le même sujet; T. XXVIII, p. 223.

Mollweide, de Halle. Théorie de la déviation et de l'inclinaison de l'aiguille aimantée; T. XXIX, p. 1.

Schubert. Observations des déviations et inclinaisons de l'aiguille aimantée, dans quelques parties de la Sibérie, en 1805; T. XXIX, p. 217.

Mollweide. Théorie de la déviation et de l'inclinaison de l'aiguille aimantée (2e travail); T. XXIX, p. 251.

Alexandre de Humboldt, de Berlin. Observations touchant l'influence des aurores boréales sur l'aiguille aimantée; T. XXIX, p. 425.

Brogr. Déviations de l'aiguille aimantée à Copenhague; T. XXIX, p. 433.

Simon, de Berlin. De l'action d'une grande quantité d'électricité sur quelques substances minérales; T. XXX, p. 54.

Hildebrand. Lettre à Gilbert. — Pile voltaïque de trois métaux; T. XXX, p. 67.

Huth. Description d'un météore électrique observé à Francfort-sur-l'Oder; T. XXX, p. 238.

Brechtl. Observations sur les modifications des charges électriques des corps, avec l'exposition des principes d'Erman, et des pouvoirs conducteurs différents de quelques substances pour l'électricité galvanique; T. XXXV, p. 28.

Berzelius. Recherches faites sur la théorie de la pile de Volta, et additions à ses recherches sur l'extraction des métaux, des alcalis et sur les nombreux rapports des acides et des sels avec les métaux; T. XXXV, p. 269.

Gustave Schubler, de Stuggard. Recherches touchant l'influence de l'électricité sur le sang et la respiration; T. XXXIX, p. 300.

Paul Erman. Quelques observations sur la contraction musculaire; T. XL, p. 1.

Nappe, à Bielefeld. Recherches sur l'influence de l'électricité sur les étamines des fleurs

TRAITÉ
DE L'ÉLECTRICITÉ
ET
DU MAGNÉTISME.

TOME III.

par un éclair, etc.; T. LXXII, p. 161.

Pohl. Recherches sur les mouvements électro-magnétiques, et de ces mouvements en général ; T. LXXIII, p. 252.

Œrsted. Recherches électro-magnétiques ; T. LXXIII, p. 278.

Yelin. Recherches sur la production de phénomènes électro-magnétiques par des actions chimiques; T. LXXIII, p. 340.

Yelin, de Munich. Nouvelle recherche sur les propriétés magnétiques des métaux qui ont pu être aimantés jusqu'à présent; T. LXXIII, p. 361.

Yelin. Du thermo-magnétisme des métaux ; T. LXXIII, p. 423.

Œrsted. Analyse des nouvelles recherches électro-magnétiques de Seebeck, de Berlin; T. LXXIII, p. 430.

Van-Beck, d'Utrecht. Nouveaux effets thermo-électro-magnétiques ; T. LXXIII, p. 433.

Witting, de Honter. Observations sur la réduction du plomb par la voie humide; influence du galvanisme sur ce phénomène, et du pouvoir qu'ont les tissus animaux de laisser passer les fluides; T. LXXIV, p. 424.

Yelin, de Munich. Sur l'électricité du papier; T. LXXV, p. 197.

Pohl, de Berlin. Recherches concernant l'action du magnétisme terrestre sur les courants électro-magnétiques mobiles, pour établir sa théorie de la polarité circulaire; T. LXXV, p. 269-341, 437.

JOURNAL

DE PHYSIQUE ET DE CHIMIE,

DE SCHWEIGGER.

PREMIÈRE SÉRIE. 1811.

Sommering. Sur les télégraphes électriques ; T. II, p. 217 et 231. — Observations de Ritter à ce sujet.

Ritter. Résumé de son traité sur la pile galvanique et sur les instruments météorologiques; T. II, p. 265.

Schubler, de Stuggard. Détermination des périodes journalières de l'électricité atmosphérique ; T. III, p. 123.

Grotthuss. Des limites d'inflammation et de combustibilité des mélanges gazeux,

quand on diminue leur densité, et sur l'action de l'étincelle électrique de quelques-uns de ces mélanges; T. III, p. 129.

SCHUBLER. Observations sur les périodes journalières de l'électricité atmosphérique; T. III, p. 128.

SCHUBLER. Résultat de ses recherches relatives à l'influence de l'électricité sur la vie et la respiration; T. III, p. 292.

PFAFF, de Kiel. Sur le renversement des pôles dans la pile de Volta; T. III, p. 367.

RUHLAND. De la précipitation des métaux au pôle négatif de la pile de Volta; T. III, p. 411.

SCHONBERG, de Copenhague. Magnétisme développé par la couleur violette du prisme; T. VI, p. 327.

HANSTEEN. Lettre à OErsted sur l'existence de quatre pôles magnétiques terrestres. Périodes de leurs mouvements. Magnétisme des corps célestes et des aurores boréales; T. VII, p. 79.

LAMPADIUS. Sur la phosphorescence fugitive de la strontiane, de la potasse, et autres corps; T. VII, p. 251.

SCHUBLER, de Stuggard. Sur les nouvelles piles électriques de M. Deluc, et sur leur emploi comme instrument météorologique; T. VII, p. 479.

HEINRICH. Résumé des observations météorologiques, spécialement de celles qui ont rapport à l'électricité atmosphérique; T. VIII, p. 129.

GROTTHUSS. Recherches sur la propriété conductrice de quelques gaz pour la chaleur et l'électricité, et sur l'aimantation de quelques substances par la lumière; T. IX, p. 327.

SCHUBLER. Recherches sur quelques phénomènes d'électricité atmosphérique dans les Alpes; T. IX, p. 347.

PFAFF. De la rotation des pôles magnétiques de la terre, et de leur influence sur la rotation des satellites et des planètes; T. X, p. 3.

LAMPADIUS. Description d'une balance fort exacte et fort commode, qui sert en même temps de magnetomètre; T. X, p. 171.

RUHLAND. Recherches électriques et magnétiques; T. XI, p. 16.

SCHUBLER. Description des changements que l'on remarque dans l'électricité atmosphérique pendant les orages; T. XI, p. 377.

T. BRANDES. Nouvelles recherches électro-chimiques; T. XII, p. 67.

OERSTED. Sur les attractions électriques; T. XII, p. 106.

GEHLEN. Sur le système électrochimique; T. XII, p. 403.

HEINRICH. Sur les phénomènes de la phosphorescence dans les plantes et les animaux; T. XIII, p. 266.

GROTTHUSS. Réflexions sur la phosphorescence; T. XIV, p. 133.

SCHUBLER. Sur la pile sèche de Zamboni; T. XV, p. 111.

SCHUBLER. Sur les variations que présente la pile de Zam-

boni par les variations de l'électricité atmosphérique ; T. XV, p. 126.

SCHUBLER. Description de l'aurore boréale du 8 févr. 1817, et remarques sur les recherches électro-métriques faites à ce sujet; T. XIX, p. 1.

SCHUBLER. Sur l'électrométrie en général; T. XIX, p. 20.

STEFFENS. Sur les proportions respectives de l'iode et du chlore au pôle positif de la pile de Volta ; T. XIX, p. 313.

GANTHER. Observations adressées à Volta sur le retour périodique des orages; T. XX, p. 105.

Le comte GASPARD DE STERNBERG, à Prague. Sur l'aimantation par la lumière violette du spectre; T. XXI, p. 2.

ŒRSTED, de Copenhague. Observations relatives au contact électrique; T. XXI, p. 205.

HANSTEEN. Recherches sur le magnétisme de la terre; T. XXI, p. 342.

SCHUBLER. Observations sur les variations périodiques quotidiennes de l'aiguille aimantée; T. XXVIII, p. 305.

HEINRICH. Sur la phosphorescence par les rayons solaires; T. XXIX, p. 109.

ŒRSTED, de Copenhague. Nouvelles recherches électro-magnétiques; T. XXIX, p 364.

HEINRICH. Sur la phosphorescence des corps par l'élévation de température ; T. XXIX, p. 450.

VAN MARUM. Sur la théorie des phénomènes électriques; T. XXIX, p. 475.

DEUXIÈME SÉRIE.

SCHWEIGGER. Quelques mots sur ses nouvelles découvertes électro-magnétiques ; T. I, p. 35.

T. GROTTHUSS. Deux nouveaux faits relatifs à l'électro-magnétisme; T. I, p. 492.

SEEBECK. Recherches électro-magnétiques; T. II, p. 26.

ERMAN. Sur le même sujet ; T. II, p. 28.

HANSTEEN. Nouvelles découvertes magnétiques; T. II, p. 130.

ŒRSTED. Sur l'électro-magnétisme et le magnétisme terrestre; T. II, p. 199.

T. GROTTHUSS. Corrections relatives à l'électro-magnétisme de la tourmaline; T. II, p. 473.

STEINHNAHAUSER. Sur la manière de faire les aimants d'acier artificiels; T. III, p. 21.

LUDERSDORFF. Effets de la pile de Volta sur l'alcool; T. III, p. 226.

MACQUER. Sur quelques substances phosphorescentes; T. III, p. 256.

PFAFF. Sur la lumière des éclairs; T. V, p. 495.

GMELIN. Sur la coagulation de l'albumine par l'électricité ; T. VI, p. 217.

SEEBECK. Sur le magnétisme des conducteurs galvaniques; T. VII, p. 21.

TILESIUS. Des effets de l'éclair,

observés sur le corps de l'homme lors de la chute de la foudre; T. IX, p. 129.

TILESIUS. De l'influence de l'éclair et des météores lumineux sur les végétaux; T. IX, p. 135.

PFAFF, de Kiel. Sur les découvertes que Dobereiner a faites touchant les propriétés remarquables de la poussière métallique de platine et des éponges de ce métal, et leur emploi dans les lampes nommées électriques, et les principes qu'on peut en déduire; T. X, p. 9.

GMELIN. Sur les effets de l'application de l'électricité de la pile à l'organisme. Application physiologique et médicale; T. XIII, p. 114 et 115.

SCHWEIGGER. Nouvelles observations et recherches électro-magnétiques; T. XIII, p. 374.

BERZELIUS, WOKLER et ASCHOFF. Travaux faits sur la cristallisation. Parmi les diverses parties de ce travail, on trouve à la page 81 et à la page 83 l'influence de l'électricité et du magnétisme sur la cristallisation; T. XIV, p. 74.

OHM, de Koln. Sur la conductibilité électrique des métaux; T. XIV, p. 245.

SCHWEIGGER. Observations électriques; T. XIV, p. 365.

HANSTEEN. Sur la situation du pôle magnétique de la terre; T. XV, p. 60.

SCHWEIGGER. Nouveau multiplicateur avec deux aiguilles aimantées; T. XV, p. 249.

SCHWEIGGER. Sur les nouveaux effets obtenus avec son multiplicateur; T. XV, p. 255.

SCHWEIGGER. Sur l'électro-magnétisme; T. XVI, p. 1. (Ce travail résume ses expériences et celles d'un grand nombre d'auteurs.)

SEEBECK. Méthode nouvelle pour éprouver la pureté du platine, au moyen du thermo-magnétisme; T. XVI, p. 101.

SCHWEIGGER. Suite du travail cité précédemment; T. XVI, p. 129.

PFAFF, de Kiel. Sur l'électricité électro-chimique; T. XVIII, p. 190.

PFAFF, de Kiel. Sur l'électricité et le magnétisme; T. XVIII, p. 276.

SCHWEIGGER. Sur l'électro-magnétisme; T. XVIII, p. 289. (Ce travail contient, outre ses propres observations, celles de plusieurs autres auteurs.)

HANSTEEN. Sur l'intensité du magnétisme de la terre; T. XVIII, p. 373.

SCHWEIGGER. Sur les phénomènes électriques qui peuvent être observés dans la détonation des sels; T. XXI, p. 77.

KUPFFER. Sur quelques travaux relatifs au magnétisme terrestre; T. XXI, p. 152.

SCHWEIGGER. Effets de magnétisme terrestre observés dans les tourbillons de vent, avec quelques observations de Steiglehner et de Humboldt; T. XXI, p. 171.

SCHWEIGGER. Observations adressées à Davy, sur les rapports des phénomènes électriques et des phénomènes

Nous avions d'abord pensé à exposer, après les phénomènes relatifs à l'action que le globe terrestre exerce sur les courants mobiles, les phénomènes concernant l'action des aimants sur les mêmes courants; mais la dépendance qui existe entre les aimants et les circuits pliés en hélice est telle que nous avons préféré d'abord présenter l'action des courants les uns sur les autres.

CHAPITRE V.

DE L'ACTION DES COURANTS LES UNS SUR LES AUTRES.

§ 1er. *Principes généraux.*

310. L'action des courants les uns sur les autres a été observée pour la première fois par M. Ampère, peu de temps après la découverte de l'action d'un courant sur l'aiguille aimantée; il en a déduit une théorie mathématique, à l'aide de laquelle il a établi l'identité entre les phénomènes magnétiques et les phénomènes électro-dynamiques. Nous allons faire connaître successivement tous les faits dont il a enrichi la science.

Nous devons distinguer dans l'action des courants plusieurs cas, suivant que ces courants sont dirigés parallèlement dans le même sens ou dans des sens contraires, ou bien qu'ils cheminent dans des directions obliques.

Étudions les différentes actions qui en résultent, en nous servant d'abord des appareils les plus simples, et ensuite d'appareils plus composés, qui permettent d'observer les faits dans tous les cas. Commençons par les courants parallèles.

AB est une tablette rectangulaire en bois (fig. 18), sur laquelle sont fixées deux colonnes également en bois, portant chacune à leur sommet un petit plateau percé de deux trous destinés à recevoir les coupes *mn*, *m'n'* qui renferment du mercure, servant à établir la communication entre la pile et des fils soudés à ces coupes, et

terminés en pointes très-fines. Des fils *waa'w'*, *vbb'v'*, courbés comme l'indique la figure, sont percés en *a*, *a'*, *b*, *b'*, d'ouvertures par lesquelles on peut les suspendre librement sur les pointes des fils *m*, *m'*, *n*, *n'*. Les fils conducteurs de la batterie qui se divisent chacun, à une de leurs extrémités, en deux parties *z*, *z'* et *c*, *c'*, sont mis en communication avec les coupes. Si l'on veut deux courants dirigés dans le même sens, les fils *z* et *z'* plongeront dans les coupes *mn*, et les fils *c* et *c'* dans les coupes *m'n'*; si l'on veut, au contraire, des courants dirigés en sens inverse, on entre-croisera les fils *z*, *z'*, *c* et *c'*, c'est-à-dire que *z* plongera dans *m*, *z'* dans *n'*, *c'* dans *m'* et *c* dans *n*. Dans le premier cas, les deux fils s'attireront; dans le second, ils se repousseront. Nous concluons de là que deux courants parallèles, dirigés dans le même sens, s'attirent l'un l'autre, et se repoussent, au contraire, quand ils cheminent dans des directions opposées.

311. M. Ampère a imaginé un autre appareil, dont le corps principal (fig. 19) renferme les parties suivantes : une tablette TT', sur laquelle sont fixées deux colonnes verticales en cuivre VV', réunies au moyen de deux tiges horizontales *th*, *th'* également en cuivre, qui viennent s'adapter dans un petit cylindre d'ivoire *hh'*, qui s'oppose à la libre circulation du fluide électrique d'une colonne dans l'autre; deux petites coupes *mm'*, placées dans la verticale qui passe par le milieu de LL'.

Quatre autres coupes *d*, *d'*, *g*, *g''* placées, deux à droite, deux à gauche.

Un petit cylindre *m'i'* en métal, qui porte la coupe *m'*, se divise en *i'* en deux branches, terminées l'une par la coupe supérieure *d'*, l'autre, par la coupe inférieure *g'*. Un autre cylindre creux *mi*, portant la coupe *m*, est séparé de la première tige au moyen d'un tube de verre, et se divise également en deux branches qui correspondent aux coupes *d* et *g*.

Des petites lamelles *ll'* de cuivre, flexibles, qui com-

muniquent avec les colonnes VV', et peuvent plonger à volonté dans les coupes *m'* et *m*.

Des bascules BB', destinées à changer la direction des courants.

Des bandes *b* et *b'*, qui établissent la communication avec deux petites cavités *oo'* remplies de mercure.

Les accessoires de cet appareil sont des pièces de diverses formes, que le courant doit traverser.

Veut-on démontrer que les courants parallèles qui vont dans le même sens s'attirent, et qu'ils se repoussent, au contraire, quand ils cheminent dans des sens différents, on suspend en équilibre dans les coupes *gg'* le rectangle (fig. 11) sur lequel la terre n'a aucune action, et l'on pose le rectangle (fig. 21) sur la tablette T'T, les extrémités *zz'* dans les cavités *oo'*. Quand la communication avec la pile est établie, le courant monte par la colonne V, se rend dans le rectangle suspendu en passant successivement par *l*, *m'* et la coupe *g'*; il se trouve ascendant dans les deux côtés latéraux extrêmes, et descendant dans les deux côtés du milieu.

Il revient ainsi dans la coupe *g*; de là il passe en *m* et *l'*, redescend par la colonne V' et arrive à la bascule B, entre dans la bande *b*, passe dans la cavité *o*, et prend le côté vertical du rectangle fixe; puis, après avoir monté et traversé les différents circuits, il revient dans la cavité *o'*, d'où il passe en *b'*, puis en *c*, pour aller dans la bascule B', où il rejoint l'autre extrémité de la pile.

Or, la branche verticale Z du rectangle fixe et les branches latérales du rectangle mobile, qui sont traversées par des courants parallèles et ascendants, s'attirent plus ou moins fortement, quelle que soit la position primitive du rectangle mobile.

Pour démontrer l'action des courants parallèles qui cheminent en sens inverse, il suffit de tourner les bascules, sans rien changer à l'appareil. Si l'on veut rendre le courant descendant dans le rectangle mobile et ascendant dans la branche Z, on maintient la bascule B'

rempli de mercure. On pose sur le mercure le conducteur *npqr*, formé d'un fil de cuivre recouvert de soie, de manière que les deux branches *np* et *rq* soient parallèles à la cloison; puis, dans deux capsules E et F, situées dans le prolongement de ces mêmes branches et en communication avec le mercure des compartiments, on plonge les deux fils extrêmes d'une pile. Ce courant passe du mercure dans l'arc *npqr*. Au même instant, le conducteur s'éloigne parallèlement à lui-même jusqu'à l'extrémité du vase. Ce mouvement indique l'action répulsive qu'exercent les unes sur les autres les diverses parties d'un même courant.

314. L'action exercée par un conducteur rectiligne est la même que celle d'un conducteur sinueux, terminés l'un et l'autre aux mêmes points et coïncidant dans leurs directions générales. On démontre cette proposition avec un conducteur (fig. 24), formé de deux fils de cuivre garnis de soie, servant, l'un à conduire le courant, l'autre à le ramener; avec cette différence néanmoins que l'un est droit, et l'autre plié autour. Ce conducteur est placé d'une manière fixe sur la tablette TT' (figure 19); les extrémités *zz'* plongent dans les cavités *oo'*; puis l'on suspend en équilibre, dans les capsules *g*, *g'*, le circuit astatique (fig. 11); on trouve que le premier n'exerce aucune action sur celui-ci, dans quelque position que ce soit.

Cet effet n'a lieu qu'autant que l'intensité de l'action du conducteur sinueux est égale à l'intensité de l'action du conducteur rectiligne, puisque ces deux forces se font équilibre, qu'elles sont de signe contraire et que les deux conducteurs sont parcourus en sens contraire par le courant. M. Ampère a encore observé ce fait (1), en suspendant un conducteur astatique mobile entre deux conducteurs parallèles, l'un rectiligne, l'autre sinueux, et placés à l'égard du premier dans le cas de la répulsion.

---

(1) Collection de ses Mémoires, p. 216.

Celui-ci, après quelques oscillations, se place au milieu de l'intervalle compris entre les deux conducteurs fixes.

Il résulte évidemment de là, que l'on peut remplacer une portion très-petite de courant *mn* (fig. 25) par deux courants partiels *mx*, *ny*, ou par un nombre quelconque de petits courants *mx*, *xy*, *yz*, *zn*, ayant la même intensité. Ce procédé, qui a de l'analogie avec la composition des forces en statique, est d'une grande utilité dans les applications du calcul aux phénomènes électro-dynamiques.

315. Un courant terminé, qui s'approche perpendiculairement d'un courant indéfini rectiligne, est transporté parallèlement à sa direction. Soit *ab* (fig. 26) le courant indéfini, et D*c* le courant terminé. L'action du premier sur celui-ci, dans l'angle D*cb*, est attractive, et peut être représentée en grandeur et en direction par *do*, et celle dans l'angle *ac*D, qui est répulsive mais égale à l'autre, par *dx*. Aux deux forces *dx* et *do* on peut substituer une résultante *di*, parallèle au courant indéfini, qui sera dirigée en sens contraire, et dont l'action tendra à transporter D*c* parallèlement à lui-même. Si le courant terminé s'éloigne au contraire du courant indéfini, il tendra à marcher dans le même sens que lui. L'action des deux courants étant réciproque, si le conducteur *ab* est mobile dans le sens de sa direction, il reculera de *a* vers *b* dans le premier cas, et se portera, au contraire, de *b* vers *a* dans le second.

Il est difficile de vérifier ces faits en employant un courant rectiligne; mais on y parvient avec un courant circulaire, comme l'a fait M. Savary. On prend un conducteur mobile ABCDEFGH (fig. 27), formé d'un anneau ABCDA′ en cuivre, interrompu en AA′ par une petite lame d'ivoire, et d'une partie verticale EFGH, également en cuivre, à l'exception de la branche HG, qui est formée d'une matière isolante. Ce conducteur est placé en équilibre sur la tige verticale de l'appareil figure 32, de manière que l'anneau plonge dans l'eau acidulée. Si l'on établit la communication avec la

« l'on admettait qu'un de ces aimants est composé de « petits courants électriques, tels que ceux que j'y con- « çois ; mais alors, comment pourrait-on ne pas admettre « que l'autre est composé de même, et adopter, par con- « séquent, toute ma manière de voir? »

356. M. Ampère, après avoir découvert par l'expérience l'action qu'exerce la terre sur les fils conducteurs, a montré, au moyen de la formule qui exprime l'action mutuelle de deux éléments de courants, que la première est identique dans toutes les circonstances qu'elle présente, à celle qu'exercerait sur ces mêmes fils un faisceau de courants électriques, dirigés de l'est à l'ouest ; il a appliqué ensuite sa savante analyse aux actions qu'un circuit fermé, quelles que soient sa forme, sa grandeur et sa position, exerce, soit sur un solénoïde, soit sur un autre circuit d'une forme, d'une grandeur et d'une position quelconques. Le principal résultat de ces recherches, consiste dans l'analogie qui existe entre les forces produites par ce circuit, soit qu'il agisse sur un autre circuit fermé, ou sur un solénoïde, et les forces qu'exerceraient des points dont l'action serait précisément celle qu'on attribue aux molécules de ce qu'on appelle fluide boréal et fluide austral : ces points étant distribués sur des surfaces terminées par des circuits, et les extrémités du solénoïde étant remplacées par deux molécules magnétiques d'espèces opposées, M. Ampère en a déduit le théorème suivant : L'action mutuelle de deux circuits solides et fermés, ou celle d'un circuit solide et fermé, et d'un aimant, ne peut jamais produire de mouvement continu avec une vitesse qui s'accélère indéfiniment jusqu'à ce que les résistances et les frottements des appareils rendent cette vitesse constante. Il a démontré aussi l'impossibilité de produire un mouvement indéfiniment accéléré par l'action mutuelle d'un circuit électrique, solide et fermé, et d'un aimant. Cette démonstration n'est pas seulement une suite nécessaire de sa théorie, mais elle résulte aussi, dans l'hypothèse, des couples primitifs de la valeur donnée par M. Biot, pour

la force perpendiculaire au plan qui passe par l'élément du courant et la molécule magnétique.

Quant au mouvement de rotation qui a été découvert par M. Faraday, M. Ampère le regarde comme une conséquence nécessaire des lois qu'il a établies sur l'action mutuelle des conducteurs voltaïques, et de la manière dont il a considéré les aimants comme des assemblages de courants électriques. Il a démontré par là que la direction de l'action exercée par le pôle d'un aimant sur un élément du fil conducteur, passe en effet par le milieu de l'élément, conformément à l'explication qu'il a donnée de cette action, et non par le pôle de l'aimant; dès lors l'ensemble des phénomènes électro-dynamiques ne peut plus être expliqué par la substitution de l'action des molécules magnétiques australe et boréale, répandues de la manière qu'il l'a expliqué, sur deux surfaces très-voisines, et terminées par les fils conducteurs du circuit voltaïque, à la place de l'action exprimée par la formule qu'exercent les courants de ces fils. Cette substitution ne paraît avoir lieu que lorsqu'il s'agit de l'action des circuits solides et fermés, et sa principale utilité est de démontrer l'impossibilité d'un mouvement indéfiniment accéléré, soit par l'action mutuelle de deux conducteurs solides et fermés, soit par celle d'un conducteur de ce genre et d'un aimant, lorsque l'aimant est mobile.

357. M. Ampère avance avec raison que si l'on veut se faire une idée juste par l'expérience des causes des divers mouvements des aimants, il faut substituer à ces derniers des conducteurs pliés en cercle, parce que cette substitution donne le moyen d'en faire varier les circonstances de différentes manières, qu'il serait le plus souvent impossible d'obtenir avec des aimants, et qui peuvent seules éclaircir les difficultés que présentent des phénomènes souvent si compliqués.

Il combat l'explication qui a d'abord été donnée de l'attraction mutuelle de deux fils conducteurs, laquelle consiste, comme on sait, à supposer que deux fils conducteurs agissent l'un sur l'autre, comme ils le feraient

il n'y aurait pas de mouvement de rotation, parce que les branches ap, pb, tendraient toujours à tourner en sens inverse, quel que fût l'angle formé par les deux directions.

Quant à la direction imprimée par l'influence terrestre, elle est absolument la même que celle que nous avons obtenue dans les aimants, si l'on considère la terre elle-même comme un aimant, dont les pôles pour chaque lieu se trouvent sur la ligne d'inclinaison. Ainsi ce que nous avons dit sur l'action des aimants s'applique à celle de la terre.

§ V. *De la rotation du mercure.*

335. Nous avons déja fait connaître une expérience curieuse de M. Savary, qui montre les effets produits dans la réaction de courants qui rayonnent dans toutes sortes de directions, sur des conducteurs mobiles. Le principe qui en découle sert à expliquer une foule de phénomènes de mouvement que l'on observe dans les réactions électro-chimiques, lorsqu'un des conducteurs est liquide. Dans l'impossibilité où nous sommes pour l'instant d'exposer convenablement tous ces phénomènes, faute de documents nécessaires, nous parlerons seulement des effets obtenus soit avec des spirales sinistrorsum et dextrorsum (fig. 54, 55), soit avec le mercure, soit avec l'eau acidulée.

Quand ces spirales, qui sont formées d'un fil de cuivre dont les spires sont maintenues dans un même plan par trois règles de bois ou de baleine, sont suspendues en équilibre dans la capsule s de l'appareil (fig. 32), et que leurs circonvolutions plongent dans l'eau acidulée, alors elles se mettent à tourner toujours dans le même sens, quelle que soit la direction du courant. Cet effet rentre dans celui que nous avons obtenu avec l'appareil (fig. 27) dont nous avons donné l'explication.

336. Quant à la rotation du mercure, voici comment Davy l'a observée : ayant placé dans un bain de mercure, perpendiculairement à sa surface, deux fils de métal en

« long de la ligne droite ou courbe qu'entourent tous « les petits circuits du solénoïde, en donnant à chacun « de ces points, aux axes des éléments, la direction « même de cette ligne; 2° que l'action d'un circuit vol- « taïque solide et fermé, calculée de même d'après ma « formule, est précisément celle qu'exerceraient des élé- « ments magnétiques de même intensité, distribués uni- « formément sur une surface quelconque, terminée par « ce circuit, lorsque les axes des éléments magnétiques « sont partout normaux à cette surface. Le même théo- « rême conduit encore à cette conséquence, que si l'on « conçoit une surface renfermant de tous côtés un très- « petit espace; qu'on suppose d'une part des molécules « de fluide austral et de fluide boréal, en quantités éga- « les, distribuées sur cette petite surface, comme elles « doivent l'être pour qu'elles constituent l'élément magné- « tique, tel que l'a considéré M. Poisson, et d'autre part, « la même surface recouverte de courants électriques, « formant sur cette surface de petits circuits fermés dans « des plans parallèles et équidistants, et qu'on calcule « l'action de ces courants d'après ma formule, les forces « exercées dans les deux cas, soit sur un élément de « fil conducteur, soit sur une molécule magnétique, sont « précisément les mêmes, indépendantes de la forme « de la petite surface, et proportionnelles au volume « qu'elles renferment, les axes des éléments magnétiques « étant représentés par la droite perpendiculaire au plan « des circuits.

359. En résumé, voici l'opinion de M. Ampère sur les phénomènes électriques en général : dans l'état actuel de la science, on peut expliquer les phénomènes électrodynamiques, sans avoir recours à la réaction de l'éther, mis en mouvement par les courants électriques, bien que rien n'autorise à rejeter son intervention.

Les molécules des deux fluides électriques, telles que nous les considérons, produisent, par leurs attractions et répulsions réciproquement proportionnelles au carré

de la distance, tous les phénomènes de l'électricité ordinaire.

Quand les molécules électriques sont en mouvement dans les fils conducteurs, il résulte de leur action mutuelle des forces qui dépendent de la durée des périodes extrêmement courtes comprises entre deux réunions ou deux séparations consécutives, et des directions suivant lesquelles elles s'opèrent. Ces forces sont constantes, quand l'état dynamique des fluides électriques dans les fils conducteurs est devenu permanent.

L'action qui a été reconnue entre la terre et les conducteurs voltaïques ne permet guère de douter qu'il n'existe, dans l'intérieur de notre globe, des courants semblables à ceux des fils conducteurs. Ces courants seraient une des causes de la chaleur propre du globe; ils ont lieu principalement là où la couche oxidée qui l'entoure de toutes parts repose sur un noyau métallique, conformément à l'explication que Davy a donnée des volcans. Ce sont eux qui aimantent les minerais magnétiques et les corps exposés dans des circonstances convenables à l'action électro-dynamique de la terre.

Le même état permanent qui a lieu dans les fils conducteurs existe autour des particules des corps aimantés, et y produit des actions semblables à celles qu'exercent ces fils.

En calculant ces actions d'après la formule qui représente celle de deux éléments de courants voltaïques, on trouve précisément pour les forces qui en résultent, soit quand un aimant agit sur un fil conducteur, soit lorsque deux aimants agissent l'un sur l'autre, les valeurs que donnent les dernières expériences de M. Biot, dans le premier cas, et celles de Coulomb dans le second. C'est la preuve mathématique que les propriétés des aimants sont dues à des courants électriques circulant autour des molécules de l'acier.

§ III. *Observations relatives à la théorie de M. Ampère.*

360. M. Savary, dans un Mémoire communiqué à l'Académie des sciences, le 3 février 1823, s'est attaché à montrer que l'opinion de M. Ampère sur la constitution des aimants ne peut être admise qu'en appliquant sa formule aux courants circulaires et trouvant par le calcul des résultats identiques avec ceux que donne l'expérience.

M. Pouillet ayant démontré que l'action d'un aimant horizontal sur un fil vertical indéfini se réduit à deux forces dirigées dans le plan horizontal perpendiculairement aux lignes qui joignent le fil aux deux pôles de l'aimant, et que ces deux forces sont en raison inverse des distances du fil à ces deux pôles, M. Savary a substitué à l'aimant un cylindre électro-dynamique d'un très-petit diamètre, et a obtenu, pour les extrémités de ce cylindre, exactement le même résultat que les pôles de l'aimant avaient donné; savoir : que l'action d'un cylindre électro-dynamique sur un élément de courant se réduit à deux forces perpendiculaires aux plans qui passent tous deux par cet élément, et chacun par l'une des extrémités de l'axe du cylindre. Chaque force agit en raison inverse du carré de la distance de l'élément à l'une des extrémités de l'axe du cylindre, et proportionnellement au sinus de l'angle que la ligne, qui joint l'élément et cette extrémité, fait avec la direction du même élément.

361. M. Savary ayant remarqué, d'après Coulomb, que lorsqu'un petit aimant, librement suspendu dans un plan horizontal, où se trouve également un barreau aimanté, leur action mutuelle pouvait être représentée par quatre forces agissant en raison inverse du carré de la distance, et dirigées suivant les lignes qui joignent deux à deux les pôles d'un aimant à ceux de l'autre; en substituant aux aimants des cylindres électro-dynamiques d'un petit

diamètre, il a obtenu un résultat absolument semblable, et cela de quelque manière que les cylindres fussent dirigés dans l'espace. Nous avons vu que M. Biot avait trouvé que l'on représentait assez exactement les inclinaisons de l'aiguille aimantée en différents points du globe, en supposant deux pôles magnétiques, dans ce globe, très-voisins du centre. M. Savary a cherché si l'on ne pourrait pas déduire, au moyen de la formule de M. Ampère, la loi de l'aiguille aimantée, en admettant comme lui, dans l'équateur ou dans des plans très-voisins de l'équateur magnétique, des courants dont le rayon fût assez petit par rapport à celui de la terre. Le résultat des recherches de M. Savary, à cet égard, a été satisfaisant; la loi qu'il a obtenue est la même que celle que M. Bowditch a donnée le premier; savoir : que la tangente de l'inclinaison est double de la tangente de la latitude magnétique. M. Savary a donc cru devoir conclure de ces différents résultats, que des cylindres électro-dynamiques agissent, du moins à des distances un peu grandes par rapport à leur diamètre, comme des aimants dont les pôles seraient situés aux extrémités même de ces cylindres.

362. M. Savary a obtenu encore un autre résultat analytique important. Si l'on plie, suivant une courbe quelconque, l'axe d'un cylindre électro-dynamique d'un très-petit diamètre, de manière que les plans des courants électriques restent perpendiculaires à son axe devenu curviligne, l'action qu'il exercera sur un élément de courant électrique sera précisément la même que celle d'un cylindre électro-dynamique, dont les courants électriques circulaires seraient de même diamètre et de même intensité, et qui auraient pour axe la ligne droite joignant les deux extrémités de la courbe. Il a tiré de là cette conséquence importante : que si un fil d'acier forme une courbe fermée sans aucune solution de continuité, et qu'on le soumette à l'action d'un conducteur voltaïque roulé en hélice autour de ce fil, comme MM. Gay-Lussac et Welter l'ont fait à l'égard d'un anneau d'acier, ce fil ne pourra,

ainsi que l'anneau, exercer aucune action due à son aimantation par ce courant, tandis que les effets de l'aimantation paraîtront dès qu'on le rompra.

Nous devons ajouter que ce dernier résultat a été confirmé par les expériences que Davy et Erman ont faites sur des plaques d'acier au milieu desquelles on avait pratiqué des ouvertures par lesquelles ils ont fait passer un courant électrique assez intense pour leur communiquer cette sorte d'aimantation.

363. M. Faraday, tout en approuvant la théorie de M. Ampère sur la constitution des aimants, a cependant avancé (1) qu'il existait entre les apparences produites par un aimant et celles qui sont dues à un cylindre, les différences suivantes : Le pôle d'un aimant attire le pôle opposé d'une aiguille aimantée dans toutes les directions et positions quelconques, tandis que l'hélice, lorsqu'elle est placée à côté de l'aiguille, presque parallèlement à elle, et que les pôles sont opposés les uns aux autres pour qu'il y ait attraction, si l'on fait mouvoir l'hélice de manière que le pôle de l'aiguille s'approche peu à peu du milieu de l'hélice, il s'opère en général une répulsion avant qu'il ait atteint ce point, et dans une situation où, avec l'aimant ordinaire, il y a attraction. M. Faraday a attribué cet effet au défaut de continuité dans les côtés des courbes ou des éléments des hélices. Il a signalé encore une autre différence, qui consiste en ce que les pôles, dans l'hélice, sont situés à l'extrémité de son axe, et non à quelque distance de cette extrémité comme dans les aimants. M. Ampère a répondu à cette objection que cette différence dans la manière d'agir des hélices et des aimants dépend de la constitution des courants vers le milieu de l'aimant dont il a démontré l'existence.

364. M. Faraday a encore remarqué que les pôles semblables des aimants, quoique se repoussant à distance,

(1) Annal. de Ch. et de Phys., p. 364.

s'attirent cependant l'un l'autre quand ils sont placés fort près. On n'obtient aucune attraction de ce genre avec les pôles de l'hélice. Cette difficulté a été facilement levée par la considération de l'aimantation par influence qui est nulle dans les hélices, où le courant est déterminé par la pile.

Quelques autres différences signalées par ce même physicien ont été facilement expliquées par M. Ampère.

L'habile physicien anglais, dont l'opinion est ici d'un grand poids, ajoute qu'il paraît très-probable que, dans un barreau aimanté, l'acier ou le fer se trouve dans le même état que le fil de cuivre de l'hélice aimanté, et que cet effet n'est peut-être produit, comme l'a établi M. Ampère, que par des courants électriques. Depuis la découverte de l'induction électro-magnétique, il s'est prononcé plus fortement en faveur des courants électriques comme cause productrice des aimants.

D'après l'exposé que nous venons de présenter des phénomènes électro-dynamiques, et des théories qui ont été données pour les expliquer, il est hors de doute que celle de M. Ampère n'ait la préférence sur les autres, puisqu'elle rend compte d'une manière satisfaisante de tous les faits qui ont été observés jusqu'ici.

Cette théorie a reçu un degré de plus de probabilité par le résultat d'une expérience importante qui a été faite par M. Barlow dans le but de montrer l'origine électrique probable de tous les phénomènes du magnétique terrestre. Lorsque nous exposerons ces phénomènes, nous aurons l'occasion de rapporter cette expérience avec tous les détails convenables.

DE

L'ÉLECTRO-CHIMIE.

LIVRE IV.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

365. Dans tous les phénomènes électriques et magnétiques que nous avons décrits jusqu'ici, nous avons supposé que les particules des corps étaient invariablement fixées entre elles, c'est-à-dire que les agents, quels qu'ils fussent, qui donnaient naissance à ces phénomènes, traversaient plus ou moins facilement les corps en passant d'une particule à une autre, ou se mouvaient seulement autour de chacune d'elles, sans troubler sensiblement leur état d'équilibre. Nous avons donc étudié les propriétés physiques qu'acquièrent les corps, quand ils sont soumis à des actions électriques ou magnétiques qui ne paraissent pas déranger leur structure intérieure. Ces propriétés dépendent peut-être des modifications que subit la matière éthérée qui entoure les particules matérielles, et sur lesquelles l'expérience a encore jeté peu de lumières; mais ces effets de la matière éthérée, qui sont produits dans les espaces intersticiels, ne se bornent pas à faire acquérir aux corps des propriétés physiques, ils peuvent encore séparer leurs particules, les désorganiser, et même les décomposer complétement: ils peuvent donc lutter avec les affinités

pour vaincre en partie leur action et même la détruire complétement. En outre l'électricité n'agit pas seulement comme moyen d'analyse, car on l'emploie encore avec avantage pour opérer la combinaison des corps. L'ensemble de tous ces phénomènes constitue l'électro-chimie, science féconde en applications, qui étend ses ramifications non-seulement dans la chimie et la physique, mais encore dans la plupart des sciences naturelles, qui peuvent y trouver en partie l'origine des forces motrices que la nature inorganique et même la nature organique mettent continuellement en jeu. Nous allons tâcher de présenter cette science avec tous les développements qui peuvent en faire apprécier l'importance.

366. Lorsque deux lames de platine, en communication chacune avec l'une des extrémités d'une pile voltaïque, plongent dans une solution saline, conductrice de l'électricité, le courant électrique qui la traverse réagit sur les parties constituantes de cette solution et en opère la séparation. Voilà le fait général, passons aux détails.

Si l'on plonge dans de l'eau légèrement acidulée deux fils de platine en communication chacun avec l'un des pôles d'une pile voltaïque, des bulles se dégagent à l'extrémité de chaque fil, savoir, du gaz hydrogène du côté négatif et du gaz oxigène du côté positif. Si l'on mesure les quantités de gaz dégagées, on trouve que les volumes sont dans les proportions voulues pour former de l'eau, c'est-à-dire qu'un volume d'oxigène correspond à deux volumes d'hydrogène; ce résultat nous annonce donc que l'eau a été décomposée.

Quand l'eau renferme un sel à base de zinc, de plomb, de cuivre, ou d'un métal facilement réductible, le fil qui communique avec le côté négatif se recouvre de petites aiguilles de zinc, de plomb ou de cuivre, et en général de métal réduit.

On se rend facilement compte des propriétés décomposantes de la pile, en faisant passer le courant dans des solutions de sel neutre colorées par des couleurs bleues végétales; la partie du liquide qui entoure

le sel négatif se colore en vert, et celle qui est contiguë au pôle positif en rouge. Dès lors, on ne peut douter que sous l'influence du courant voltaïque, un acide ne se manifeste du côté positif, et un alcali du côté négatif. Pour mieux étudier la nature des deux principes acide et alcalin qui sont ainsi développés, il faut faire l'expérience de manière à empêcher leur combinaison; on y parvient en versant une solution saline non colorée dans deux capsules de porcelaine, faisant communiquer ensemble les deux capsules avec une mèche d'asbeste ou de coton, et plongeant dans chacune d'elles une lame de platine en communication avec l'une des extrémités de la pile. On ne tarde pas à s'apercevoir que la solution positive devient acide, et la solution négative alcaline. En continuant l'expérience pendant quelque temps, on opère la décomposition entière du sel. Il est donc bien prouvé que lorsque l'on soumet des solutions salines dans l'eau à l'action d'un courant voltaïque, au moyen de lames de platine plongeant dans ces solutions, et en communication avec les deux extrémités de la pile, l'eau ainsi que les sels sont décomposés, l'oxigène et les acides sont transportés au pôle positif, l'hydrogène et les bases au pôle négatif.

Tel est le principe général de la décomposition électro-chimique, dont nous allons nous servir pour étudier une foule de phénomènes importants qui commencent à jeter quelque jour sur les actions chimiques en général. Mais nous commencerons par exposer le pouvoir conducteur des corps pour l'électricité, puis les phénomènes relatifs à la production de la chaleur par l'électricité, qui nous sont nécessaires pour l'intelligence des phénomènes électro-chimiques en général.

CHAPITRE PREMIER.

DU POUVOIR CONDUCTEUR DES CORPS POUR L'ÉLECTRICITÉ.

§ Ier. *Du pouvoir conducteur des métaux pour l'électricité.*

367. Nous savons déja que les corps, sous le rapport de la conductibilité électrique, peuvent être rangés en deux classes : dans la première se trouvent les corps bons conducteurs; dans la seconde, ceux qui refusent passage à l'électricité.

La première classe peut être divisée aussi en deux autres, l'une renfermant les métaux et le charbon, qui sont les corps les meilleurs conducteurs; et l'autre, les liquides et les dissolutions, ainsi que les substances végétales et animales, qui conduisent l'électricité à un degré infiniment moindre que les métaux. La seconde classe comprend le soufre, le verre, les résines, etc.; mais comme tous ces corps refusent passage au fluide électrique, nous ne nous en occuperons pas pour l'instant.

Nous entendons par faculté conductrice d'un corps pour l'électricité, la propriété dont il jouit de laisser passer plus ou moins d'électricité, relativement à un autre corps de même volume pris pour terme de comparaison.

On a employé divers procédés pour trouver les rapports de conductibilité entre les métaux; nous devons les faire connaître tous, parce que les résultats obtenus

par chacun de ces procédés présentent de grandes différences.

La méthode dont Davy a fait usage consiste à prendre des fils de différents métaux, de même longueur et de diamètres égaux, et de chercher combien chacun d'eux peut décharger de plaques voltaïques, construites suivant la méthode de Wollaston.

Pour s'assurer si un fil décharge entièrement une pile, on ajoute deux autres fils conducteurs en argent aux deux extrémités de cette pile, lesquels viennent plonger dans de l'eau rendue conductrice par l'addition d'un sel ou d'un acide; la communication se trouve donc établie entre les deux extrémités de la pile, d'une part avec le fil dont on cherche le pouvoir conducteur, et de l'autre avec les deux fils d'argent qui plongent dans le liquide. En opérant ainsi, toutes les fois qu'il y avait dégagement de gaz, Davy en concluait que toute la décharge de la pile ne passait pas dans le fil d'essai.

Davy trouva qu'un fil d'argent, de $\frac{1}{220}$ de pouce anglais de diamètre et de 6 pouces de longueur, déchargeait 65 plaques; 6 pouces d'étain, 12 paires; 6 pouces de platine, 11 paires; et 6 pouces de fer, 9 paires, etc. Il soumit ensuite à l'expérience des fils de même métal, mais dont la longueur et le diamètre n'étaient pas les mêmes. Il trouva que les fils de métal, à diamètre égal, avaient un pouvoir conducteur en raison inverse de leur longueur, et que, relativement au diamètre, l'effet était proportionnel à la masse; ainsi, 6 pouces de platine, de $\frac{1}{220}$ de pouce, déchargeaient 10 doubles plaques; 3 pouces, 20 doubles plaques, etc.; et 6 fils, ou un seul de même longueur, mais six fois plus pesant, produisait le même effet.

Davy, en représentant par 100 la faculté conductrice du platine, a trouvé les nombres suivants pour les facultes conductrices de différents métaux :

Argent.....	600	Étain.....	109
Cuivre.....	550	Platine.....	100

Or.....	400	Fer.....	82
Plomb.....	380		

Ces résultats nous montrent déja que les métaux qui conduisent le mieux la chaleur sont aussi ceux qui ont le plus grand pouvoir conducteur pour l'électricité.

La méthode dont Davy a fait usage suppose 1° que chaque plaque fournit au courant la même quantité d'électricité, et que les piles, formées d'un même nombre de plaques, ont la même intensité d'action; 2° qu'une pile est complétement déchargée, par cela même que l'eau n'est plus décomposée par les conducteurs d'argent : or, on sait que les variations qui surviennent à chaque instant dans l'action de la pile empêchent que les résultats soient comparables entre eux, et que l'eau peut être traversée par un courant d'une certaine intensité, sans qu'elle soit pour cela décomposée. Ainsi, tout ce que l'on peut conclure du résultat négatif, c'est que la tension de l'électricité, qui ne passe pas dans le fil d'essai, n'est pas assez forte pour opérer la décomposition de l'eau.

Davy a négligé aussi une autre cause d'erreur, c'est la perte d'électricité qui a toujours lieu quand l'électricité passe d'un conducteur dans un autre. Les fils de métal, dans lesquels il cherchait le pouvoir conducteur, étaient mis en communication avec les fils de platine ou d'argent qui aboutissaient aux deux extrémités de la pile; le courant passait donc tantôt du platine ou de l'argent dans le fer, tantôt dans l'or, etc., ce qui empêchait que les résultats fussent comparables. Les résultats trouvés par Davy n'expriment donc que des différences.

368. Nous avons cherché à déterminer le pouvoir conducteur des métaux, indépendamment des variations qui ont lieu à chaque instant dans la pile; mais la méthode que nous avons donnée ne met pas à l'abri l'expérimentateur, de la perte d'électricité qui a lieu quand le cou-

rant change de conducteur; néanmoins, cette méthode est plus exacte que la précédente.

Supposons qu'on adapte à chacune des extrémités d'une pile deux fils de même métal, de même longueur et de même diamètre; il est évident que si on les fait communiquer deux à deux, on aura deux courants de même intensité, puisque tout sera semblable de part et d'autre. Prenons maintenant deux fils de cuivre, de 20 mètres environ de longueur, de $\frac{1}{3}$ de millimètre de diamètre, et recouverts de soie; enroulons, aussi également que possible, ces deux fils autour du châssis d'un multiplicateur; on aura quatre bouts. Faisons communiquer les deux bouts d'un même fil avec deux des fils en communication avec les extrémités de la pile; il en résultera dans le multiplicateur deux courants électriques, et si les fils sont disposés de manière que les courants cheminent en sens inverse, l'aiguille aimantée éprouvant de leur part des actions contraires et égales, ne sera pas déviée.

L'aiguille aimantée reste effectivement stationnaire toutes les fois que les courants, qui cheminent en sens contraire, sont parfaitement égaux; mais cette condition n'est pas remplie immédiatement, parce qu'il est impossible que tout soit identique dans les deux circuits. Pour obtenir l'égalité d'action, on prend un des deux fils plus long que l'autre. Soient P et N (fig. 65) les deux pôles d'une pile; GG′ un multiplicateur; P*a* et P*d*, N*c* et N*b*, les quatre fils qui partent de ces pôles, et qui se rendent dans quatre capsules *a*, *b*, *c*, *d*, remplies de mercure, et dans lesquelles plongent aussi les quatre bouts de fil *ag*, *bf*, *cg* et *df*, croisés de manière à produire deux courants égaux et dirigés en sens contraire. Supposons, en outre, que les distances *ab*, *cd* soient égales, et que de l'intérieur des capsules s'élèvent quatre petites pinces que l'on peut serrer avec un anneau. Si l'on fait communiquer *a* et *b*, *c* et *d* avec deux fils de même métal, égaux en longueur et en grosseur, que l'on fixe dans les pinces, l'aiguille aimantée n'est pas

cuivre, de 61 millimètres de longueur, et un fil de platine, de 10 millimètres, l'un et l'autre de même diamètre, avaient le même pouvoir conducteur; qu'un fil de cuivre, de 13 millimètres, et un fil d'argent, de 1 centimètre, jouissaient aussi du même pouvoir conducteur. Nous en avons conclu que la conductibilité du cuivre était à celle du platine comme 6,1 : 1 ; la conductibilité du cuivre à celle de l'argent comme 1,3 : 1. En représentant par 100 le pouvoir conducteur du cuivre rouge, nous avons formé le tableau suivant, qui renferme le pouvoir conducteur de plusieurs métaux, exprimé en fonction du pouvoir conducteur du cuivre :

Cuivre.....	609	Platine.....	100
Or.....	571	Fer.....	95
Argent.....	447	Plomb.....	50
Zinc.....	174	Mercure.....	21
Étain.....	94	Potassium..	8

Ces nombres diffèrent beaucoup de ceux qui ont été trouvés par Davy. Nous ferons seulement observer que notre méthode est plus exacte que la sienne.

371. M. Pouillet a déterminé aussi le pouvoir conducteur des métaux par une méthode qu'il n'a pas publiée, et dont nous ne pouvons par conséquent discuter le mérite; nous nous bornerons seulement à donner les résultats qu'il a consignés dans son Traité de physique, tom. II, pag. 315, 3e édition :

Argent à 0,986...	860	Rosette.....	224
Cuivre rouge.....	738	Laiton.....	194
Argent, 1er titre, 0,948.....	656	Fer.....	121
Or fin.....	623	Or à 18 karats...	109
Argent, 2e titre, 0,800.....	569	Platine.....	100

372. M. Pouillet a annoncé que la conductibilité lui a

paru très-exactement proportionnelle à la section des fils, depuis les diamètres les plus fins jusqu'aux diamètres de trois lignes environ, n'ayant pas poussé au-delà les recherches, et que la loi de la raison inverse de la longueur pour le même diamètre ne lui a paru exacte que sous une condition. Nous rapportons ici textuellement le résultat de ses expériences :

« Dans mon appareil, les forces électro-magnétiques « qui servaient de mesure à la conductibilité se trou- « vaient proportionnelles aux tangentes des déviations « de l'aiguille : et, en employant successivement des « longueurs l, l', l'', etc., d'un même fil, les tangentes « t, t', t'', etc., des déviations n'étaient jamais en raison « inverse de ces longueurs; mais elles étaient en raison « inverse de ces longueurs augmentées chacune d'une « même quantité λ; ainsi on avait

$$\frac{\lambda+l}{\lambda+l'}=\frac{t'}{t},\ \frac{\lambda+l}{\lambda+l''}=\frac{t''}{t},\ \frac{\lambda+l'}{\lambda+l''}=\frac{t''}{t'}.$$

« Cette quantité λ, qui restait constante pour les diver- « ses longueurs d'un même fil, changeait avec la nature « de la substance, et, pour chaque substance, elle était « en raison inverse de la section du fil. Il me semble, « par conséquent, que la conductibilité est rigoureuse- « ment en raison inverse de la longueur des fils, pourvu « que l'on tienne compte de la résistance qu'éprouve « l'électricité à traverser le liquide qui sépare les élé- « ments de la pile, et à parcourir les divers conduc- « teurs qui doivent l'amener aux fils qui sont directe- « ment soumis à l'observation. Ainsi, quand on opère, « par exemple, sur un fil d'argent de 1 millimètre de « diamètre, il faut concevoir que tous les conducteurs « dont je viens de parler réduisent la force du courant, « autant que pourrait le réduire un fil d'argent de 1 « millimètre de diamètre, et d'une certaine longueur, « par exemple, de 1 mètre; alors, si l'on force le cou- « rant à passer successivement par deux fils pareils,

« l'un de 1 mètre et l'autre de 2 mètres, les tangentes « des deux actions seront entre elles comme 2 est à 3, « et non pas comme 1 est à 2, qui sont les deux lon- « gueurs véritablement soumises à l'expérience. »

373. Dans la détermination du pouvoir conducteur de chaque métal, on doit faire entrer en considération l'état de pureté de ce métal, car, pour peu qu'il renferme un alliage, ce pouvoir se trouve singulièrement modifié. C'est ainsi que M. Pouillet a trouvé que l'or fin et l'or à 18 karats avaient des pouvoirs représentés par 623 et 109. Quoiqu'on ait lieu de soupçonner une erreur dans l'expérience, en raison de la grande différence entre ces deux nombres, cependant, on ne peut s'empêcher de croire qu'il n'y ait une différence très-sensible.

374. Dans les deux procédés que nous avons décrits, nous avons négligé la perte d'électricité qui a toujours lieu au passage du courant d'un métal dans un autre. Nous allons en indiquer un autre, au moyen duquel on évite cette cause d'erreur. Le multiplicateur à deux fils, dont l'usage est si utile quand il s'agit de comparer deux courants entre eux, va encore nous servir. Prenons deux circuits, composés chacun de tous les fils de métal que l'on veut soumettre à l'expérience; ces fils ayant autant que possible la même longueur et le même diamètre.

Pour former chaque circuit, on enroule les extrémités de chaque fil les uns au bout des autres, ou bien on les met en communication au moyen du mercure. On peut avoir ainsi deux fils mixtes aussi égaux que possible, que l'on met en communication chacun avec l'un des fils du double multiplicateur et les pôles d'une pile, de manière à avoir deux courants dirigés en sens inverse, comme nous l'avons indiqué dans le deuxième procédé. Les courants étant égaux, l'aiguille ne sera pas déviée. Veut-on comparer le pouvoir conducteur d'un métal à celui d'un autre métal ayant le même diamètre, le pouvoir du fer, par exemple, à celui du platine; on agira ainsi : supposons que dans le premier circuit le

fil de platine ait 1 décimètre de longueur, et que
de fer dans le second ait la même longueur. Si
longe ou si l'on raccourcit l'un ou l'autre, les
riations de l'aiguille aimantée indiqueront les chan-
ments qui s'opéreront dans la conductibilité
dont on a fait varier la longueur, indépendamment
la perte d'électricité qui a lieu au changement de con-
ducteur, puisque le contact des métaux est toujours
même. Maintenant, faisons varier la longueur du
fer, d'un centimètre par exemple : la nouvelle
guille aimantée indiquera sur-le-champ les changements
qui se seront opérés dans la conductibilité, et
toujours indépendamment de la perte d'électricité
lieu au changement de conducteur. Remettons enfin
sa longueur primitive et faisons varier de la même
tité la longueur du fil de platine dans le même
le rapport des déviations dans les deux cas
celui des pouvoirs conducteurs du fer et du
Si dans le premier cas l'intensité du courant
sentée par i et dans le second par i', le rapport
ductibilité entre le fer et le platine sera ex-

Cette expérience n'a pas encore été tentée
que c'est une des méthodes qui peuvent
directement à la détermination exacte
ducteur des métaux pour l'électricité.

Nous pensons que lorsque ce
terminé avec une grande exactitude
de différence avec le pouvoir
pour la chaleur.

On est cependant arrêté par une
portante, quand on cherche la con-
faite entre le pouvoir conducteur
teur, et celui pour l'électricité variant
bien cuit est très-mauvais. Cette loi
tandis qu'il est bon conducteur
nalons cette anomalie aux
physiciens.

375. Nous n'avons employé jusqu'ici que l'électricité voltaïque pour la détermination du pouvoir conducteur des métaux; mais on peut se servir aussi de l'électricité qui émane d'une autre source; seulement les résultats ne sont plus comparables avec les autres, attendu que l'électricité, comme nous l'avons déja vu, est plus ou moins apte, suivant son origine, à franchir des circuits plus ou moins conducteurs. L'électricité thermoïque, par exemple, jouit de la propriété de franchir facilement des fils courts à gros diamètres, tandis qu'elle est arrêtée presque entièrement par des fils très-longs à petits diamètres. L'électricité voltaïque traverse, à la vérité, de très-longs circuits, mais sa faculté de transmission varie avec le nombre d'éléments qui entre dans la pile. Nous devons en conclure que, dans ces divers cas, on ne doit pas obtenir le même pouvoir conducteur pour les métaux. Voilà une cause d'erreur qui n'a pas encore été signalée, et qui explique les différences énormes que présentent les résultats obtenus par diverses méthodes. Les nombres obtenus pour les pouvoirs conducteurs des métaux ne peuvent donc être comparables qu'autant que les physiciens font usage de la même source d'électricité.

376. Quoi qu'il en soit, afin d'embrasser la question dans toute sa généralité, nous allons rapporter les résultats auxquels sont parvenus MM. de Cumming, Harris et Christie, qui ont employé chacun des méthodes différentes.

M. Cumming a cherché la loi des intensités au moyen de l'électricité thermoïque. La formule $\frac{D}{\sqrt{L}}$, dans laquelle L désigne la longueur et D une constante, lui a donné des résultats approximatifs (1). Ayant soumis à l'expérience des fils de diverses longueurs, il a eu les résultats suivants : un fil de 8 pieds de long et de $\frac{1}{20}$ de pouce de diamètre a donné une déviation de $15^{\circ}\frac{1}{2}$; avec

(1) Cambridge, Trans. phil., 1823, p. 63.

un autre de même longueur et de $\frac{1}{37}$, elle n'a été que de 6° $\frac{1}{2}$; d'où il a déduit D = 1,68. D'autres expériences lui ont donné pour D les nombres 2,58; 1,79; 1,58. La valeur moyenne de D est donc 1,98.

M. Cumming a reconnu que la surface n'entrait pour rien dans la conductibilité électrique, comme nous l'avons déja vu.

Voici le pouvoir conducteur de chaque métal déduit de ses expériences :

Argent.....	176,5	Fer.....	24,3
Cuivre.....	100,0	Étain.....	23,9
Zinc.....	53,	Platine.....	21,6
Or.....	35,2	Plomb.....	16,8

Cette méthode est fautive sous le rapport de l'évaluation de l'intensité des courants; elle suppose que les déviations de l'aiguille aimantée sont proportionnelles aux intensités, ce qui n'a lieu que pour de petits angles.

377. M. Harris (1) a fait usage de la chaleur qui est produite par le passage de l'électricité à travers les conducteurs; procédé qui avait déja été employé par Children. La chaleur qui est ainsi dégagée dans des fils de même longueur et de même diamètre est en raison inverse du pouvoir conducteur. Il a obtenu pour les métaux les nombres suivants :

Cuivre.....	100	Platine.....	20
Argent.....	100	Fer.....	20
Or.....	66,7	Étain.....	16,7
Zinc.....	33,3	Plomb.....	8,3

378. M. Barlow (2), qui s'est occupé aussi de la conductibilité, a annoncé que le pouvoir conducteur variait presque comme le carré de la longueur du fil. Cette loi

(1) Trans. phil., 1817.
(2) Edimb. phil. Journal, 1825.

peut être exacte dans les circonstances où cet habile physicien a opéré; mais nous pouvons assurer qu'en général elle ne l'est pas.

379. Abordons actuellement les recherches de M. Christie sur le même sujet.

Nous avons déja dit que M. Faraday avait cherché à déterminer la différence qui existe entre les métaux sous le rapport de l'intensité des phénomènes électro-magnétiques d'induction, différence qui doit dépendre de la conductibilité. M. Christie (1) s'est livré à de semblables recherches en employant deux hélices, l'une, composée d'un fil de cuivre recouvert de soie, enroulé 65 fois autour d'un cylindre de bois d'un pouce de diamètre; la seconde en fer, exactement semblable à la précédente, mais ayant ses spires dirigées en sens opposé : les deux hélices furent superposées de manière à ce que les spires de l'une, intercalées dans celles de l'autre, se croisassent alternativement. Ayant enlevé le cylindre de bois, il plaça dans l'axe de cette double hélice un cylindre en fer doux recouvert de papier. Les extrémités des fils, bien décapées, furent enroulées l'une sur l'autre pour établir un contact métallique entre elles, et mises ensuite en communication avec le fil d'un multiplicateur, comme l'indique la fig. 66. N est le pôle nord d'un aimant, mis en contact avec le cylindre de fer doux A'B', et B le pôle boréal. La direction des spires de l'hélice de cuivre était telle que, dans la disposition adoptée, l'aiguille supérieure du multiplicateur, du moins son pôle nord, se dirigeait vers l'ouest à l'instant où l'on rendait magnétique le cylindre. Les spires de l'hélice en fer étant dans un sens opposé, l'effet produit aurait été inverse si elle eût agi seule; mais comme les deux hélices fonctionnaient en même temps, on dut avoir une différence dans les effets. L'expérience a montré que le courant produit par induction dans le cuivre ex-

(1) Trans. Philos., 1833, 1re partie, p. 95.

cédait de beaucoup en intensité celui qui est produit sur le fer, comme l'avait déja observé M. Faraday, et même était plus que double.

380. M. Christie, dans la crainte que les spires ne conservassent pas toujours leur position relative, a substitué à l'appareil précédent celui qui est indiqué fig. 67.

A l'instant du contact B'N et A'B, l'aiguille s'est déviée à l'ouest. Au moyen de cette disposition, l'électricité développée dans le cuivre fut obligée de passer dans le fil de fer, et réciproquement celle du fil de fer dans l'autre. Le résultat fut encore le même que ci-dessus. Il en a conclu en outre que le courant excité dans l'hélice en cuivre, quoique plus puissant que celui du fer, perd de sa supériorité par la mauvaise conductibilité du fil de fer, tandis que celui qui est produit dans l'hélice de fer s'écoule facilement dans l'hélice de cuivre, et qu'en raison de cela, les intensités des courants excités dans deux fils sont proportionnelles à leur pouvoir conducteur.

381. M. Christie a encore fait usage d'une autre méthode (fig. 68), qu'il importe de connaître à cause de ses applications : cette méthode a de l'analogie avec celle que nous avons employée nous-mêmes.

Ayant pris quatre fils de 4 pieds chacun, deux de cuivre et deux de fer, il les réunit deux à deux par une de leurs extrémités, un fil de cuivre et un autre de fer ensemble, et mit en communication les bouts C et D avec un multiplicateur, et les bouts C' et D' avec les extrémités d'une hélice multiple composée de onze fils formant chacun 65 tours.

A l'instant du contact ou de la séparation de l'aimant du cylindre de fer, le courant par induction arrivait aux points C' et D' et y produisait des courants parcourant dans les fils de cuivre et de fer, lesquels courants étaient nécessairement proportionnels aux pouvoirs conducteurs des métaux arrivés aux points C et D. [illegible] DC du multiplicateur étaient parcourus [illegible] rence des deux courants. Cet appareil lui a [illegible]

ver la loi que suit l'intensité du courant dans des fils de même métal, de longueur ou de diamètre différents, puisqu'il suffit d'allonger ou de raccourcir les fils croisés pour avoir des différences; mais quand il s'agit des intensités propres, il faut avoir égard à une autre considération. M. Christie a remarqué que les effets obtenus varient suivant la manière dont on établit ou l'on rompt le contact de l'aimant avec le cylindre de fer doux; pour éviter cette cause d'erreur, il a adopté un mode invariable de contact ou de rupture, c'est la chute d'un poids de la même hauteur. L'appareil qui remplissait ce but était formé d'une bascule tirée par un poids qu'on lâchait, laquelle, atteignant l'hélice, la dégageait de son contact d'une manière uniforme avec l'aimant. On établit le contact en soulevant l'hélice avec une corde attachée à une poulie. En suivant cette méthode, les effets paraissent plus constants quand on interrompt le contact que lorsqu'on l'établit. Ayant introduit dans le circuit deux fils de cuivre, de 12 pieds chacun de longueur, entre l'hélice et le multiplicateur, tordus ou réunis ensemble avec d'autres fils de cuivre bien décapés, la déviation moyenne a été de 90°,40. Le raccourcissement de 4 pieds de ces fils n'a pas produit de modification sensible. M. Christie n'a obtenu une diminution de 1° que lorsque le contact immédiat des fils avait lieu seulement par le moyen d'un fil fin enroulé autour des bouts d'un gros fil. Nous ne sommes nullement étonnés de ce résultat, attendu que lorsque la déviation est de 90°, il faut une perte considérable dans l'intensité du courant pour diminuer cette déviation de quelques degrés.

382. Pour mesurer l'influence qu'apportent les longueurs des fils dans la conductibilité, M. Christie a fait usage d'une méthode indirecte qui n'est pas exempte d'objections, et dont il serait difficile de donner ici une idée succincte.

Il a trouvé néanmoins que la loi la plus simple est celle de la raison inverse de la longueur, comme

on l'avait déja observé. Quant à la détermination de la loi des intensités dans les fils qui n'ont pas le même diamètre, il a pris des fils dont les diamètres étaient à peu près suivant les nombres 4, 2 et 1, et a mesuré le courant dans des fils de 50 pouces en 50 pouces. Voici les résultats qu'il a obtenus :

	1er FIL diam. = 0,1258 de p. Poids d'1 p. = 27,15 gr.	2e FIL diam. = 0,0633 de p. Poids d'1 p. = 6,80 gr.	3e FIL diam. = 0,0322 de p. Poids d'1 p. = 1,76 gr.
Une longueur de 50 pouces ajoutée à celle qui constitue le circuit	Déviation de l'aiguille.	Déviation de l'aiguille.	Déviation de l'aiguille.
	133° ′	113°35′	76°41′
2e	129 08	104 33	63 22
3e	124 08	95 40	54 17
4e	119 58	89 10	47 45
5e	115 55	83 54	42 05
6e	112 43	78 35	37 52

En discutant ces résultats et cherchant à les réunir par une équation, M. Christie en a conclu que l'intensité du courant ne varie pas seulement en raison de la section du fil ou de son carré, mais qu'il y a d'autres causes d'aberration qui s'accroissent avec l'augmentation du diamètre. Ayant cependant acquis la preuve que le rapport devait être en raison du carré du diamètre, il a cherché quelle était la cause de la différence observée. Il a cru la reconnaître dans la résistance que l'air oppose à la déviation de l'aiguille du multiplicateur, en raison de l'intensité du courant. Il s'est livré à ce sujet à une discussion dans laquelle nous ne le suivrons pas, et d'où il conclut que l'intensité du courant pour une longueur donnée varie néanmoins comme le carré du diamètre du fil. Dans des fils de diamètre et de longueur différents, l'intensité du courant, ou, en d'autres termes, le pouvoir conducteur, varie en raison du carré du diamètre

et inversement comme leurs longueurs, loi que nous avions déja trouvée.

383. L'appareil (fig. 68) a servi à M. Christie pour comparer entre eux les pouvoirs conducteurs du cuivre, du zinc, de l'étain, du fer et du plomb. Les fils de métal dont il a fait usage avaient $\frac{1}{30}$ de pouce de diamètre, excepté les fils d'or, d'argent, de platine et de cuivre qui n'avaient que $\frac{1}{500}$ de pouce. Chaque longueur était d'abord de 50 pouces. Deux des fils placés en croix, C'D, CD'; puis l'on raccourcissait le fil le moins conducteur, jusqu'à ce qu'il y ait zéro de déviation au multiplicateur placé entre A et B. Voici le tableau des résultats obtenus:

MÉTAUX COMPARÉS SUCCESSIVEMENT ET ÉTANT PRIS COMME MESURE PRIMITIVE.

	Cuivre.	Zinc.	Étain.	Fer.	Plomb.
Cuivre.....	... 100 pouc.	... 52,0....	... 25,5....	... 22,8....	 11,8
Zinc.....	... ...	... 100	... 49,8....	... 42, ...	 22,4
Étain.....	... ...	... ...	... 100	... 89,4....	 52
Fer.....	... ...	... ...	... ...	... 100	 62

Dans les expériences qui ont servi à déterminer ces résultats on a pris des fils de même diamètre, mais de longueur différente; c'est donc par la loi connue des longueurs que les pouvoirs conducteurs ont été déterminés. C'est aussi la marche que nous avons suivie plus de dix ans avant que M. Christie ait traité cette question.

384. On doit à M. Arago un moyen très-simple pour mesurer la conductibilité électrique des métaux. Si un fil de métal, qui part de l'extérieur d'une batterie électrique, se divise en plusieurs autres fils égaux en longueur

et en diamètre, et se réunissent tous ensuite à un même point, il est certain que le fluide électrique se divisera en autant de parties égales qu'il y a de branches dans ce système. En plaçant transversalement sur la partie droite de chaque fil des aiguilles d'acier, puis faisant passer la décharge dans tous ces fils, l'aimantation des aiguilles placées sur le premier fil indiquera l'effet produit par toute l'électricité; tandis que l'aimantation des aiguilles placées sur chaque branche mesurera l'effet produit par un, deux, trois fils, suivant que la décharge parcourra ce nombre de fils. On conçoit maintenant qu'en substituant aux différents fils ramifiés des fils semblables de divers métaux, la décharge électrique s'effectuera dans chacun d'eux en raison de la conductibilité du métal.

Jusqu'ici ce procédé n'a pas encore été mis à exécution.

385. Nous donnons ici le tableau des résultats obtenus pour le pouvoir conducteur des métaux, par les physiciens ci-dessus mentionnés, en représentant celui du cuivre par 100.

DAVY. Électricité voltaïque.	BECQUEREL. Électricité voltaïque.	CUMMINGUE Électricité thermoïque.	HARRIS. Électricité ordinaire.	CHRISTIE. Électricité d'induction.	POUILLET. Électricité d'un seul couple.
Argent. 109,	Cuivre. 100,	Argent. 176,5	Cuivre. 100,	Argent. 15,2	
Cuivre. 100,	Or..... 93,6	Cuivre. 100,	Argent. 100,	Or..... 110,6	
Or..... 73,	Argent. 73,6	Zinc... 53,	Or.... 66,7	Cuivre. 100,	Argent 116
Plomb.. 69,	Zinc... 28,5	Or..... 35,2	Zinc... 33,3	Zinc... 52,2	Cuivre. 100
Platine. 18,	Platine. 16,4	Fer.... 24,3	Platine. 20,	Étain.. 25,3	Or fin.. 84
Fer.... 14,5	Fer.... 15,8	Étain.. 23,9	Fer.... 20,	Platine. 24,5	Fer.... 16
	Étain... 15,5	Platine. 21,6	Étain.. 16,7	Fer.... 22,3	Platine. 13
	Plomb.. 8,3	Plomb. 16,8	Plomb.. 8,3	Plomb.. 12,4	Laiton. 12

De tous ces résultats, il n'y a que ceux qui sont compris dans la seconde et la quatrième colonne qui puissent être comparés; car les autres présentent des diffé-

rences trop considérables. Nous le répétons encore, il en sera toujours ainsi, quand on n'opérera pas avec de l'électricité provenant de la même source.

§ II. *Du pouvoir conducteur des liquides pour l'électricité.*

386. Pour peu que l'on ait expérimenté avec le multiplicateur, on ne tarde pas à s'apercevoir que tous les liquides n'ont pas le même pouvoir conducteur pour l'électricité voltaïque. Les huiles, et en général les corps oléagineux, sont privés de tout pouvoir conducteur, tandis que les acides le possèdent à un haut degré, mais à un degré moindre cependant que les métaux.

Nous devons à M. Marianini une suite de recherches pour la détermination du pouvoir conducteur de l'eau tenant en dissolution des acides, des alcalis ou des sels, comparé à celui de l'eau distillée à la température de trois degrés (Réaumur); quoique sa méthode laisse beaucoup à désirer et ne donne que des différences dans la conductibilité, nous allons cependant la faire connaître, parce que nous n'avons rien de mieux à lui opposer. Lorsque l'on plonge dans l'eau de mer un couple voltaïque ordinaire en communication avec un multiplicateur, au moyen de deux fils de métal, et dans de l'eau distillée un couple semblable, mais d'une surface cinq fois moindre, on obtient des déviations vingt fois plus grandes dans le premier cas que dans le second. Si l'on part du principe que les déviations sont proportionnelles aux conductibilités des liquides et aux surfaces des couples, le pouvoir conducteur de l'eau de mer sera 5 quand celui de l'eau distillée sera 1; ce rapport est précisément le même que celui qui a été trouvé par Cavendish. M. Marianini a employé ensuite des couples qui avaient à peu près la même surface, lorsqu'il a voulu comparer des conductibilités très-différentes. Dans la théorie électro-chimique, telle qu'elle est généralement admise aujourd'hui, la méthode de M. Marianini n'est pas exempte d'erreurs. En effet, l'intensité du cou-

rant doit varier avec l'intensité de l'action chimique; dès lors on ne peut comparer ensemble le pouvoir conducteur de deux dissolutions dans chacune desquelles on plonge deux lames de métal en communication avec le multiplicateur; car si l'un des liquides agit énergiquement sur les deux métaux ou sur l'un d'eux seulement, et que l'autre n'agisse que faiblement, on aura dans les deux cas des effets qui ne devront pas être attribués seulement à la différence de conductibilité des deux liquides, mais encore à une différence dans l'action chimique. Bien plus, la conductibilité du liquide dans lequel a lieu la plus forte action chimique, éprouve des modifications en raison des nouveaux composés qui s'y forment; de plus, les déviations ne peuvent servir à représenter les intensités du courant, lesquelles ne sont pas proportionnelles à l'étendue des surfaces immergées : ainsi, la méthode de M. Marianini ne peut servir tout au plus qu'à donner des différences entre les pouvoirs conducteurs des liquides.

387. Il n'existe jusqu'ici qu'un seul moyen de déterminer avec une certaine exactitude le pouvoir conducteur de chaque liquide, ce serait d'opérer avec le multiplicateur à deux fils, et de se servir de lames de platine ou d'un autre métal non oxidable plongeant également dans les dissolutions. Soient A et B deux vases renfermant l'un de l'eau distillée, et l'autre une dissolution dont on veut comparer le pouvoir conducteur à celui de l'eau : on plonge dans chaque liquide deux lames de platine en communication d'une part avec la pile, de l'autre avec le multiplicateur. Ces communications étant établies de manière à avoir deux courants dirigés en sens inverse, les déviations rapportées à la table des intensités donneront réellement la différence entre les deux courants.

388. Quoi qu'il en soit de ces observations, et faute de mieux, nous rapportons ici les résultats de M. Marianini.

Le pouvoir conducteur croît comme les quantités de sel dissoutes, mais plus lentement quand on approche

du terme de saturation. Ces accroissements ne prés tent pas des rapports simples avec les conductibilités dissolutions; car les pouvoirs conducteurs du sulfate magnésie, dissous dans 100 ou dans 1000 parties d'e sont entre eux :: 24 : 13.

Rapports des conductibilités de différentes dissoluti à celle de l'eau prise pour unité.

(La conductibilité de l'eau de mer est 100.)

Substances dissoutes dans 100 parties d'eau.	
Hydro-cyanate de soude	10,96
Acide hydro-cyanique	18,27
Ammoniaque liquide	26,45
Soude	32,06
Phosphate de potasse	44,74
Surborate de soude	43,31
Phosphate de soude	46,00
Tartrate de potasse et d'antimoine	50,07
Sulfate de zinc	51,64
Chlorate de baryte	53,23
Potasse	55,68
Proto-hydrochlorate de fer	56,53
Nitrate de chaux	57,00
Acétate de potasse	59,02
Nitrate de baryte	60,00
Proto-sulfate de fer	62,26
Tartrate acide de potasse	62,04
Sulfate de magnésie	62,64
Acétate de soude	64,09
Carbonate de potasse neutre	66,07
Chlorate de potasse neutre	68,09
Carbonate de soude	69,02
Acide benzoïque	70,67
Mélanate d'ammoniaque	71,15
Sulfate de soude	74,02
Benzoate de potasse	76,56

Nitrate de potasse	78,03
Sulfate de potasse	80,00
Hydro-chlorate de soude	84,79
Sulfate acide d'alumine et de potasse	85,00
Acide citrique	85,71
Acide acétique	87,00
Tartrate de potasse	92,00
Acide tartrique	98,66
Hydro-chlorate de chaux	110,00
Acide phosphorique contenant un peu d'acide phosphoreux	127,00
Hydro-chlorate d'ammoniaque ferrugineux	136,00
Oxalate de potasse	149,00
Hydro-chlorate d'ammoniaque	150,00
Acétate de cuivre	154,00
Acide hydro-chlorique	164,00
Acide oxalique	179,00
Acide sulfurique	239,00
Deuto-sulfate de cuivre	258,00
Proto-nitrate de cuivre	278,00
Nitrate d'argent	298,00
Hydro-chlorate d'or	307,00
Acide nitrique	358,00
Hydro-chlorate de platine	418,00

Nous voyons que les solutions acides sont celles qui ont le plus grand pouvoir conducteur, tandis que les solutions alcalines et de sels neutres sont celles dont le pouvoir conducteur est le moins fort.

Le pouvoir conducteur des liquides est tellement lié avec sa faculté décomposante, qu'on ne peut guère les séparer l'un de l'autre. Nous aurons plusieurs fois l'occasion de revenir sur cette importante question.

[illegible] trop considérables. Nous le répétons encore, il en sera toujours ainsi, quand on n'opérera pas avec de l'électricité provenant de la même source.

§ II. *Du pouvoir conducteur des liquides pour l'électricité.*

386. Pour peu que l'on ait expérimenté avec le multiplicateur, on ne tarde pas à s'apercevoir que tous les liquides n'ont pas le même pouvoir conducteur pour l'électricité voltaïque. Les huiles, et en général les corps oléagineux, sont privés de tout pouvoir conducteur, tandis que les acides le possèdent à un haut degré, et à un degré moindre cependant que les métaux.

Nous devons à M. Marianini une suite de [illegible] pour la détermination du pouvoir conducteur [illegible] tenant en dissolution des acides, des alcalis ou [illegible] comparé à celui de l'eau distillée à la température [illegible] trois degrés (Reaumur); quoique sa méthode [illegible] beaucoup à désirer et ne donne que des différences [illegible] la conductibilité, nous allons cependant la [illegible] maître, parce que nous n'avons rien de mieux à [illegible] poser. Lorsque l'on plonge dans l'eau de mer [illegible] voltaïque ordinaire en communication avec un [illegible] plicateur, au moyen de deux fils de métal, et [illegible] l'eau distillée un couple semblable, mais d'une [illegible] tous moindre, on obtient des déviations plus grandes dans le premier cas que dans le [illegible] et que les déviations sont [illegible] des liquides et des [illegible] pouvoir conducteur de l'[illegible] eau distillée sera [illegible] même que celui qui a [illegible] M. Marianini a employé [illegible] même surface. [illegible]

loit [redacted]
rs on ne [redacted] 78,03
r de deux [redacted] 80,00
ige deux [redacted] potasse.. 84,79
iplicatem: [redacted] 85,00
t sur les [redacted] 85,71
t que [redacted] 87,00
deux cas des [redacted] 92,00
eulemen: [redacted] 98,66
uides, mais [redacted] 110,00
nique. bien [redacted] 127,00
el a lieu la [redacted] 136,00
cations en [redacted] 149,00
t: de plus [redacted] 150,00
ter les [redacted] 154,00
as proporti[redacted] 164,00
rgées : a[redacted] 179,00
vir tou[redacted] 239,00
uvoirs [redacted] 258,00
existe [redacted] de cuivre 278,00
ne cerc[redacted] de cuivre 298,00
uic[redacted] 307,00
[redacted] d'or 358,00
[redacted] de platine 418,00

[redacted] les solutions acides sont celles qui [redacted] conducteur, tandis que les [redacted] sont celles dont le [redacted] fort.

[redacted] les est tellement lié [redacted] ne peut guère les [redacted] plusieurs fois l'oc[redacted] [redacted] question.

La liquéfaction confère donc en général un pouvoir conducteur électrique très-grand à la plupart des substances non métalliques. L'eau paraît être, de tous les corps soumis jusqu'ici à l'expérience, celui dont le pouvoir acquis est le plus faible.

M. Faraday a reconnu que le pouvoir de l'eau est une centaine de fois moins fort que celui des différents oxides, et des chlorures à l'état liquide. Tout porte à croire que l'accroissement de pouvoir conducteur que reçoit l'eau, quand on y ajoute quelques petites quantités de sel, dépend du pouvoir conducteur de ces corps à l'état liquide.

394. Cette propriété des corps d'acquérir le pouvoir conducteur et d'être décomposés quand ils passent de l'état solide à l'état liquide, paraît se rattacher à certaines propriétés de la matière : ce rapprochement n'a pas échappé à la sagacité de M. Faraday, qui s'exprime ainsi à cet égard : « C'est une belle et importante question de savoir si la conduction elle-même ne serait pas « une conséquence non de la capacité de décomposition « seulement, mais de l'acte même de la décomposition. « Cette question peut être suivie d'une autre, savoir : Ne « serait-ce pas en enchaînant les particules à leurs places « sous l'influence de l'agrégation, et en prévenant leur « séparation définitive selon la manière nécessaire pour « que la décomposition s'opère, que la solidification « s'oppose à la conduction ? »

395. Bien que lorsque la conductibilité se montre, la décomposition la suit ordinairement, cette règle n'est cependant pas générale, car il existe un corps qui devient conducteur par la liquéfaction, et cependant n'est pas décomposé ; ce corps est le periodure de mercure. Nous ferons remarquer aussi qu'il existe une dépendance mutuelle entre le pouvoir conducteur des corps pour l'électricité et celui pour la chaleur, attendu que dès l'instant qu'un corps devient liquide, il perd en grande partie le pouvoir de conduire la chaleur, tandis qu'il

acquiert à un haut degré celui de conduire l'électricité: l'inverse a lieu à l'état solide.

396. Les observations précédentes permettent de soumettre à l'action décomposante de la pile un grand nombre de corps sur lesquels on n'avait pu jusqu'ici faire agir l'électricité voltaïque. Nous citerons particulièrement les oxides, les chlorures, les cyanures, les sulfo-cyanures, les fluorures et certains composés vitreux. M. Faraday, en soumettant à l'action d'une pile de 10 paires de disques le sel marin, le chlorure de magnésium, le borax, a obtenu le sodium, le magnésium et le bore. Nous reviendrons plus loin sur cette décomposition.

397. Dans les expériences précédentes il n'a été question que des effets produits par l'électricité à petite tension, telle que l'électricité voltaïque; mais M. Faraday a voulu aussi comparer ensemble les pouvoirs conducteurs de l'eau et de sels à l'état solide et à l'état liquide pour de l'électricité à de haute tension. Il s'est servi d'une grande machine électrique, dont le conducteur communiquait à un électroscope à feuilles d'or très-sensible, par l'intermédiaire d'un fil de platine renfermé dans de la glace, tandis que le vase d'étain dont on a déja parlé était uni à un long conducteur métallique se rendant dans la terre : en tournant la machine modérément, les feuilles d'or s'écartèrent un peu; en la tournant rapidement, l'écart fut de deux pouces. Ainsi la glace, qui ne peut conduire aucune portion sensible de l'électricité de la pile, qui surpasse en quantité celle de la machine, laisse passer facilement l'électricité à haute tension.

L'iodure de potassium fondu ayant été introduit ensuite sur le trajet de l'électricité de la machine, quelques tours ont suffi pour écarter les feuilles d'or d'environ $\frac{2}{3}$ de pouce. Ce sel est donc bien meilleur conducteur que la glace.

398. Nous savons que la chaleur diminue le pouvoir conducteur des métaux pour l'électricité à haute tension, et qu'elle augmente celui de plusieurs substances non métalliques. M. Faraday a trouvé que le sulfure d'argent

jouit de cette propriété, que son pouvoir conducteur pour l'électricité à petite tension ou l'électricité voltaïque augmente avec la chaleur.

Lorsqu'un morceau de sulfure d'argent, d'environ un $\frac{1}{2}$ pouce d'épaisseur, est placé entre deux plaques de platine qui terminent les pôles d'une batterie voltaïque de 20 paires de plaques et qu'un multiplicateur se trouve dans le circuit, l'aiguille est légèrement déviée, ce qui annonce déja un faible pouvoir conducteur; mais si l'on élève la température, ce pouvoir augmente jusqu'à un certain degré, l'aiguille se place dans une position fixe, et l'on trouve alors que le sulfure est conducteur comme un métal, puisqu'il peut donner une brillante étincelle avec du charbon.

Le sulfure d'argent naturel ainsi que l'argent rouge présentent le même phénomène. Jusqu'ici le sulfure d'argent est le seul corps que l'on puisse comparer aux métaux relativement au pouvoir conducteur pour l'électricité à faible tension, quand il est chaud.

Quant aux autres sulfures métalliques, tels que le proto-sulfure de fer, le persulfure de fer natif, le sulfure de fer arsenical, le sulfure jaune natif de cuivre et de fer, le sulfure de fer gris artificiel, le sulfure artificiel de bismuth et celui d'étain, ils conduisent tous plus ou moins à froid le courant voltaïque; mais leur pouvoir conducteur ne paraît pas changer quand ils sont chauds.

399. Bien qu'il y ait une extrême dissemblance entre sulfure d'argent et les gaz ou vapeurs, M. Faraday soupçonne que l'action de la chaleur sur ces corps est du même genre. Effectivement, quand les gaz sont chauffés leur pouvoir conducteur augmente pour les deux électricités de l'appareil voltaïque, et il est probable que on les pressait pour les condenser, on augmenterait encore leur pouvoir conducteur. Il semblerait résulter là que tous les corps conduisent l'électricité de la même manière, les métaux comme l'eau et les gaz, mais à degrés très-différents. Le pouvoir conducteur est, e

quelques corps, puissamment augmenté par la chaleur, et diminué dans d'autres, sans qu'on puisse savoir d'où provient cette différence.

§ IV. *Du pouvoir conducteur différent de certains corps pour chacun des deux fluides électriques.*

400. Toutes les expériences qui ont été faites jusqu'ici sur l'électricité tendent à prouver que les phénomènes sont dus à l'existence de deux agents impondérables ou fluides, doués de propriétés contraires. Pour soutenir cette doctrine, on a dû rechercher toutes les circonstances où chacun de ces fluides ne possède pas le même mode d'action et surtout la faculté de parcourir également bien le même corps conducteur.

M. Porret (1) a fait une expérience de ce genre qui est très-curieuse. Ayant pris une petite fiole à médecine, il la coupa en deux dans le sens horizontal, à l'aide d'un fer rouge; la partie inférieure fut partagée dans le sens de sa hauteur en deux parties, et les deux moitiés réunies l'une contre l'autre avec de la cire à cacheter, après avoir placé entre elles une portion de vessie mouillée; de l'eau fut mise ensuite dans chaque cellule. Il plongea dans chacune d'elles une lame de platine en communication avec l'un des pôles d'une batterie de 80 paires; l'eau fut décomposée comme à l'ordinaire, mais la plus grande partie du liquide de la cellule positive fut transportée dans l'autre, comme si elle obéissait à l'impulsion d'un courant du fil positif au fil négatif.

Cette expérience, qui ne réussit qu'autant que l'eau employée est peu conductrice de l'électricité, montre que le fluide positif traverse plus facilement l'obstacle qu'on oppose à sa transmission, que le fluide négatif.

400. L'expérience suivante vient encore à l'appui de la

(1) Annales of Philosophy, juillet 1816.

différence d'action que nous venons de reconnaître dans chacun des deux fluides. On prend deux tubes A et B (fig. 69) que l'on remplit, dans la partie inférieure, d'argile très-fine suffisamment humectée, afin de pouvoir sortir par de petites ouvertures pratiquées dans des bouchons de liége qui ferment les bouts inférieurs, pour peu qu'on les agite.

Ces tubes sont placés verticalement sur les parois d'un vase de verre vv', rempli d'eau ordinaire comme les tubes; puis l'on plonge dans chacun d'eux une lame de platine en communication avec l'une des extrémités de la pile : on ne tarde pas à voir l'argile sortir par les trous du bouchon du tube positif, tandis que dans l'autre tube rien de semblable n'a lieu. Il faut donc que l'électricité positive exerce sur la matière une force de répulsion plus grande que l'électricité négative, puisqu'elle chasse devant elle les obstacles qu'elle rencontre, ce que ne fait pas l'autre électricité. Cet effet n'a lieu, comme dans l'expérience précédente, que lorsque l'eau est peu conductrice.

401. M. Erman a montré aussi l'inégale conductibilité de certains corps pour les deux électricités; en atténuant de plus en plus leur force répulsive, il a trouvé un terme où le corps devient isolant pour l'une des deux, et conducteur pour l'autre. Ayant isolé un appareil voltaïque, monté avec une dissolution de sel marin, il fit communiquer chacun de ses pôles avec un électroscope à feuilles d'or très-sensible, également isolé. Bientôt après chaque électroscope manifesta le degré de divergence qui convenait à la force de la pile.

Ayant pris ensuite un prisme de savon alcalin bien sec, il inséra dans un de ses bouts un fil de métal en communication avec le sol; en touchant l'un des électroscopes avec l'autre bout, la divergence y devint nulle, tandis qu'elle augmenta dans l'autre électroscope; dans ce cas, le savon se comporta comme corps conducteur par rapport à l'une et à l'autre électricité.

Il fit ensuite communiquer les deux pôles avec le sa-

von au moyen de deux fils de métal, la divergence des deux électroscopes ne fut pas modifiée ; ainsi le savon se comportait ici comme corps non conducteur. Mais en touchant le savon avec un fil de métal en communication avec le sol, le pôle négatif fut déchargé et le pôle positif acquit un excès de force. Le savon ne laissa donc passer que l'électricité négative.

La flamme de l'alcool a présenté des effets semblables, avec cette différence cependant que la disposition conductrice était en faveur de l'électricité positive. Nous devons faire remarquer que la propriété dont il s'agit ne se manifeste qu'autant que la pile a peu d'énergie, car elle est insensible pour des électricités intenses.

M. Biot a trouvé que l'éther sulfurique se comporte comme le savon et la flamme d'alcool. Si l'on place, dans le circuit, un appareil pour la décomposition de l'eau, il n'y a aucun dégagement de gaz, et l'on reconnaît que les deux pôles sont complétement isolés ; mais si l'on touche l'éther avec un fil métallique que l'on tient à la main, on trouve, en appliquant un condensateur à l'un quelconque des pôles de la pile, que ce condensateur se charge complétement comme si l'éther était devenu tout-à-coup conducteur de l'espèce d'électricité qui appartient au pôle où le conducteur est appliqué.

402. M. Erman a publié encore une expérience sur le même sujet, que nous ne devons pas oublier de mentionner, afin d'indiquer de nouveau avec quelle réserve on doit se prononcer sur la cause des phénomènes électriques avant de les avoir bien approfondis.

On place sur un électroscope une lampe aphlogistique de M. Davy, dont le fil de platine est tenu en incandescence tant qu'il se dégage de la vapeur d'alcool de la lampe. On présente au-dessus de la spirale le pôle négatif d'une pile sèche, les deux feuilles d'or divergent aussitôt ; on présente ensuite de la même manière le pôle positif, et il n'y a aucune divergence : ainsi le fil de platine incandescent n'a donné passage en apparence qu'à l'électricité négative. Le contraire a eu lieu,

quand l'électricité a passé d'un fil incandescent dans un autre qui ne l'est pas. M. Erman en a conclu une réciprocité d'action isolante et conductrice du fil incandescent pour chaque fluide. Nous ne croyons pas cette conclusion exacte; en effet, quand on présente successivement à un fil de platine, dont la température a été portée préalablement au rouge par tout autre procédé, les deux pôles d'une pile sèche, ce fil conduit également bien chacune des deux électricités. En outre, d'après les connaissances que nous avons acquises sur les effets électriques qui se produisent dans la combustion des gaz et dans l'élévation de température, la partie de l'air qui environne le fil incandescent de la lampe aphlogistique doit se trouver dans un état positif, et le fil qui est au milieu de la vapeur alcoolique dans un état négatif; de plus, la partie du fil qui est en incandescence doit céder facilement l'électricité positive aux corps adjacents. Cela posé, quand on présente à ce fil le pôle négatif d'une pile sèche, il y a deux motifs pour que l'électricité négative qui en émane neutralise et l'électricité positive de l'air environnant, et celle qui est chassée du fil incandescent. L'électricité négative du fil devenant alors libre, manifeste son action sur l'électroscope. En répétant l'expérience d'une manière inverse, c'est-à-dire en faisant sortir successivement chacune des deux électricités par le fil incandescent, comme celui-ci tend à être négatif, il neutralise l'électricité positive qui arrive, et rend libre celle de l'air ambiant et du bout incandescent : dès lors il se comporte comme s'il livrait passage à l'électricité positive. Il n'est donc pas nécessaire, pour expliquer le phénomène, d'avoir recours à une réciprocité d'action isolante et conductrice dans le fil incandescent, comme l'a fait M. Erman.

403. Un autre phénomène, qui a été étudié par M. Tremery, semble encore prouver que l'une et l'autre électricité ont un pouvoir coercitif inégal. On met en contact une carte à jouer, par ses deux surfaces, avec deux pointes métalliques dirigées parallèlement l'une à l'autre,

comme l'indique la fig. 70. L'une de ces pointes communique avec la surface extérieure d'une forte bouteille de Leyde que l'on tient à la main, et l'on touche l'autre pointe avec le crochet. La décharge s'opère d'une pointe à l'autre en traversant la carte, mais l'on observe que l'endroit où elle est percée est situé vis-à-vis de la pointe négative. En faisant l'expérience dans l'obscurité, on voit l'étincelle passer seulement sur la surface qui est en contact avec le conducteur positif, tandis que l'autre surface reste obscure. Pour rendre permanentes les traces de l'électricité, il suffit de peindre les deux côtés de la carte avec du vermillon; on trouve alors que la face positive est seule altérée.

Ce phénomène s'explique facilement en admettant que l'air offre moins d'obstacles à l'électricité positive qu'à l'électricité négative. Si cette hypothèse est fondée, il faut qu'en affaiblissant l'influence de la force coercitive et diminuant la densité de l'air interposé on obtienne des effets résultant de cette diminution. Or, M. Tremery, en faisant l'expérience sous le récipient de la machine pneumatique, a trouvé que le trou ou l'endroit percé se rapproche du milieu de l'intervalle des deux pointes à mesure que l'on raréfie l'air. Quand le vide est aussi parfait que possible, le trou est situé au milieu.

404. Nous avons vu précédemment que lorsque des conducteurs positifs et négatifs d'une machine électrique sont armés de pointes métalliques, si l'on fait fonctionner cette machine dans l'obscurité, on observe à l'extrémité de la pointe positive une gerbe de feu accompagnée d'un bruissement très-sensible, tandis qu'à l'autre pointe on ne voit qu'un point lumineux sans production de bruissement. Ces effets peuvent s'expliquer jusqu'à un certain point au moyen des propriétés que nous venons de reconnaître dans chacun des deux fluides; en effet, l'air étant traversé plus facilement par l'électricité positive que par l'électricité négative, la pointe chargée de la première électricité la dissipera en

la lançant autour d'elle; quant à la pointe chargée d'électricité négative, la décharge s'opérera par le contact successif des particules de l'air qui viendront successivement toucher la pointe. La lumière ne sera donc visible qu'au sommet même.

405. Puisque nous en sommes aux propriétés différentes dont jouit chacun des deux fluides, nous devons rappeler ici l'observation intéressante déja mentionnée de M. Delarive, relative à la faculté de l'électricité positive à petite tension de passer plus facilement du platine au zinc dans un couple voltaïque que du zinc au platine, tandis que pour l'électricité négative c'est l'inverse.

CHAPITRE II.

DES PROPRIÉTÉS DONT JOUISSENT LES LAMES OU FILS DE MÉTAL QUI ONT SERVI A OPÉRER DES DÉCOMPOSITIONS ÉLECTRO-CHIMIQUES.

§ Ier. *Les fils ou lames de métal qui ont servi à des décompositions électro-chimiques possèdent des facultés électriques.*

406. Désirant donner d'abord tout ce qui est relatif aux conducteurs qui transmettent les courants, nous allons exposer les propriétés électriques qu'acquièrent ces mêmes conducteurs, quand ils ont servi à opérer des décompositions électro-chimiques.

Lorsque deux fils de platine, en communication avec les deux pôles d'une pile, plongent dans une dissolution saline, si au bout de quelques instants on interrompt cette communication en détachant ces fils des extrémités de la pile, et qu'on mette en rapport leurs bouts libres avec le fil d'un multiplicateur, on a un courant dirigé en sens inverse du premier; c'est-à-dire que dans le même liquide, le fil qui avait servi de pôle positif et autour duquel se dégageait l'oxigène, devient le pôle négatif d'un nouvel appareil électrique, qui consiste seulement en deux fils de platine réunis par un de leurs bouts au moyen du fil du multiplicateur, et une dissolution saline dans laquelle plongent les deux autres bouts.

Ce courant secondaire n'est point instantané : sa

durée dépend en partie de l'énergie avec laquelle l'action chimique a eu lieu, c'est-à-dire de la force de la pile.

On l'observe encore avec un seul couple voltaïque, quand le multiplicateur est très-sensible. On prend, à cet effet, deux capsules remplies d'une solution de sel marin, et dans chacune desquelles plonge une lame de platine en communication avec l'un des bouts du fil du multiplicateur; puis l'on met dans chaque capsule l'une des extrémités d'un couple cuivre et zinc; on a alors un courant qui va du zinc au cuivre en suivant le fil. Si l'on enlève le couple et que l'on établisse la communication entre les deux liquides avec une mèche de coton, on a un courant dirigé en sens inverse. Un fil de platine, qui plonge dans une solution soumise à l'action d'une pile et dans le sens du courant, acquiert sur-le-champ la polarité électrique.

Les propriétés que nous venons de reconnaître dans les fils de métal qui ont servi à opérer des décompositions n'appartiennent seulement qu'aux parties qui ont été immergées; car si l'on coupe ces parties et que l'on prenne toutes les précautions possibles pour que celles qui sont au-dessus soient dépourvues des corpuscules étrangers qui adhèrent ordinairement aux surfaces des corps, il n'y aura plus de courant secondaire, quand on plongera dans la dissolution la partie non immergée des fils.

L'intensité du courant secondaire varie en raison du temps pendant lequel les deux fils restent soumis à l'action de la pile, et de la nature des conducteurs qui complètent le circuit. M. Delarive, qui a fait quelques expériences à ce sujet, a obtenu les résultats suivants :

Temps pendant lequel les fils ont fait partie du circuit voltaïque.	Déviation.
1 — minute.	60°.
2 —	65°.
3 —	70°.
4 —	75° à 80°.
5 —	85°.

Ces résultats nous montrent simplement que la faculté qu'acquièrent les lames de platine croît avec le temps pendant lequel elles font partie du circuit voltaïque.

407. L'explication de tous ces phénomènes est facile; prenons deux lames de platine, dont les surfaces soient parfaitement nettes, de telle sorte qu'en les plongeant dans une solution saline neutre, et les mettant en rapport avec un multiplicateur, il n'y ait pas de courant; retirons les lames et mettons-les en contact: l'une, avec la même solution, renfermant un millième de son poids d'acide nitrique, l'autre, avec la même solution, contenant un millième de son poids de potasse caustique; puis replongeons-les de nouveau dans la solution neutre, on aura alors un courant qui ira de la seconde à la première, en suivant le liquide, comme s'il y avait réaction de l'acide sur l'alcali. Cet effet est encore sensible en diminuant encore les quantités d'acide et d'alcali dans la solution saline. Or, quand deux lames de platine font partie d'un circuit voltaïque, dans lequel se trouve une solution saline, qu'arrive-t-il? La surface de la lame positive se recouvre de parties acides et celle de la lame négative de parties alcalines; les deux lames se trouvent donc dans le même état que celles avec lesquelles nous avons expérimenté précédemment; et comme l'effet électrique est le même, nous devons en conclure que la cause est semblable. Ainsi il est inutile d'avoir recours à de nouvelles propriétés du principe électrique pour expliquer des phénomènes très-simples en eux-mêmes.

Des conducteurs tout métalliques traversés par des courants les plus énergiques possibles ne donnent jamais lieu à des courants secondaires, lorsqu'on rompt le circuit pour y introduire un liquide. L'effet n'a donc lieu qu'autant que le circuit renferme un conducteur imparfait capable d'être décomposé. Cette circonstance prouve que l'action chimique joue le principal rôle dans la production du courant secondaire. Nous reviendrons plus loin sur ce phénomène, que nous avons voulu d'abord faire connaître, pour que l'observateur puisse se mettre

en garde contre ses effets, qui luttent sans cesse contre les courants électro-chimiques.

408. Le principe que nous venons de faire connaître nous met à même d'expliquer le mode de formation de piles particulières, découvertes par Ritter, auxquelles on a donné le nom de *piles secondaires*. Pour former une de ces piles, on prend des disques de cuivre et de carton humide, que l'on superpose les uns au-dessus des autres; un disque de cuivre, un disque de carton humide, un disque de cuivre, etc. Cette colonne est incapable par elle-même de se charger, si les surfaces des lames de cuivre sont parfaitement homogènes; mais si l'on met en communication pendant quelques instants ses deux extrémités avec les deux pôles d'une pile, elle prend une charge qu'elle conserve pendant assez de temps et qui est telle qu'il y a inversion dans les pôles, c'est-à-dire que le pôle positif de l'une correspond au pôle négatif de l'autre. Avec la pile secondaire on reproduit, quoiqu'à un moindre degré, tous les effets physiologiques et chimiques de la pile voltaïque.

Ritter, en variant la marche et l'ordre des disques, a reconnu, 1° que l'arrangement dans lequel se trouve le moins d'alternatives, est celui qui est le plus favorable à la circulation du fluide électrique ; si l'on construit, par exemple, une pile avec 64 disques de cuivre et 64 disques de carton mouillés, disposés de manière que les derniers réunis en masse se trouvent entre 32 disques de cuivre, la colonne conduit très-bien l'électricité voltaïque, mais ne prend pas de charge sensible; 2° que le pouvoir conducteur diminue successivement, si l'on intercale un disque, deux disques de cuivre, etc., entre les disques de carton, et que l'on arrive ainsi à un système dans lequel la conductibilité est à peine sensible; 3° qu'avec un très-petit nombre d'alternatives, pour la même charge primitive, le courant passe facilement, mais les effets chimiques et physiologiques sont nuls; 4° qu'il est nécessaire de multiplier suffisamment les alternatives pour produire ces effets, dont l'intensité

augmente jusqu'à une certaine limite d'alternatives; passé ce terme, la charge électrique se soutient, mais les phénomènes chimiques et physiologiques s'affaiblissent ; les premiers d'abord.

Dans la pile de Volta, la quantité d'électricité libre croît avec le nombre des couples et balance la résistance des alternatives; tandis que dans l'autre, cette résistance est employée tout entière à modifier l'écoulement d'une même quantité d'électricité.

Voilà les faits : voyons l'explication.

Les disques de cuivre de la colonne de Ritter soumise à l'action d'une pile voltaïque, se trouvent dans le même cas, par rapport aux disques de carton mouillé, que le fil de platine qui est plongé dans une solution saline électrisée, par rapport à cette solution ; dès lors les deux faces de chaque disque de cuivre doivent acquérir une polarité électrique contraire, par suite du transport des éléments acide et alcalin sur chacune d'elles, lesquels éléments transforment le disque en un véritable couple voltaïque; et comme tous les disques de cuivre se trouvent dans le même cas, il s'ensuit que la pile secondaire est une véritable pile voltaïque dont les deux éléments, au lieu d'être métalliques, sont, l'un acide, l'autre alcalin. Cette pile, conformément au principe que nous avons indiqué, doit avoir ses pôles dans un sens différent de celle qui a servi à la charger.

§ II. *Sur le pouvoir des métaux et d'autres corps solides pour opérer la combinaison des substances gazeuses.*

409. Les conducteurs métalliques qui ont servi à des décompositions électro-chimiques ne jouissent pas seulement des propriétés électriques que nous venons de décrire, ils possèdent encore la faculté d'opérer la combinaison des substances gazeuses ; mais pour développer convenablement tous les phénomènes qui en dépendent, nous devons remonter à la découverte de Dobereiner.

Cet habile physicien a observé le premier que le platine en éponge détermine, à la température ordinaire, la combinaison de l'hydrogène avec l'oxigène, et que le développement de chaleur qui en résulte suffit pour rendre le métal incandescent. Pour obtenir cet effet, on présente l'éponge à quelques lignes de distance de l'ouverture par laquelle sort un courant d'hydrogène, là où l'hydrogène est intimement mêlé avec l'air. MM. Dulong et Thénard, qui ont étudié toutes les circonstances de ce phénomène avec le plus grand soin, ont observé les faits suivants : 1° si l'on plonge un morceau d'éponge de platine dans un mélange d'oxigène et d'hydrogène, dans les proportions voulues pour former de l'eau, il y a détonation; si les proportions du mélange s'éloignent beaucoup de celles de l'eau, la combinaison s'effectue lentement; 2° l'éponge fortement calcinée perd la propriété de devenir incandescente, mais conserve celle d'opérer lentement la combinaison des deux gaz; 3° lorsque le platine est réduit en feuilles aussi minces que le comporte la malléabilité du métal, l'action a lieu et avec d'autant plus de force que la lame est plus mince; une feuille de platine très-mince, enroulée sur un cylindre de verre, ne produit aucun effet, tandis que la même feuille détermine la détonation, quand elle est chiffonnée comme une bourre de fusil; 4° la poussière et les feuilles inactives agissent lentement, quand on porte leur température à 2 ou 300 degrés; 5° d'autres métaux jouissent de la même propriété que le platine, en particulier ceux qui se trouvent combinés avec lui; l'or et l'argent en feuilles minces n'agissent qu'à des températures élevées, mais inférieures à celles du mercure; l'argent moins énergiquement que l'or; 6° sous l'influence de l'éponge de platine, l'oxyde de carbone et l'oxigène se combinent, le gaz nitreux est décomposé par l'hydrogène à la température ordinaire; le gaz oléfiant, quand il est mêlé d'une quantité convenable d'oxigène, se transforme complétement en eau et en acide carbonique à une température de plus de 300 degrés; 7° les métaux ne sont pas les seuls corps

qui jouissent de la propriété en question; le charbon, la pierre ponce, la porcelaine, le verre, le cristal de roche, à des températures moindres que 350 degrés, se comportent comme l'éponge de platine; 8° la configuration des corps influe tellement sur les résultats, que l'on trouve une différence très-notable entre les quantités d'eau formées dans le même temps, avec des fragments de verre, selon qu'ils sont anguleux ou arrondis; 9° les liquides ne paraissent pas partager cette propriété. Le mercure en ébullition ne produit même aucun effet mesurable dans l'espace de 6 heures; 10° des fils de platine neufs, de $\frac{1}{20}$ de millimètre de diamètre, ne s'échauffent pas à la température de l'atmosphère, mais ils jouissent de cette propriété, quand on porte leur température à 300 degrés. En faisant agir le même fil, à plusieurs reprises, il devient actif à 50 ou 60 degrés; 11° le même fil, plongé pendant quelques instants à froid ou à chaud dans de l'acide nitrique, puis lavé et chauffé, agit à la température ordinaire. Les acides sulfurique et hydrochlorique produisent le même effet, mais à un degré moins marqué, surtout le dernier. Cette propriété se conserve quelques heures à l'air libre, et pendant plus de vingt-quatre heures dans des vases fermés. Un courant d'air atmosphérique d'oxigène, d'hydrogène ou d'acide carbonique sec, la détruit dans le même espace de temps; 12° les alcalis n'enlèvent pas au fil la propriété qui lui a été communiquée par l'acide nitrique; 13° de la limaille de platine, nouvellement faite, agit pendant une heure ou deux d'une manière décroissante, mais il suffit pour lui rendre sa faculté de la chauffer au rouge ou de la mettre en contact avec l'acide nitrique.

410. Jusque-là, les physiciens n'avaient pas cherché à rendre actives les lames de platine qui avaient cessé d'agir sur le mélange détonnant, en les soumettant à des influences électriques; M. Faraday (1) a fait, à ce sujet,

(1) Transact. phil., 1824, p. 55.

une série d'expériences que nous allons rapporter et dont les résultats jettent un grand jour sur les observations intéressantes de MM. Dulong et Thénard. Il a été conduit à faire ces expériences en cherchant à expliquer pourquoi les gaz qui résultent de la décomposition de l'eau, disparaissent peu à peu dans les tubes où on les recueillait. Voici comment on observe ce phénomène :

On fixe deux lames de platine à l'extrémité supérieure d'un tube de verre, que l'on ferme ensuite hermétiquement à cette extrémité, comme l'indique la fig. 69. Ce tube, qui a environ 12 pouces de lougueur et trois quarts de pouce de diamètre, est rempli d'une solution étendue d'acide sulfurique et renversé dans une coupe contenant la même solution. L'appareil est mis en communication avec une pile voltaïque pendant un temps nécessaire pour que les $\frac{4}{5}$ du tube soient remplis d'oxigène et d'hydrogène; supposons qu'il s'en trouve 46 parties, on interrompt alors l'action de la pile; le volume des gaz commence aussitôt à diminuer, et quelques heures après il ne reste plus que 13 parties et demie, qui finissent par disparaître. M. Faraday s'étant assuré que ces effets ne pouvaient provenir de quelque fuite, fut forcé de les attribuer à l'action de l'une ou des deux lames de platine sur les gaz qui les environnaient. Pour savoir laquelle des deux lames agit dans cette circonstance, on les retire et on les introduit chacune dans des tubes séparés contenant un mélange d'oxigène et d'hydrogène; on trouve alors que le pôle positif est celui qui agit le plus efficacement pour effectuer la combinaison des deux gaz.

Pour trouver d'où peut dépendre cet effet, on prend plusieurs plaques de platine (fig. 70) assez minces, de deux pouces et demi de longueur et de demi-pouce de largeur, fixées à l'extrémité de fils de platine, d'environ 7 pouces de long, et des tubes de verre de 9 ou 10 pouces de longueur, gradués et fermés hermétiquement à une de leurs extrémités. On fait passer dans ces tubes remplis d'eau un mélange de deux volumes d'hydrogène et d'un volume d'oxigène, puis l'on introduit dedans,

après avoir été lavées, les plaques, qui ont été mises en communication avec le pôle positif ou négatif de la pile, par l'intermédiaire d'un liquide.

En soumettant à l'expérience la lame positive, M. Faraday a trouvé que le volume du gaz a commencé aussitôt à diminuer; l'extrémité supérieure est devenue tout-à-fait chaude, sa température s'est élevée suffisamment pour faire entrer l'eau en ébullition. Cette action de la lame positive est plus efficace sur le mélange détonnant que sur tout autre.

Un mélange d'un volume de gaz nitreux et d'un volume d'hydrogène, soumis au même mode d'expérimentation, n'éprouve pas de changement sensible au bout d'une heure, mais 36 heures après il y a une diminution d'environ $\frac{1}{8}$ de volume.

Un mélange de deux volumes d'oxide nitreux et d'un volume d'hydrogène éprouve, au bout de 36 heures, une diminution d'un quart.

Le pouvoir des plaques positives, quoique diminuant graduellement, peut être conservé pendant un temps dont la durée dépend de certaines circonstances. En ajoutant dans les tubes où se trouvent les plaques une nouvelle portion de mélange détonnant, on trouve que leur action continue pendant plus de 30 heures; conservées dans des vases fermés, elles manifestent encore leur action 8 jours après, tandis que celles qui restent exposées à l'air libre la perdent en 12 heures. Une des plaques a conservé sa faculté pendant 40 heures, après être restée pendant 48 heures dans la solution d'acide sulfurique ou une solution de potasse caustique. Les mêmes plaques qui avaient été laissées pendant le même temps dans de l'eau distillée, n'exerçaient qu'une action très-faible, tandis qu'elles conservaient toutes leurs facultés lorsque l'eau avait été distillée deux fois.

M. Faraday a reconnu que plus les plaques étaient soumises à l'action des gaz, plus elles retenaient longtemps le pouvoir d'opérer la combinaison.

Une plaque qui avait cessé de fonctionner avec la

pile, et qui était très-active après avoir été lavée, fut maintenue pendant 12 ou 15 minutes dans de l'eau distillée; son action fut alors si vive, qu'elle détermina l'explosion du mélange détonnant : dans ce cas, l'eau s'était emparée de l'acide qui adhérait à la plaque. Des lames conservent leur propriété après avoir été lavées et essuyées avec du linge ou du papier à filtrer; il en est encore de même quand on les expose à une température rouge, à la flamme d'une lampe à alcool; mais elles deviennent moins actives quand la flamme contient un peu d'acide, ou que la mèche renferme des sels ou d'autres matières étrangères.

La solution d'acide sulfurique n'est pas la seule qui communique à la lame positive la faculté que nous venons de lui reconnaître; l'acide nitrique, l'acide acétique, des solutions d'acide tartrique, citrique, oxalique, produisent également des effets bien marqués. Avec l'acide hydro-chlorique, l'effet est faible. Les solutions neutres de sulfate de soude et de nitrate de potasse se comportent comme les solutions acides. M. Faraday ayant cherché si l'on ne pourrait pas faire acquérir aux plaques négatives le même pouvoir, fit l'expérience suivante : trois plaques négatives, qui étaient restées plongées pendant 4 minutes dans de l'acide sulfurique, furen lavées dans de l'eau distillée et placées dans le mélang détonnant; elles agirent toutes trois, quoique moins fo tement que les lames positives; l'effet fut plus marqu quand on les laissa séjourner dans l'eau distillée pe dant 10 ou 12 minutes.

411. Ces plaques ayant cessé d'agir quand l'acide re fermait des substances qui pouvaient être précipitées p l'action de la pile, M. Faraday supposa que la propri dont nous étudions les effets, sur la lame positive platine, ne dépendait pas essentiellement de l'action cette pile, mais était inhérente en tout temps au tine, et qu'elle ne se manifestait que lorsque sa sur était parfaitement nette; l'action de la pile ne serv donc qu'à décaper les surfaces. Pour vérifier cette

jecture, il chercha à obtenir les mêmes effets sans employer la pile. Ayant effectivement décapé avec beaucoup de soin une plaque de platine, en la frottant avec un morceau de liége et de l'eau, ou avec tout autre corps, et l'ayant lavée, il la trouva d'abord faiblement active dans le mélange détonnant; mais peu après son action devint plus énergique; l'action cependant ne fut jamais aussi puissante que lorsque les plaques avaient servi de pôle positif à la pile. Cette expérience et d'autres analogues lui permirent de conclure que lorsque la surface du platine est très-nette, elle peut déterminer la combinaison de l'oxigène et de l'hydrogène à la température ordinaire.

Des lames de platine qui n'exercent aucune action deviennent actives en les faisant rougir à la flamme d'une lampe à alcool; d'un autre côté, M. Faraday a reconnu que des plaques non actives qui avaient été chauffées restaient inactives comme avant : il est probable que dans ce cas la surface du métal se trouve salie par des matières qui y adhéraient avant et que la chaleur n'a pas enlevées, ou par des matières provenant de la flamme ou de l'air lui-même.

Des plaques de platine inertes, chauffées dans une solution de potasse caustique, agissent sur le mélange détonnant; mais quelquefois elles sont sans action : ce dernier effet doit se produire toutes les fois que la potasse n'enlève pas les corpuscules qui adhèrent à leurs surfaces. Les acides exèrcent en général une action plus constante que les alcalis.

Pour faire acquérir au platine la puissance la plus forte, il faut le traiter à chaud d'abord avec la potasse caustique, ensuite avec l'acide sulfurique, puis le laver dans l'eau distillée. L'or et le palladium se comportent comme le platine; le palladium surtout agit rapidement. L'argent et le cuivre ne montrent aucun effet aux températures ordinaires. Peut-être ce résultat négatif tient-il à ce que la surface de ces métaux se couvre rapidement à l'air d'une légère couche d'oxide.

412. Toutes les tentatives que l'on a faites pour reconnaître la présence de l'électricité dans l'expérience de M. Dobereiner et dans celles qui l'ont suivie, ne pouvaient manquer d'être infructueuses. En effet, l'éponge de platine détermine la combinaison de l'oxigène et de l'hydrogène; pendant qu'elle s'effectue, l'oxigène laisse échapper de l'électricité positive et l'hydrogène de l'électricité négative; ces deux électricités se recombinent par l'intermédiaire du platine : dès lors il est impossible de recueillir de l'électricité libre ni d'observer des courants, puisque ces courants circulent dans toutes sortes de directions autour de l'éponge.

Quelle est donc la nature de cette action qu'exercent les métaux sur les gaz combustibles, pour les forcer d'abandonner leur état élastique? La force qui détermine cette action a un développement progressif, qui agit d'abord plus puissamment dans les parties de la masse métallique où les dimensions sont les plus petites et ensuite dans la direction des angles et des inégalités qui peuvent exister à sa surface. Cette force doit être de la même nature que celle qui préside aux phénomènes capillaires, chimiques, ainsi qu'aux actions où la force d'agrégation est mise en jeu, etc. Elle est inhérente au métal, et ne dépend ni d'une condition particulière qu'une cause quelconque lui aurait fait acquérir, ni l'état de ses molécules, puisqu'elle se manifeste lorsque la surface est parfaitement nette; on la retrouve encore dans tous les corps à des degrés plus ou moins marqués comme l'ont observé MM. Dulong et Thénard.

Ces considérations ont porté M. Faraday à admettre que, dans tous les corps, la sphère d'action des molécules s'étend au-delà de celles avec lesquelles elles sont immédiatement combinées, et que cette action produit les effets qui ont été observés pour la première fois par M. Dobereiner, et sur lesquels nous venons de donner de nouveaux développements. C'est elle aussi qui détermine la précipitation de l'eau atmosphérique sur les surfaces des corps qui la retiennent avec force quoiqu'il y ait cependant de combinaison chimique.

M. Faraday résume ainsi son opinion : « Les modifi-
« cations de l'action du platine, quand il opère la com-
« binaison de l'oxigène et de l'hydrogène, peuvent être
« établies selon les principes suivants : sous l'influence
« du défaut de pouvoir élastique et de l'attraction des
« métaux pour les gaz, ces derniers, lorsqu'on les asso-
« cie aux premiers, sont tellement condensés qu'ils se
« trouvent soumis à l'action de leur affinité mutuelle à
« la température ordinaire.

« L'absence du pouvoir élastique n'a pas seulement
« pour effet de les soumettre plus fortement à l'influence
« attractive du métal, mais les amène aussi à un état
« plus favorable pour les unir, en enlevant une partie
« de ce pouvoir d'où dépend leur élasticité, qui, dans
« les masses de gaz, s'oppose à leur combinaison. La con-
« séquence de leur combinaison est la production de la
« vapeur d'eau et une élévation de température; mais
« comme l'attraction du platine pour l'eau n'est pas plus
« grande que pour les gaz, la vapeur est rapidement
« dispersée à travers les gaz restants; de nouvelles por-
« tions de cette dernière viennent donc se juxtaposer
« avec le métal, ainsi de suite. De cette manière l'ex-
« périence avance, et elle est accélérée par le dévelop-
« pement de la chaleur, qui facilite la combinaison en
« proportion de son intensité, de sorte que la tempéra-
« ture est ainsi élevée jusqu'à ce qu'il en résulte de l'i-
« gnition. »

Cette doctrine est empreinte de grandes vues philosophiques, mais nous ne voyons pas qu'elle jette beaucoup de lumière sur la question relative à la cause première de tous les phénomènes d'attraction, et en particulier à celle qui produit les effets que nous venons d'étudier; car nous supposons depuis long-temps que les particules d'un corps, après leur combinaison avec les particules d'un autre corps, conservent encore un reste de pouvoir attractif auquel nous attribuons la force d'agrégation et tous les effets qui en dépendent.

Les expériences de M. Faraday sont néanmoins in-

téressantes, puisqu'elles étendent nos connaissances sur une propriété qui a été l'objet des recherches de plusieurs physiciens; elles nous montrent bien que les métaux dont les surfaces ont été décapées par l'action des acides, des alcalis, de la chaleur ou de la pile, manifestent une puissance attractive capable de condenser les gaz et d'opérer la combinaison de ceux qui ont une grande affinité les uns pour les autres; mais elles nous laissent toujours dans l'ignorance sur la cause première du phénomène principal. Il en sera toujours ainsi quand on ne cherchera pas à connaître la nature de la force qui est inhérente aux atomes, et dont l'action constitue l'attraction. Or, nous pensons que la nature de cette force est éminemment électrique, et qu'en partant de ce principe on parvient à soulever une partie du voile qui couvre la plupart des phénomènes moléculaires. Nous consacrerons un chapitre entier à poser les bases de cette doctrine. En attendant, étudions les phénomènes de chaleur qui sont dus au passage de l'électricité dans les corps, parce qu'ils doivent servir de base à toute théorie électro-chimique, et tâchons d'en tirer quelques inductions sur la cause de la chaleur en général. Mais comme ces phénomènes se lient à la perte qu'éprouvent les courants quand ils passent d'un conducteur dans un autre ou qu'ils cheminent dans un corps d'une certaine étendue, exposons d'abord tous les principes qui peuvent nous conduire à la solution de cette question.

CHAPITRE III.

DE LA CHARGE DE LA PILE.

§ Ier. *Des effets de tension de la pile.*

413. Nous avons commencé à parler de la tension de la pile dans le second volume (pag. 143-153), en annonçant l'intention d'y revenir quand nous nous occuperions des phénomènes électro-dynamiques. Nous avons maintenant tous les documents nécessaires pour en reprendre la discussion, et la continuer aussi loin que le permet l'état actuel de la science.

L'action chimique paraissant être la cause déterminante du dégagement de l'électricité dans la pile, c'est à cette cause que nous devons nous attacher pour étudier tout ce qui s'y rapporte.

Nous savons que lorsque les deux fluides électriques sont séparés l'un de l'autre par le seul fait de l'action chimique, ils tendent toujours à se réunir pour former du fluide neutre en suivant tous les corps conducteurs qui se présentent à eux. Cette recomposition a lieu en plus ou moins grandes proportions, suivant la nature et la conductibilité de ces conducteurs. La quantité d'électricité qui reste libre sur chacun des corps, et qui constitue sa tension, se trouve donc dépendante de la plus ou moins grande facilité que possède l'électricité à passer d'un corps dans l'autre : c'est cette quantité qui échappe à la recomposition pendant le temps que s'ef-

fectue le dégagement de l'électricité. On arrive ainsi à une limite, qui est constante tant que les conditions de l'action chimique ne sont pas changées.

Voilà bien ce qui se passe dans un couple, mais en est-il encore de même dans une pile composée de la réunion de plusieurs couples? On peut répondre hardiment que oui; mais alors il faut admettre, comme nous l'avons déja fait (pages 143-153), que lorsque les deux fluides se séparent, ils sont projetés avec une certaine force, qui leur permet de vaincre jusqu'à un certain point l'inertie des mauvais conducteurs qui se trouvent sur leur passage. Immédiatement après cette impulsion, les deux fluides jouissent chacun des propriétés que nous leur connaissons, c'est-à-dire qu'ils tendent à reformer du fluide neutre, en suivant tous les conducteurs contigus, mais en éprouvant des temps d'arrêt aux surfaces de contact des conducteurs. Pour simplifier la question, considérons plusieurs couples dont les effets de tension soient égaux; ce cas n'a jamais lieu, puisqu'une foule de circonstances font varier l'intensité des effets électriques dans les actions chimiques; mais il nous sera facile de passer ensuite, comme l'a fait M. Delarive, au cas où les couples ne sont pas identiquement les mêmes sous le rapport des effets électriques.

Prenons trois couples *a*, *b*, *c*, disposés de telle sorte que le zinc de *b* plonge dans le même liquide que le cuivre de *a*, et son cuivre dans le même liquide que le zinc de *c*.

D'après les notions que nous possédons sur les effets électro-chimiques et que nous avons rappelées précédemment, l'électricité positive du couple *b*, qui provient de l'action chimique du liquide sur le zinc, est neutralisée par l'électricité négative qui est fournie par le cuivre de *a*, dans la supposition, bien entendu, où l'action chimique est la même dans tous les couples. L'électricité négative du cuivre de *b* neutralise également l'électricité positive du zinc *c*. Il reste donc ainsi un excès d'électricité positive dans le liquide où plonge le zi

de *a*, et un excès parfaitement égal d'électricité négative sur le cuivre de *c*. Quel que soit le nombre d'éléments, on aura donc toujours à chacune des deux extrémités de la pile un excès d'électricité contraire, qui sera égal à celui qui se trouve sur chacun des éléments d'un couple; mais il n'en est pas ainsi, puisque l'expérience prouve que la tension croît aux extrémités en raison du nombre des couples. C'est ici où l'on sent la nécessité d'admettre que, lorsque les deux électricités se séparent dans la réaction du liquide sur le zinc, le cuivre n'étant pas attaqué, l'électricité positive est chassée comme par une force d'impulsion vers l'extrémité zinc sur la couche humide, et l'électricité négative vers l'extrémité cuivre. Il résulte de là que la couche humide de chaque zinc et chaque cuivre acquièrent l'une et l'autre une tension électrique dépendante de leur rang, attendu que les électricités ayant perdu leur force d'impulsion ne peuvent plus vaincre aussi facilement l'inertie des mauvais conducteurs, et n'éprouvent plus que des recompositions partielles semblables à celle dont nous avons parlé plus haut. Cette manière de voir admet donc que les deux principes électriques ne se réunissent pas avec une promptitude égale à celle avec laquelle ils sont séparés. Comme la question qui nous occupe est de la plus haute importance pour l'électro-chimie, nous allons appliquer ces principes à des piles de deux, trois, quatre éléments.

414. Pour fixer les idées, supposons que lorsqu'un couple zinc et cuivre est mouillé par un liquide quelconque, ce liquide prenne un excès d'électricité positive $+1$, le zinc et le cuivre un excès -1; ces deux quantités sont celles qui échappent continuellement à la recomposition, et dont les actions sont dissimulées tant que le couple est isolé; mais si l'on met le cuivre en communication avec la terre, celle-ci lui enlève à chaque instant son excès -1, de sorte que l'excès $+1$ du liquide manifeste toutes ses propriétés. Ce couple étant isolé, la face zinc en haut, posons dessus un drap mouillé, puis un nouveau couple, dont la face zinc soit en contact avec

un air humide : on aura alors la distribution suiva dans laquelle le 1er cuivre devra avoir la tension — qui lui vient de la réaction du 1er zinc sur le c mouillé, plus la même tension qui lui vient du 2e vre ; de même, la couche humide qui adhère à la face du 2e zinc devra avoir sa tension + 1, plus c qui lui est transmise par le liquide du drap mouillé.

1er cuivre.....	— 2
1er zinc.....	
drap mouillé.....	0
2e cuivre.....	0
2e zinc.....	
couche humide.....	+ 2

Il n'y a que les deux extrémités qui ont des e d'électricité contraire, dont la tension est égale au n bre de couples.

Dans une pile de trois couples, on aura, en ren quant que les tensions du cuivre doivent croître dans sens et celles de la couche humide dans un autre,

1er cuivre.....	— 3
1er zinc.....	
drap mouillé.....	— 1
2e cuivre.....	— 1
2e zinc.....	
drap mouillé.....	+ 1
3e cuivre.....	+ 1
3e zinc.....	
couche humide.....	+ 3

Enfin, dans une pile de quatre couples, on aura

1er cuivre.....	— 4
1er zinc.....	
drap mouillé.....	— 2
2e cuivre.....	— 2
2e zinc.....	
drap mouillé.....	— 0

3e	cuivre.....	— 0
3e	zinc.....	
	drap mouillé.....	+ 2
4e	cuivre.....	+ 2
4e	zinc.....	
	couche humide.... :	+ 4

Ces tableaux nous montrent bien que les deux moitiés de la pile se trouvent dans deux états électriques différents, et que le décroissement de l'électricité dans chaque moitié suit une progression géométrique dont la raison est 2.

Les choses étant ainsi disposées, si l'on touche l'une des extrémités de la pile, on doit produire le même effet que lorsqu'on touche la face zinc ou la face cuivre dans un couple simple, c'est-à-dire que l'on enlève toute l'électricité de même nature qui est propre à la moitié à laquelle se rapporte cette extrémité; ainsi, si l'on touche la face cuivre dans la pile de 4 éléments, on a

Cuivre.....	— 0
Zinc.....	
Drap mouillé.....	— 0
Cuivre.....	— 0
Zinc.....	
Drap mouillé.....	— 0
Cuivre.....	— 0
Zinc.....	— 0
Drap mouillé.....	+ 2
Cuivre.....	+ 2
Zinc.....	
Couche humide.....	+ 4

Cette distribution de l'électricité revient à peu près à lle que nous avons indiquée (tom. II, pag. 249), et sur quelle nous avons promis de revenir avec des développements convenables. Nous ne croyons pas qu'il soit ssible de donner, pour l'instant, une autre théorie de distribution de l'électricité dans la pile, en admettant

que l'action chimique soit la cause unique du dégagement de l'électricité. Nous avons supposé que chaque couple produisait la même quantité d'électricité. Si cette quantité n'est pas la même, la question se complique un peu; mais elle peut être résolue d'après les mêmes principes.

415. Voici comment M. Delarive a envisagé le cas où les quantités d'électricité libre sur deux couples *a* et *b* ne sont pas égales. Supposons que le couple *b* soit le plus faible; son électricité positive ne pourra neutraliser alors qu'une portion d'électricité négative de *a*. Il restera donc dans le cuivre de *a* un excès d'électricité négative qui retiendra, en la neutralisant, une quantité égale d'électricité positive. On voit par là que *a* ne peut mettre en liberté qu'une quantité d'électricité positive égale à celle de *b*, quoiqu'il soit plus fort que ce dernier. En suivant le même raisonnement, on voit que toutes les quantités d'électricité libre dans chaque couple sont égales entre elles, bien que ces couples n'aient pas tous la même force. M. Delarive a constaté ce fait dans une pile ordinaire, en se servant du multiplicateur à deux fils communiquant avec deux couples, de manière à avoir deux courants en sens inverse; il a trouvé alors que les deux courants se neutralisaient parfaitement. Il a reconnu également que si l'on interpose au milieu des autres couples un couple plus faible, on réduit immédiatement tous les autres à une intensité égale à celle de ce couple. Au moyen de ce principe, la question de la distribution de l'électricité dans la pile est ramenée au cas où les quantités d'électricité sont égales sur chaque couple.

§ II. *Des variations qui surviennent dans la tension de la pile.*

416. Nous allons examiner maintenant les diverses causes qui font varier la tension de la pile. Nous commencerons par exposer les changements qui surviennent quand les deux extrémités ayant été réunies au moyen d'un arc métallique, on enlève cet arc au bout d'un temps

plus ou moins long. Voici les principaux résultats que M. Marianini a obtenus dans une suite d'expériences relatives à cette question.

Une pile à couronne de tasses, de huit couples cuivre et zinc, ayant pour liquide conducteur une solution de sel marin, donnait 11 degrés de tension à l'électroscope à paille, muni d'un condensateur. Les deux extrémités ayant été mises en communication avec un arc de métal, pendant une minute seulement, et l'arc enlevé, la tension, immédiatement après, ne fut plus que de 7 degrés. Aussitôt que la pile eut repris sa première force, on ferma de nouveau le circuit, et, deux minutes après, on l'interrompit; la tension fut réduite à 6 degrés. La tension étant revenue à 11 degrés, on ferma de nouveau le circuit, et la tension, après trois minutes, n'était plus que de 3 degrés.

Avec un autre appareil, M. Marianini a obtenu les résultats suivants :

Tension de l'appareil avant que le circuit fût fermé		12 degrés.
Le circuit fermé pendant...	5″	9 ½.
	10	8 ½.
	30	8 à peine.
	1′	7
	2	6
	5	5
	10	4
	15, 20, 30, 40, 60	4 à peine.

Ces résultats nous indiquent, 1° que la diminution de la tension est rapide dans les premiers moments, et qu'elle va toujours en se ralentissant; 2° qu'il existe une limite au-delà de laquelle elle cesse de décroître, quel-

que long que soit le temps depuis lequel le circuit fermé.

M. Marianini a soumis aussi à l'expérience des pi composées d'un plus grand nombre d'éléments.

Appareil à 16 *couples.*

		Tension.
Avant de fermer le circuit.....		22°.
Le circuit fermé pendant...	5″	15.
	10	13.
	30	12.
	1′	10 ½.
	2	9.
	3	8 envir
	5	7.
	10	6 ½.
	20	6 forts.
	30, 40, 60	6 à pein

Appareil à 24 *couples.*

		Tension.
Avant de fermer le circuit.....		33°.
Le circuit fermé pendant...	5″	20 enviro
	30	15 enviro
	1′	16.
	3	11.
	5	9.
	10	8 faible.
	20	7 ½.
	30	7.
	60	6 envir
	90, 120	5 ½.

On voit par ces résultats, que plus le nombre d couples est grand, plus la perte qu'éprouve la tensio

dans un temps donné, est considérable, et plus tard arrive la limite au-delà de laquelle elle cesse de diminuer.

Ces résultats doivent varier avec les liquides employés, puisque l'action chimique change en même temps.

Appareil chargé avec de l'eau distillée.

		Tension.
Avant de fermer le circuit.....		12°.
Fermé pendant.....	30″	11 faibles.
	1′	10.
	3	9.
	6	8.
	12 20 30 60	7.

Appareil chargé avec une solution de sel marin.

		Tension.
Avant d'avoir fermé le circuit.....		12°.
Fermé pendant.....	30″	8 ½.
	1′	7.
	3	6.
	6	4.
	15	3 ½.
	30 60	3.

Nous voyons par-là que plus le liquide agit chimiquement sur le métal oxidable du couple voltaïque, plus la perte de tension est rapide, et plus aussi on parvient tard à la limite au-delà de laquelle la tension ne diminue plus.

Le plus ou moins de conductibilité de l'arc métallique, qui sert à établir la communication entre les deux pôles, n'apporte aucun changement dans les résultats précédents.

417. M. Marianini a cherché ensuite à déterminer le temps que les appareils voltaïques emploient à recouvrer la tension électrique qu'ils perdent par la fermeture du circuit.

Appareil à 8 couples, semblable au premier.

	Tension.
Avant de fermer le circuit.....	12°.
Le circuit fermé pendant 1 minute.....	7°.
Tension mesurée, 50".....	
Après avoir rompu le circuit.....	9°.
1'	10°.
2'	11° ½.
2' ½	12°.

Le même appareil, fermé pendant 5 minutes.

Tension, un instant après que le circuit eut été interrompu.....	5°.
après 30"	7 ½.
1'	8 ½.
3	10 ½.
5 ½ environ.....	12.

Le même appareil fermé pendant un quart d'heure.

Tension, presque immédiatement après que le circuit eut été ouvert.....	4° faibles.
après 1'	7 ½.
2	8 ½.
7 environ.....	12.

Ces trois séries d'expériences indiquent que le temps qui est nécessaire pour que l'appareil reprenne sa tension primitive est d'autant plus grand, que le circuit est resté plus long-temps fermé.

418. Quant à l'affaiblissement qu'éprouve la tension quand les pôles ne sont pas mis en communication avec

un arc métallique, M. Marianini s'est servi de trois appareils à couronne, dont l'un était disposé de manière que la communication métallique entre la plaque de cuivre et celle de zinc de chaque couple pût être détruite ou rétablie à volonté, sans qu'il fût nécessaire de déplacer les plaques; le deuxième était monté comme à l'ordinaire, et le troisième était destiné à faire connaître si le condensateur et l'électromètre agissaient comme le premier jour. M. Marianini, après dix jours, ayant observé la tension de tous ces appareils, a trouvé:

La tension de l'appareil nouvellement monté.....	16°
Celle de l'appareil à plaques séparées	16 environ.
Celle de l'appareil monté comme à l'ordinaire.....	15 environ.
Après quinze jours, la tension du premier indiquait.....	15
Celle du second.....	15
Celle du troisième.....	13° environ.

Après trois mois d'expérience, le 2e et le 3e appareils avaient une tension seulement un peu supérieure à celle de l'appareil nouvellement monté.

Ces résultats nous indiquent que, pendant trois mois, la tension a éprouvé peu de variation, soit que les éléments de chaque couple communiquassent ou non ensemble.

M. Marianini a tiré de ces expériences les conséquences suivantes :

La tension que l'appareil à plaques neuves perd dans un temps donné est moindre que celle qu'éprouve l'appareil à plaques oxidées; l'appareil neuf arrive plus tôt que le vieux à la limite au-delà de laquelle la perte de tension n'augmente plus. Dans des piles à couples d'or et de zinc, la perte de tension est plus rapide que dans la pile ordinaire, et arrive dans un temps très-court à la limite; tandis que dans l'appareil à couples de plomb et

de zinc, la perte de tension est plus lente que dans la pile à couples cuivre et zinc.

Les expériences de M. Marianini s'appliquent à des phénomènes tellement composés, qu'il est impossible d'en déduire des principes simples. En effet, quand une pile fonctionne et que la communication a été établie entre ses pôles, la tension électrique aux deux extrémités, à l'instant où l'on interrompt cette communication, dépend non-seulement de l'action chimique du liquide sur le métal le plus oxidable et du composé qui se forme sur sa surface, lequel tend à ralentir la marche du fluide électrique, mais encore de cette polarité dans laquelle se constituent les deux éléments de chaque couple, et dont nous avons parlé précédemment, laquelle polarité détermine des effets électriques inverses de ceux qui sont propres à chaque couple. On voit, d'après cela, combien sont composés les phénomènes qui ont été l'objet des investigations de M. Marianini.

Il serait impossible d'examiner toutes les circonstances qui font varier la tension de la pile, attendu qu'elles sont souvent si fugitives qu'elles échappent la plupart du temps à l'observateur le plus attentif. Si l'on songe que la nature des métaux, celle du liquide qui les baigne, l'état des surfaces, la réaction des composés qui se forment, les changements de température, sont autant de causes qui font éprouver des modifications à l'action chimique et doivent exercer une influence sur les effets de tension, on concevra combien il y a de difficultés à surmonter pour arriver à des lois générales.

Les effets de tension étant très-difficiles à comparer entre eux, nous nous en tiendrons aux indications que nous avons déja données, afin d'examiner, à l'aide du multiplicateur, les changements qui ont lieu dans la pile quand on fait varier l'action chimique, le nombre des éléments, etc.

§ III. *Des rapports qui existent entre l'intensité du courant, le nombre et les dimensions des plaques voltaïques, et l'énergie de l'action chimique du liquide sur le métal oxidable.*

419. Nous savons que lorsque l'on plonge les deux éléments d'un couple voltaïque dans une solution neutre acide ou alcaline, la direction et l'intensité du courant dépendent de l'action exercée par le liquide sur chacun de ces éléments, et en particulier sur le métal le plus oxidable. Il résulte de là que l'on peut toujours prévoir *à priori* la direction du courant, quand on connaît la nature de la solution et celle des deux métaux, puisque le métal le plus attaqué, celui-là même qui détermine le sens du courant, prend toujours au liquide l'électricité négative. C'est ainsi qu'en mettant deux lames cuivre et zinc en communication avec le multiplicateur, et les plongeant dans de l'eau salée, le zinc prend au liquide l'électricité négative, attendu qu'il est plus attaqué par ce liquide que le cuivre; mais si le liquide conducteur est une solution de sulfure de potassium, le courant suit une direction opposée, parce que le cuivre est plus attaqué que le zinc. Or, ce qui a lieu pour un couple voltaïque, relativement à la direction du courant, doit encore se reproduire dans une pile formée de la réunion de plusieurs couples. Si donc l'on a deux piles semblables à couples cuivre et zinc, l'une montée avec de l'eau acidulée, et l'autre avec une solution de sulfure de potassium, le côté zinc dans la première donnera de l'électricité positive, et dans la seconde de l'électricité négative. Quelques exemples choisis par M. Delarive montreront encore la dépendance mutuelle qui existe entre la direction du courant et la réaction chimique du liquide sur le métal oxidable.

420. Prenons une lame de cuivre et une lame d'étain en relation avec le multiplicateur : si on les plonge dans une solution acide ou saline, il se produit un courant

de l'étain au cuivre par l'intermédiaire du liquide, tandis que le même couple, placé dans l'ammoniaque, donne un courant qui va en sens inverse. Le contact des deux métaux, dans cette expérience comme dans celle qui a été rapportée plus haut, étant resté le même, il en résulte que le changement dans la direction du courant ne peut être attribué qu'à une différence dans l'action chimique. Effectivement, dans le premier cas, l'étain est plus fortement attaqué que le cuivre, tandis que dans le second c'est le contraire. Une pile formée avec des couples étain, cuivre, montée avec de l'ammoniaque, doit donc avoir des pôles inverses de ceux que l'on obtient quand elle est montée avec une solution neutre ou acide.

M. Delarive, en plongeant divers couples voltaïques dans des acides à différents degrés de concentration, a obtenu les résultats consignés dans les deux tables suivantes, dans lesquelles chaque métal est positif par rapport à celui qui le précède.

Dans l'acide nitrique concentré.	Dans l'acide nitrique étendu d'eau.
Fer oxidé.	Argent.
Argent.	Cuivre.
Mercure.	Fer oxidé.
Plomb.	Fer.
Cuivre.	Plomb.
Fer.	Mercure.
Zinc.	Étain.
Étain.	Zinc.

L'arsenic et le fer ont fourni un exemple remarquable d'un changement de polarité. Dans un acide étendu, le fer est éminemment positif par rapport à l'arsenic, qui est peu attaqué; tandis que lorsqu'on les plonge dans de la potasse tenue en fusion, les deux métaux changent de rôle : l'arsenic, sur lequel la potasse agit puissamment, devient positif.

Un couple or et cuivre ne lui ayant donné aucun effet quand il a employé du mercure comme corps liquide, il a émis le doute que la formation de l'amal-

game fût une véritable action chimique. Certes, l'amalgamation est une action chimique dans toute l'étendue du mot, et nul doute qu'il n'y ait aussi dégagement d'électricité quand elle se produit; mais le courant n'est pas sensible, parce que les deux électricités dégagées trouvent plus de facilité à se recombiner sur la surface même du contact de l'or et du mercure que de suivre le fil métallique qui réunit l'or et le mercure. En général, toutes les fois que le corps conducteur intermédiaire est moins bon conducteur que les deux substances sur lesquelles il réagit, les deux électricités dégagées dans l'action chimique suivent, pour se recombiner, le fil du multiplicateur; dans le cas contraire, ou du moins quand il est suffisamment bon conducteur, la recomposition s'opère sur la surface même du contact; c'est ce qui arrive ici.

Le sens du courant, dans un couple qui plonge dans un liquide, est bien dépendant, comme nous l'avons dit, de l'énergie avec laquelle s'exerce l'action chimique sur l'un des éléments de ce couple; celui qui est le plus attaqué prend l'électricité négative au liquide : mais peut-on, en augmentant la surface du métal le moins attaqué, compenser et même surpasser l'action plus vive de ce liquide sur l'autre métal? M. Delarive, qui a étudié cette question, a reconnu que cela a lieu quelquefois quand la différence entre les propriétés chimiques des métaux est peu différente; mais qu'en général la somme d'un grand nombre d'actions chimiques très-faibles ne peut jamais égaler une action chimique très-forte, quand bien même celle-ci ne s'exercerait que sur une très-petite surface.

L'examen que nous avons fait des phénomènes électro-chimiques et thermo-électriques, dans le 2e volume, nous dispense d'entrer dans aucun détail sur l'influence de l'oxidation et de la température sur la direction et l'intensité du courant.

§ IV. *Des modifications qu'éprouve l'électricité voltaique dans son passage à travers des conducteurs liquides interrompus par des lames de métal.*

421. Pour étudier les modifications qu'éprouve un courant quand il traverse des conducteurs liquides interrompus par des lames de métal, M. Delarive a pris une cuve de verre, séparée en divers compartiments par des lames de platine; il a rempli les diverses cases avec une solution de chlorure d'ammoniaque ou de chlorure de sodium; dans les deux cas, les effets obtenus ont été les mêmes : le courant traversait le fil d'un multiplicateur assez sensible.

La pile dont il a fait usage était composée de 60 paires simples, de 16 pouces carrés de surface pour chaque plaque, et il a pris avec soin les angles de déviation de l'aiguille du multiplicateur à différents degrés d'intensité du courant de la pile, c'est-à-dire à des intervalles plus ou moins longs depuis le moment où la pile se trouvait en action; et il a observé aussi ces angles pour une même intensité de la pile, soit que le liquide fût interrompu par une ou plusieurs lames de métal.

M. Delarive a déduit d'un grand nombre d'expériences les conclusions suivantes :

1° Une ou plusieurs lames métalliques, placées perpendiculairement dans un liquide conducteur sur la ligne menée par les deux pôles, diminue l'intensité du courant qui est obligé de le traverser;

2° Cette diminution est presque nulle, quand le courant qui traverse les lames est très-énergique et provient d'une pile composée d'un grand nombre de paires; mais l'intensité du courant diminue dans une proportion d'autant plus rapide, en traversant le même nombre de lames, que son intensité originaire est moins considérable;

3° De deux courants ayant la même intensité, l'un originairement, l'autre après avoir traversé une ou plu-

sieurs lames métalliques, le premier diminue beaucoup plus par l'interposition d'une lame que le second, qui a déja passé à travers des lames semblables. Il est à remarquer que les deux courants comparés proviennent de la même pile; mais l'une a une intensité originaire plus faible que l'autre, parce qu'on l'observe après un intervalle de temps plus long, depuis le moment où la pile est en action.

Les résultats suivants mettent à même le lecteur de vérifier les conclusions du travail de M. Delarive

LAMES INTERPOSÉES.

	0 lame.	1 lame.	2 lames.	3 lames.
1re expérience.	83	83	82,5	82
2e id.	81	78	75	71
3e id.	80	76	72	66
4e id.	79	73	68	65
5e id.	78	73	67	62
6e id.	77	71	64	57
7e id.	76	70	63	56
8e id.	75	67	61	53
9e id.	74	66	60	52
10e id.	73	65	58	50

Rien n'est plus simple maintenant que de reconnaître dans ce tableau le fait général que nous avons rapporté. En effet, le courant qui est marqué par 83 degrés de déviation, dans la 1re expérience, ne diminue que de 1 degré après avoir traversé 3 lames de platine; tandis que plus le courant initial est faible, plus la diminution qu'il éprouve est grande.

Dans la 2e expérience, le courant, qui est réduit à 78 degrés par son passage à travers une lame, éprouve une perte de trois degrés quand il traverse une seconde lame, puisque sa déviation est alors de 75 degrés; tandis qu'un courant primitif de 78 degrés, dans la 5e ex-

périence, est réduit à 73 degrés par son passage à travers une lame.

Dans le premier cas, il a perdu 3 degrés, et dans le second, 5 degrés; de même, dans la 2e expérience, le courant qui a donné une déviation 75 est réduit à 71 par l'interposition d'une seule lame, tandis que dans la 8e expérience, où le courant originaire était de 75 degrés, l'interposition d'une seule lame a ramené la déviation à 67 degrés.

Dans le premier cas, le courant avait déja traversé plusieurs lames, et dans le second, il n'en avait pas encore rencontré sur son passage; ainsi il est donc bien démontré qu'un courant diminue d'autant plus par l'interposition d'une nouvelle lame, qu'il a traversé déja moins de lames.

On obtient les mêmes résultats avec des lames de différents métaux, à l'intensité près. En général, plus le métal est facilement attaquable par le liquide, moins il y a de diminution dans l'intensité du courant.

422. M. Delarive a déduit des observations précédentes une explication de la différence qui existe entre les effets d'une pile formée d'un petit nombre d'éléments, et les effets d'une pile composée de beaucoup d'éléments. La première produit plus facilement les effets qui se manifestent quand le circuit est fermé par un très-bon conducteur; tandis que la seconde peut être employée avec succès à la production des phénomènes qui ont lieu quand il se trouve dans le circuit un conducteur imparfait, tel qu'un conducteur humide. Dans le premier cas, effectivement, le courant ayant traversé dans la pile un nombre de plaques moins grand que celui qui compose la seconde, doit avoir moins de facilité à traverser un conducteur imparfait, que l'autre qui a acquis la faculté d'éprouver moins de perte en traversant de nouveaux intervalles. Ainsi on voit pourquoi de deux piles, qui ne sont pas composées d'un même nombre d'éléments, mais dont l'intensité primitive est la même, celle qui renferme le plus d'éléments fournit un courant qui est

plus apte que l'autre à vaincre les obstacles qu'il rencontre.

Cette propriété, dont jouissent les courants électriques qui ont traversé un certain nombre de plaques de métal, a des rapports avec celle que présentent la lumière et la chaleur après avoir traversé des lames de verre. En effet, Delaroche a découvert que la quantité de chaleur rayonnante qui traverse une lame de verre est d'autant plus considérable que la chaleur émane d'un corps plus chaud et a traversé plus de lames, et que les rayons calorifiques après leur sortie sont plus propres qu'avant à traverser une seconde lame semblable à la première, puisque le faisceau transmis par la première éprouve dans la seconde à proportion une perte beaucoup moindre.

On a expliqué ce fait, en admettant que les rayons transmis par la première lame éprouvent une polarisation qui les rend plus aptes à traverser une autre lame. Effectivement, lorsqu'on fait passer obliquement un faisceau de lumière à travers un certain nombre de lames de verre parallèles séparées les unes des autres, la lumière éprouve une telle modification à son passage dans chaque lame, qu'après en avoir traversé dix elle se trouve complétement polarisée, et qu'elle jouit de la propriété d'en traverser de nouvelles sans éprouver de perte sensible. Par analogie, le courant n'éprouverait-il pas, en traversant différentes plaques, une polarisation semblable à celle de la lumière?

423. M. Marianini a attribué aussi l'affaiblissement du courant dans les appareils voltaïques aux alternatives des conducteurs métalliques et des conducteurs liquides. Il a vérifié cette conjecture qui était toute naturelle, en observant d'abord la déviation produite par un couple horizontal zinc, drap mouillé, cuivre, en rapport avec un multiplicateur, et plaçant ensuite sur ce couple un second couple inactif, drap humide, cuivre. La communication ayant été établie cette fois entre le zinc et le cuivre supérieur, la déviation fut réduite à

moitié de ce qu'elle avait été d'abord. Un troisième couple inactif la réduisit au tiers. Cette expérience démontre bien que la perte d'électricité doit être attribuée aux alternatives ; mais nous ne pensons pas, surtout d'après les expériences de M. Delarive que nous venons de rapporter, que l'on doive considérer l'effet du ralentissement comme proportionnel au nombre de couples. Le phénomène est tellement composé, que nous doutons que la loi qui exprime la diminution de l'intensité du courant, en raison du nombre de plaques, soit aussi simple que le pense M. Marianini. Les résultats auxquels ce physicien est parvenu, dans une autre série d'expériences, ne sont pas non plus très-concluants. Néanmoins nous les donnons ici.

Ce physicien a employé une boîte de bois verni, de onze pouces de long, divisée en six compartiments par des lames de plomb, l'un de six pouces, les autres d'un pouce seulement. Ces compartiments ayant été remplis du même liquide, il a plongé successivement dedans deux lames cuivre et zinc en communication avec le multiplicateur, de manière que les deux plaques fussent constamment à cinq pouces de distance, soit que le courant eût à traverser une, deux, etc., plaques de plomb, ou qu'il n'eût à en traverser aucune. Les plaques cuivre et zinc avaient 14 lignes de largeur et étaient plongées de 2 pouces; le liquide commun était de l'eau renfermant $\frac{1}{200}$ de sel marin. Voici les résultats obtenus :

Nombre des lames de plomb interposées.	Déviation de l'aiguille aimantée.
0	3°,0
1	1°,0
2	0°,35
3	0°,20
4	0°,15
5	à peine appréciable.

En employant des plaques zinc et cuivre d'une surface double, M. Marianini a obtenu :

Nombre des diaphragmes.	Déviation.
0.	6°,0
1.	2°,45
2.	1°,00
3.	0°,40
4.	0°,25
5.	0°,15.

Ces déviations nous indiquent bien avec quelle rapidité les diaphragmes métalliques diminuent l'intensité du courant; mais elles sont trop petites pour que nous puissions comparer ensemble les pertes qu'éprouve le courant, par l'interposition d'un ou de plusieurs diaphragmes.

§ V. *Rapports entre l'intensité du courant et l'étendue des surfaces immergées.*

424. Pour déterminer la loi suivant laquelle augmente l'intensité du courant, en raison de l'étendue de la surface immergée, M. Delarive a plongé, dans un vase contenant un liquide conducteur, deux lames de platine ayant chacune 1 pouce carré, et éloignées l'une de l'autre de 4 lignes. Il a plongé également, dans deux autres verres semblables et remplis du même liquide, quatre lames de platine placées deux à deux à la même distance, et présentant chacune au liquide une surface d'un demi-pouce carré; puis il a réuni avec un fil de métal, deux à deux, les lames qui plongeaient dans les verres différents. M. Delarive appelle cet assemblage système double, et le premier système simple. Le système triple est celui dans lequel se trouvent six lames plongeant seulement d'un tiers de pouce deux à deux dans trois verres différents, et réunies de la même manière trois à trois. Dans chacun de ces appareils, la somme des surfaces en contact avec le liquide est de deux pouces.

Quand on met séparément ces systèmes dans le cir-

cuit d'une pile composée de dix paires chargées avec un mélange de 40 parties d'eau, d'une d'acide sulfurique et une d'acide nitrique, voici ce qui arrive : dans le premier, le courant passe d'une seule lame dans l'autre; dans le second, il se partage entre les deux lames réunies par le fil de métal auquel aboutit l'un des pôles; dans le troisième, il se partage entre les trois lames, etc. Si l'on emploie pour liquide intermédiaire de l'acide nitrique étendu ou concentré, et que l'on fasse passer dans ces systèmes des courants n'ayant pas la même énergie, on trouve, avec le multiplicateur à deux fils, que la faculté dont jouit chaque système de transmettre plus ou moins facilement l'électricité, dépend de l'intensité du courant qui les traverse. En employant un courant faible, le système simple est meilleur conducteur que les deux autres; avec un courant plus fort, c'est le système triple qui est meilleur conducteur; avec un courant plus fort encore, le système simple devient le moins bon conducteur. Il doit donc exister, d'après cela, un degré d'intensité pour lequel les deux systèmes sont également bons conducteurs.

Avec l'acide nitrique concentré, le système simple conduit mieux que le triple.

Les observations précédentes sont confirmées par la remarque de Wollaston, que l'on augmente beaucoup l'intensité du courant en donnant au cuivre une surface plus grande qu'au zinc. En effet, le courant éprouve toujours de la difficulté à passer du cuivre et du zinc dans le liquide; mais cette difficulté est plus grande pour le cuivre que pour le zinc. En augmentant la surface du premier métal, on doit donc compenser sa moindre facilité à transmettre le courant; mais si le courant est très-énergique, l'influence qui résulte de l'augmentation de surface est moins sensible, comme l'a observé M. Delarive. Cet habile physicien a tiré de ses expériences les conséquences suivantes :

1° L'augmentation de surface facilite la transmission du courant;

2° L'augmentation d'intensité, qui résulte de la plus grande étendue de surface, croît dans un rapport plus grand que la surface elle-même, quand le courant est faible ;

3° Cette augmentation croît dans un rapport moindre quand le courant est intense ;

4° Que, par l'augmentation de la surface métallique en contact avec le liquide, on gagne proportionnellement davantage quand l'électricité en mouvement est peu intense que lorsqu'elle est très-forte.

§ VI. *De l'influence de la nature relative des conducteurs qui transmettent le courant pour diminuer l'intensité du courant.*

425. Faisons maintenant intervenir dans les expériences la nature des conducteurs solides et liquides, tels que le platine, l'or, l'argent, le mercure, le cuivre, le fer, le plomb, l'étain et le zinc, et les acides nitrique, sulfurique, hydro-chlorique, les solutions alcalines et salines, etc. M. Delarive va encore nous servir de guide ici.

Plaçons d'abord dans le circuit des liquides différents avec des lames de platine, et prenons, comme il l'a fait, des petits verres cylindriques d'un pouce environ de diamètre, remplis des liquides soumis à l'expérience, et dans chacun desquels plongent verticalement et parallèlement l'une à l'autre deux lames de platine, placées à une distance de quatre lignes environ, et présentant chacune au liquide une surface d'un pouce carré. Quand il s'agit de plusieurs alternatives, on emploie des verres semblables réunis par des lames de platine recourbées, de manière à présenter toujours dans chaque liquide une surface verticale d'un pouce carré, comme ci-dessus. Voici les résultats de plusieurs expériences :

L'acide nitrique est celui de tous les liquides qui diminue le moins l'intensité du courant; vient ensuite l'acide hydro-chlorique, puis l'acide sulfurique. La di-

minution est plus grande avec l'acide nitrique pur et très-étendu qu'avec l'acide concentré. Le contraire a lieu pour l'acide sulfurique; ce qui est facile à expliquer, puisque ce dernier acide est mauvais conducteur. Viennent ensuite les solutions salines, puis la potasse et l'ammoniaque, qui diffèrent peu l'une de l'autre. Le courant transmis au travers de chacun des liquides ne diminue pas sensiblement d'intensité quand on augmente la longueur du trajet qu'il a à parcourir dans ce liquide. M. Delarive en a conclu que les résultats obtenus étaient indépendants du pouvoir conducteur des liquides. En opérant avec 0, 1, 2, 3, 4 alternatives, l'alternative zéro représentant le cas où les deux lames de platine plongent simplement dans le liquide, on a,

EXPÉRIENCES avec une pile de 40 éléments.

NOMBRE DES ALTERNATIVES.	0	1	2	3
	déviation.			
Acide nitrique concentré	65°	61°	59°	57°
Acide sulfurique *id.*	64	56	48	40
Acide sulfurique étendu	62	59	52	44
Ammoniaque	64	53	46	36
Acide acétique	61	47	38	29
Acide nitrique concentré	74	72	70	68
Acide sulfurique étendu	74	70	67	62
Acide nitrique concentré	77	76	74	72
Acide sulfurique *id.*	78	76	74	69

Expériences avec une pile de 20 paires.

Acide nitrique concentré	67	61	52	41
Acide sulfurique *id.*	72	63	44	12
Ammoniaque	64	45	34	23
				à peine sensible.
Acide sulfurique concentré	52	31	7	3
Id. étendu	52	36	13	
Acide nitrique concentré	78	74	69	61
Id. étendu	78	73	67	53
Acide hydro-chlorique	77	73	68	57

Ces résultats nous montrent, comme on l'a dit précédemment, que la perte d'intensité qu'éprouve le courant est plus forte quand ce courant est produit par la pile de vingt paires, que lorsqu'il provient d'une pile de quarante; c'est pourquoi les différences qui sont dues à la diversité des liquides, sont beaucoup plus sensibles dans le second tableau que dans le premier.

Avec le multiplicateur à deux fils et deux systèmes de lames semblables de platine, plongeant dans des liquides différents, tels que l'acide sulfurique et l'acide nitrique concentré, on a reconnu que tout système dans lequel l'acide sulfurique entre, gagne ou perd proportionnellement davantage par une différence dans l'intensité du courant que l'acide nitrique. En comparant l'acide hydro-chlorique et l'acide nitrique, on a trouvé que pour un nombre égal d'alternatives dans les deux, le premier transmet mieux le courant que l'autre quand l'électricité est forte, et moins bien quand elle est faible.

En résumé, la diminution d'intensité qu'éprouve l'électricité en passant du platine dans un liquide, dépend de la nature de ce liquide; elle dépend encore de la force du courant, de manière que tel liquide qui transmet mieux le courant qu'un autre, pour une certaine intensité, le transmet moins bien pour une intensité plus considérable ou plus faible; la transmission du courant d'un métal à un liquide quelconque est d'autant plus facile que le métal est plus attaqué par le liquide. Indépendamment de l'action chimique, il existe une relation constante entre la facilité comparative de transmettre le courant électrique dans un liquide que possèdent deux corps solides et la nature d'électricité que chacun acquerra lorsqu'ils formeront l'un et l'autre un couple voltaïque dans ce même liquide.

Si nous soumettions à l'expérience des métaux oxidables, la question se compliquerait singulièrement, attendu que la facilité plus ou moins grande qu'éprouverait le courant à passer du liquide dans chaque métal,

dépendrait de l'action chimique plus ou moins forte exercée par la solution sur le métal ; on aurait donc continuellement pour résultats des différences d'actions, et comme ces résultats changeraient selon que la solution serait plus ou moins saturée, on aurait des tableaux nombreux, dont on tirerait peu de profit.

Nous croyons avoir passé en revue les principales causes qui exercent une influence sur la direction et l'intensité du courant dans une pile voltaïque. Passons aux effets physiques produits dans les corps par le passage de l'électricité.

CHAPITRE IV.

DES EFFETS PRODUITS DANS LES CORPS SOLIDES ET LIQUIDES PAR LE PASSAGE DE L'ÉLECTRICITÉ.

§ 1er. *Des effets mécaniques.*

426. La différence que nous avons reconnue dans le pouvoir conducteur pour l'électricité des métaux et même des liquides à volume égal, nous indique déja que deux fils ou lames de métal différent, de même dimension, en communication par leurs deux extrémités avec une source constante d'électricité, ne laissent point passer la même quantité d'électricité; mais que devient la portion qui n'est pas transmise? comment réagit-elle sur les particules des corps? La solution de cette question est de la plus haute importance pour la physique et la chimie, et ne peut manquer de jeter un grand jour sur les phénomènes de la chaleur en général; c'est pourquoi nous allons l'étudier en nous entourant de tous les documents que la science a pu réunir jusqu'ici.

Quand une décharge électrique suffisamment énergique traverse une substance quelconque plus ou moins conductrice, elle y produit ordinairement un déplacement, une expansion des particules qui se trouvent sur sa route; il peut en résulter, suivant la nature du corps, une dilatation, une liquéfaction, une volatilisation, une décomposition, ou un déchirement. Ces phé-

nomènes sont accompagnés ordinairement d'une élévation de température dont nous ne nous occupons pas pour l'instant.

L'expansion qui est produite dans les fluides est si énergique que les vases de verre qui les renferment sont brisés. L'expérience suivante de Beccaria donne une idée de la puissance expansive de cet agent : si l'on introduit une goutte d'eau au centre d'une boule solide de verre et que l'on y fasse passer une décharge à l'aide de deux fils de métal qui touchent la goutte d'eau par une de leurs extrémités, les particules du liquide sont projetées avec tant de force que la sphère est brisée avec violence; en employant des batteries, on parvient à casser des bouteilles de verre remplies d'eau, quand la distance entre les parois du verre et les fils qui transmettent l'électricité est d'environ deux pouces; cette propriété a été mise à profit pour percer des bouteilles ou des lames de verre. L'appareil (fig. 73) est destiné à cet usage. TT est la tablette sur laquelle on pose la lame V, qui doit être soumise à l'action des deux pointes PP. On parvient également à briser un tube capillaire de verre rempli de mercure, dans lequel on fait passer une décharge.

On emploie ordinairement pour soumettre les corps à l'action de fortes décharges l'appareil (fig. 74), auquel on a donné le nom d'*excitateur universel*. Cet appareil est formé d'un socle en bois *ss*, sur lequel sont fixées deux colonnes de verre *cc'* surmontées de deux appendices à charnières, en laiton, et auxquels sont adaptées deux tiges également en laiton *tt'* destinées, par deux de leurs extrémités, à établir la communication avec les deux surfaces d'une batterie et par les deux autres avec les corps soumis à l'expérience. Une tablette TT' sert à poser ces corps.

Le passage de l'étincelle électrique dans l'air et l'expansion qui en résulte sont rendus sensibles au moyen du thermomètre de Kinnersley : cet appareil (fig. 75) se compose d'une éprouvette EE' fermée par ses deux bouts,

à laquelle est adapté un tube *tt'* ouvert par en haut et communiquant avec l'intérieur de l'éprouvette. Celle-ci contient un liquide qui monte au même niveau dans le tube latéral. Vient-on à faire passer une étincelle entre les deux boules *bb'*, le liquide s'élève aussitôt dans le tube; ce qui annonce d'abord un refoulement, puis une expansion de l'air.

Voici encore une expérience destinée à montrer le même effet. On prend un mortier d'ivoire au fond de la cavité duquel on place deux fils de métal dont les bouts sont éloignés d'un quart de pouce : on place dans l'excavation et précisement au-dessus de l'intervalle des deux fils une boule de liége ou de moelle de sureau. En faisant passer une forte décharge à travers les fils, l'air est d'abord comprimé, et son expansion rapide chasse la boule au dehors. L'étincelle, en traversant des tubes capillaires remplis de liquide, accélère l'écoulement de ce liquide, en raison de la force expansive.

§ II. *Des effets calorifiques.*

427. Nous avons déja posé en principe que lorsque la chaleur se propage dans un circuit métallique fermé là où elle rencontre un obstacle, les deux principes électriques apparaissent aussitôt, l'électricité positive franchit l'obstacle et il en résulte un courant électrique, qui va de la partie chaude à la partie froide. La réciproque a lieu, en général, c'est-à-dire que le fluide électrique, quand il circule dans un corps conducteur, là où il rencontre un obstacle qui l'empêche de passer outre, il y a production de chaleur; il y a cependant une exception dont nous parlerons dans le paragraphe suivant. Voyons les phénomènes calorifiques.

Lorsque l'on place la boule d'un thermomètre sensible sur la route parcourue par une forte décharge électrique, le thermomètre indique aussitôt une élévation de température. Cette élévation est d'autant plus marquée que les milieux traversés par l'étincelle sont plus mauvais

conducteurs de l'électricité, et l'étincelle elle-même plus énergique. Ce phénomène est accompagné d'une odeur analogue à celle du phosphore et du soufre : cette odeur est-elle le résultat de l'impression produite sur les organes de l'odorat par le principe électrique lui-même, ou bien provient-elle, comme semble le faire croire l'élévation de température, d'une combinaison dont nous ne connaissons pas les éléments? il nous est impossible de décider l'alternative, tenons-nous-en donc au fait.

Si l'on réunit les deux extrémités d'une pile voltaïque avec un fil de métal suffisamment fin et court, on voit ce fil s'échauffer, rougir, fondre et même brûler s'il est oxidable. De semblables effets sont produits également avec des décharges de batteries électriques. L'excitateur universel est employé à faire ces sortes d'expériences; le fil est placé entre deux pinces vissées dans les boules extrêmes.

428. Cuthbertson et autres physiciens qui ont mesuré avec des électromètres l'action calorifique produite par la décharge d'une batterie, ont trouvé qu'elle croissait à peu près comme le carré de la charge des batteries pour certaines longueurs de fil. Cette loi varie en outre suivant l'épaisseur des jarres qui composent la batterie. Celles qui sont épaisses ont une puissance de fusion moins grande. Cavendish a observé que la quantité d'électricité qui est nécessaire pour charger différentes jarres, dont l'étendue de la surface armée est la même, est en raison inverse de leur épaisseur.

429. Lorsque la charge n'est pas suffisante pour fondre les fils, il en résulte sur leur surface des effets de couleur dus à des altérations dépendantes de la nature des fils. Avec un fil d'acier, par exemple, la couleur devient successivement bleue, jaune, rouge vif; le métal entre ensuite en fusion quand la charge devient plus forte. La charge devenant encore plus considérable, le métal disparaît avec une flamme brillante, et il se dépose sur une feuille de papier placée au-dessous une poussière rouge très-fine, de peroxide.

Les métaux éprouvent des effets dépendants également de leur nature. Le platine, l'or et l'argent sont fondus et volatilisés; les deux premiers ne sont pas oxidés, comme on le pensait d'abord, attendu que la chaleur qu'ils éprouvent par l'acte même de la fusion est suffisante pour réduire leurs oxides : Cuthbertson (1) a fait un grand nombre d'expériences sur la fusion des métaux par l'électricité. L'appareil (fig. 76) dont il a fait usage est formé d'un tube de verre de deux ou trois pouces de diamètre et de huit pouces de longueur. Il est fermé à ses deux extrémités par une douille, à l'une desquelles est un robinet qui sert à faire entrer une quantité d'air donnée, ou de tout autre gaz; au-dessus de ce robinet, et dans l'intérieur du tube, est disposée une petite bobine sur laquelle sont enroulés un fil de métal et une ficelle, qui sont parallèles et attachés l'un à l'autre de quatre pouces en quatre pouces. Un cylindre de cuivre de trois pouces de long est vissé au centre de la douille supérieure. Au moyen d'une longue aiguille on fait passer les bouts de la ficelle et du fil de métal à travers le cylindre; puis on le ferme avec un bouchon, de manière que le fil et la ficelle se meuvent dans le tube. Quand le fil est brûlé on lui en substitue un autre au moyen de la ficelle.

Pour constater la quantité d'air absorbée, on adapte à l'orifice inférieur du robinet un tube de verre étroit, ayant à peu près dix pouces de long, et qui est ouvert à l'une de ses extrémités. Celle qui est libre est plongée dans un vase qui contient du mercure. Quand le robinet est ouvert, l'élévation du fluide indique la quantité de gaz absorbée.

La température de l'air augmentant beaucoup dans ces diverses expériences, on ne détermine l'absorption que lorsqu'elle est devenue égale à celle de l'air environnant.

---

(1) Nicholson's journal, in-4°, vol. v, p. 136, et Cuthbertson Électricity, p. 197.

En opérant dans l'air, la plupart des métaux sont oxidés, et il y a alors absorption d'oxigène. En raison de la différence de conductibilité des métaux, des charges égales ne produisent pas les mêmes effets sur des fils de différents métaux, de même longueur et de même diamètre. Le fer et le platine éprouvent de plus grands effets de chaleur que l'or et l'argent, qui conduisent mieux l'électricité.

Quand on remplit le réservoir d'hydrogène ou d'azote, le métal est seulement fondu, et réduit en parties très-fines. Voici le tableau des résultats que Cuthbertson a obtenus dans l'air sur des fils de différents métaux de dix pouces de longueur, en employant une batterie dont les armures internes avaient à peu près dix-sept pieds quarrés :

DÉSIGNATION des MÉTAUX.	DIAMÈTRE des FILS.	CHARGE en grains de l'électromètre.	COULEUR de la poussière métallique recueillie.
Fil de plomb..	$\frac{1}{90}$	20	Gris peu foncé.
Fil d'étain...	$\frac{1}{90}$	30	Presque blanc.
Fil de zinc...	$\frac{1}{90}$	45	Presque blanc.
Fil de fer.....	$\frac{1}{150}$	35	Brun rougeâtre.
Fil de cuivre.	$\frac{1}{150}$	35	Brun tirant sur le pourpre.
Fil de platine.	$\frac{1}{150}$	35	Noir.
Fil d'argent...	$\frac{1}{150}$	40	Noir.
Fil d'or.....	$\frac{1}{150}$	40	Pourpre brunâtre.

430. Van Marum est parvenu, avec sa puissante machine, à fondre un fil de fer de cinquante pieds de longueur. Si l'on fait passer la décharge dans un fil de soie recouvert d'or ou d'argent, le métal est volatilisé, sans que la soie soit sensiblement altérée, pourvu toutefois que la charge ne soit pas trop forte.

La décharge électrique ne se borne pas à fondre et

à volatiliser les métaux et les alliages, elle peut même vaincre l'affinité qui unit les éléments de ces derniers, comme le laiton en est un exemple; le cuivre et le zinc sont alors séparés, et l'on peut recueillir les oxides sur une lame de verre.

Mais si l'électricité peut décomposer les corps et donner lieu ensuite à de nouvelles combinaisons, comme dans le cas précédent, certains oxides peuvent être ramenés, par le même moyen, à l'état métallique. On met dans un tube de verre horizontal une petite quantité d'oxide d'étain, et l'on place à peu de distance dans l'intérieur, les deux conducteurs de l'excitateur universel; des décharges rejetées réduisent peu à peu une portion de l'oxide, et l'on aperçoit sur la surface du tube de petites lamelles d'étain métallique. Le vermillon est décomposé par une jarre de dimension modérée, le mercure et le soufre sont séparés et adhèrent au verre.

431. L'étincelle électrique jouit de la propriété d'enflammer, au contact de l'air, les corps combustibles à la surface desquels on la fait éclater, même lorsque ces corps sont de mauvais conducteurs. Cet effet est-il dû à la chaleur dégagée ou à une polarité particulière qu'elle détermine dans les parties constituantes de ces corps? Ces deux opinions peuvent être également défendues. Voici quelques effets d'inflammation : on verse de l'éther ou de l'alcool dans une capsule de métal isolée, que l'on électrise. Il suffit d'approcher le doigt de la surface du liquide, de manière à exciter une étincelle, pour l'enflammer. Quand l'alcool n'est pas très-rectifié, il faut élever préalablement la température, si l'on veut produire l'inflammation. Pour enflammer la résine, on la met en poudre sur du coton, que l'on place dans le trajet de la décharge d'une forte bouteille de Leyde; la résine, puis le coton, prennent feu immédiatement. On peut, si l'on veut, placer la résine en poudre sur de l'eau, au-dessus de laquelle on place deux fils de métal, à très-peu de distance du niveau, et dont les bouts sont éloignés d'environ quatre ou cinq

pouces. La décharge d'une jarre suffit pour déterminer l'inflammation.

Le phosphore est enflammé par le même moyen.

432. Si l'on place, entre deux morceaux de glace, un feuille d'or très-mince, dont les bouts débordent d chaque côté, la décharge d'une forte bouteille à travers la feuille suffit pour fondre le métal, lequel reste appliqué sur les faces du verre.

Singer décrit de la manière suivante le procédé à l'aide duquel on peut imprimer sur la soie ou sur le papier des lettres ou d'autres ornements coloriés de diverses manières. « On trace d'abord sur un papier épais « l'esquisse de la figure que l'on veut représenter; on le « découpe ensuite à la manière des planches à vignet- « tes. La découpure est alors placée sur la soie ou le « papier qu'on se propose d'imprimer, puis recouverte « d'une feuille d'or au-dessous de laquelle on met une « carte: le tout est ensuite placé dans la presse (fig. 77) « ou comprimé de toute autre manière, et l'on dirige « la charge d'une batterie à travers la feuille d'or. L'im- « pression est limitée par l'interposition du papier sur « lequel la figure est découpée de manière à ne laisser « recueillir que les traces du dessin; et en usant de cet « artifice, on peut nettement représenter un profil, une « fleur ou toute autre figure. »

§ III. *Des taches circulaires de Priestley.*

433. Priestley (1) a décrit des taches circulaires, produites sur des morceaux de métal, par de fortes décharges électriques, dont nous devons naturellement parler ici. Ayant déchargé une batterie de quarante pieds carrés avec un bouton de cuivre poli, il remarqua sur la surface une assez grande tache circulaire, dont le centre était fondu et formé d'un grand nombre de points,

(1) Histoire de l'Électricité, t. III, p. 325.

plus grands auprès du centre que plus loin. Au-delà de cette tache se trouvait une poussière noire, non adhérente, puis un cercle entier de points brillants, composés de parties fondues superficiellement comme celles du centre; la fig. 78 représente l'effet décrit. Des taches semblables furent produites sur des lames polies de plomb et d'argent; seulement, la tache centrale sur l'argent était composée de points rayonnants du centre. Vus au microscope, les points brillants de la tache centrale et ceux qui formaient le cercle extérieur paraissaient autant de petites cavités. Sur une lame d'or, outre les cavités, on remarquait des petites balles creuses de métal, dues à la fusion du métal.

Priestley a trouvé que les cavités sur différents métaux étaient plus profondes les unes que les autres dans l'ordre suivant : étain, plomb, laiton, or, acier, fer, cuivre et argent; quant au bismuth et au zinc, ils se sont comportés à peu près comme le fer.

Il est parvenu aussi à produire deux cercles concentriques et même davantage, en recevant la décharge d'une batterie de 38 pieds carrés sur un morceau d'étain. Le second cercle se trouvait à la même distance du premier, que celui-ci de la tache centrale; il était composé de points très-fins. La fig. 79 représente les deux cercles. En soumettant à l'expérience l'alliage fusible, il obtint trois cercles concentriques (fig. 80); le cercle extérieur n'étant pas tout-à-fait si éloigné de celui du milieu, que celui-ci de la tache centrale.

En substituant aux lames de métal un morceau de charbon, celui-ci parut fondu et ramassé en petits tas dans un espace de la grandeur ordinaire d'une tache circulaire.

Avec un morceau de carbure de fer, il n'y avait ni parties fondues, ni tache circulaire; mais il y avait à la place une matière jaune, semblable à du soufre, d'où s'exhalait une odeur désagréable.

Priestley qui, dans tous ses travaux, a fait preuve d'un esprit très-judicieux et d'une finesse de tact peu

ordinaire, a tiré des faits que nous venons de rapporter la conséquence, « que la matière électrique sort en « forme de cylindres creux, et que ces cylindres sont for- « més par d'autres cylindres plus petits et solides, puis- « que tous les cercles sont composés de points ronds. » Cette réflexion est digne de remarque, et nous aurons plusieurs fois l'occasion de la reproduire dans la suite.

§ IV. *Du transport des substances pondérables par les décharges électriques.*

434. Quand le fluide électrique traverse des fils de métal et que sa tension est suffisante, il les fond, les volatilise, les disperse enfin; mais comment s'opère ce phénomène? Les particules pondérables sont-elles emportées par suite d'une affinité réciproque entre elles et l'électricité? Les observations suivantes de M. Fusinieri jetteront quelque jour sur cette question.

Ce physicien (1) a reconnu que l'étincelle qui traverse l'air en sortant d'un conducteur en laiton, emporte avec elle du laiton à l'état de fusion et des particules incandescentes de zinc. Lorsqu'elle part d'un globe d'argent, elle entraîne avec elle de l'argent en fusion; mais si elle traverse une plaque de cuivre, l'argent est transporté au travers de ce métal, qu'il perfore dans une étendue de plusieurs centimètres, si le passage d'une surface à l'autre s'effectue obliquement; une portion de l'argent reste alors emprisonnée dans l'ouverture qu'il s'est pratiquée dans le cuivre, et l'autre portion pénètre dans la boule de l'excitateur placée de l'autre côté.

L'or transporté par l'étincelle se comporte de même par rapport à une lame d'argent qu'elle traverse. Une partie de l'or reste dans l'argent et se dépose sur les

(1) Journal de Pavie, 1825, p. 405.

deux surfaces, sous forme de lames circulaires tellement minces qu'elles disparaissent peu de temps après.

Dans ces transports il y a réciprocité d'action, c'est-à-dire que si l'étincelle éclate entre l'argent et le cuivre, il y a transport de l'argent sur le cuivre et du cuivre sur l'argent.

M. Fusinieri a remarqué que le transport d'un métal sur l'autre est accompagné de deux fortes percussions contraires, opérées par le métal qui a été transporté; l'une a lieu sur le point d'où il s'est détaché, l'autre sur celui où il est entré dans l'autre métal; l'existence de ces deux percussions est démontrée par la présence de deux cavités opposées, qui renferment le même métal dans un état annonçant une fusion.

Quand l'étincelle part d'un métal et passe dans l'air, elle emporte avec elle un groupe de molécules, dont le centre est à l'état de fusion et la partie extérieure éprouve la combustion.

435. Suivant M. Fusinieri (1), le principe électrique est doué d'une force d'expansion spontanée, dont on se rend compte par la manière dont le laiton et l'or se disséminent sur une surface polie d'argent; ces métaux s'y déposent en lames excessivement minces, qui finissent par se volatiliser. Priestley avait déja observé des effets de ce genre, ainsi que des phénomènes de transport (2). La première fois qu'il fit usage d'une batterie électrique, ce grand physicien remarqua qu'il s'élevait à chaque décharge une poussière fort noire provenant du métal, quoique le fil de métal ne fût pas fondu et que la chaîne dont il se servait fût fort grosse.

Il observa encore qu'une feuille de papier, sur laquelle était posée la chaîne, était marquée d'une tache noire, partout où elle avait touché le papier, et que la chaîne avait perdu une très-petite partie de son poids.

---

(1) Journal de Pavie, 1821, 1822, 1823, 1824 et 1825.
(2) Histoire de l'Électricité, t. III, p. 350.

Pour bien s'assurer de l'effet de la dispersion, Priestley fit passer la décharge à travers un morceau de charbon; le charbon fut réduit en poussière. Le carton sur lequel il était posé fut déchiré, et le charbon pénétra dans l'intérieur.

Ayant placé la chaîne sur une lame de verre, il s'y déposa, lors de la décharge, des taches d'un aspect agréable, de la largeur et de la couleur de chaque chaînon; le métal, à la partie extérieure de ces marques, pouvait être enlevé facilement de dessus le verre, tandis que dans la partie inférieure il faisait corps avec le verre.

Les expériences que nous venons de rapporter prouvent bien le pouvoir dispersif de l'électricité.

436. Revenons aux recherches de M. Fusinieri; ce physicien a reconnu que les étincelles électriques obtenues entre deux fils de métal ou deux morceaux de charbon en communication avec la pile, renferment aussi des particules de ces substances très-divisées et à l'état de combustion.

Des faits qu'il a observés il tire les conséquences suivantes : l'étincelle électrique n'est pas formée seulement d'un fluide pur ou de fluides impondérables, tels qu'on les considère ordinairement. La lumière des étincelles électriques provient de l'ignition et de la combustion des particules de la matière pondérable elle-même. La présence de l'air détermine deux effets; 1° elle empêche la libre expansion dans l'espace; 2° elle favorise la combustion des molécules extérieures de chaque groupe, tandis que les molécules intérieures sont lumineuses par le seul fait de la fusion. Il en résulte que, dans les gaz privés d'oxigène, les molécules matérielles transportées par l'étincelle sont à l'état d'incandescence et de fusion; phénomène qui a souvent lieu en chimie dans un grand nombre de combinaisons.

Davy a tiré des conclusions semblables d'expériences que nous avons rapportées (133), en ajoutant néanmoins que l'espace où il n'y a pas de quantités appré-

cables de matière pondérable est capable également de produire les phénomènes électriques. Cette question n'a pas été l'objet de recherches de la part de M. Fusinieri.

§ V. *Suite des phénomènes calorifiques de l'électricité.*

437. Toutes les piles ne sont pas également propres à la production d'effets calorifiques énergiques. MM. Fourcroy, Vauquelin et Thénard ont montré les premiers que les batteries à larges plaques contribuaient plus puissamment à l'inflammation des métaux que celles qui étaient composées d'un même nombre de plaques plus étroites. Il nous est impossible d'en dire davantage dans ce moment sur les rapports d'action entre ces deux piles, attendu que nous ne considérons ici que les phénomènes calorifiques.

Davy a reconnu que la décharge d'une batterie à larges plaques, en pleine activité, qui traverse un fil de fer de 2 pieds de long et de $\frac{1}{50}$ de pouce de diamètre, plongeant dans l'eau, acquiert une température suffisante pour la faire entrer promptement en ébullition.

Si les deux extrémités des deux conducteurs de la même pile sont terminées par des morceaux de charbon bien cuits, de vives étincelles jaillissent dans l'eau; il y a un dégagement abondant de gaz, et les bouts du charbon paraissent d'un rouge blanc pendant quelque temps. Pendant toute la durée du phénomène, le dégagement de gaz est accompagné d'un bruit semblable à celui d'une liqueur en ébullition. Les effets sont encore à peu près les mêmes en substituant à l'eau des huiles fixes ou volatiles, de l'éther, de l'alcool; on obtient aussi des étincelles avec le charbon dans les acides nitrique et sulfurique, qui sont de bons conducteurs parmi les liquides.

L'ignition du charbon dans ces différents cas dépend probablement de ce que pendant son contact avec le liquide il est entouré de globules de gaz qui empê-

chent la chaleur dégagée de se répandre dans le liquide environnant.

438. Davy, guidé par l'idée que la chaleur n'est autre que la réunion des deux principes électriques, s'est attaché à reconnaître si celle qui est dégagée dans les décompositions chimiques n'est pas due au jeu des forces électriques. Ayant placé dans le circuit d'une batterie de 100 paires de disques deux cônes d'or remplis d'eau distillée et mis en communication avec une mèche d'asbeste, il plongea successivement dans chacun de ces deux cônes un thermomètre, et il ajouta ensuite à l'eau du cône positif une goutte de solution de sulfate de potasse; la décomposition commença aussitôt, et fut suivie d'une élévation de température qui devint suffisante, en moins de deux minutes, pour faire entrer l'eau en ébullition.

En opérant avec une solution de nitrate d'ammoniaque, la chaleur dégagée s'est élevée à une telle intensité qu'elle a fait évaporer toute l'eau, dans trois ou quatre minutes, avec un bruit semblable à une explosion. Une certaine quantité de forte lessive de potasse introduite dans les cônes, ou de l'acide sulfurique concentré, n'a produit que très-peu d'effet calorifique.

Il résulte de là que l'accroissement du pouvoir conducteur de l'eau par l'addition d'une goutte de solution saline n'a contribué que peu ou point à l'effet, qui paraît dépendre en partie de l'énergie de la décomposition.

L'expérience suivante indique les causes qui produisent les effets calorifiques : lorsqu'on fait communiquer les deux pôles d'une pile avec une tige de plante grasse, la température s'élève tellement que l'eau qu'elle renferme finit par entrer en ébullition. On doit rapporter ce grand dégagement de chaleur aux nombreuses cloisons végétales que le fluide électrique est obligé de franchir sur sa route et qui sont autant d'obstacles à sa libre circulation.

Davy a mis le sceau à ses recherches sur les phénomènes calorifiques de la pile, en obtenant des effets de

chaleur et de lumière qui surpassent tout ce que l'on avait vu avant et dont le spectacle est des plus éclatants. L'expérience a été faite avec une pile énergique et l'appareil (fig. 81), formé d'un ballon A B, aux deux extrémités duquel sont adaptées deux boîtes à cuir, dans lesquelles passent deux fortes tiges *t*, *t*, qui peuvent s'approcher ou s'éloigner à volonté. A chaque extrémité de ces tiges on fixe un petit cône de charbon bien cuit et éteint dans le mercure pour qu'il soit meilleur conducteur. Les sommets des deux cônes ayant été placés à une très-petite distance l'un de l'autre, on met en communication les deux tiges avec les pôles de la pile. La décharge électrique franchit l'intervalle qui sépare les deux sommets. Il en résulte un jet de lumière dont l'éclat est supérieur à toutes les lumières que nous pouvons produire; la chaleur dégagée dans cette circonstance est si intense, que le charbon et la plombagine y sont volatilisés. On peut éloigner les deux pointes de charbon jusqu'à une distance de 4 pouces, sans que le jet de lumière soit interrompu. L'expérience a également lieu dans le vide, et dure pendant plusieurs heures de suite sans que le poids du charbon soit diminué sensiblement.

Les substances les plus réfractaires, telles que le quartz, la magnésie, la chaux, le saphir, etc., soumises à cette chaleur, entrent facilement en fusion.

Brandes a observé que la lumière qui brille entre les deux pointes de chaleur, jouit, comme la lumière solaire, de la propriéte d'opérer la combinaison du chlore et de l'hydrogène.

439. Le docteur Hare, avec un appareil de 80 couples en hélices, auquel il a donné le nom de *déflagrateur*, a obtenu des effets de chaleur non moins étonnants. Nous allons en donner la preuve, en rapportant quelques-unes des expériences qui ont été faites avec cet appareil, par le professeur Silliman (1). Ayant placé de la plom-

(1) Journal of Sciences, XVI, p. 57.

bagine au pôle négatif et du charbon bien préparé au pôle positif, il mit en contact ces deux substances; l'étincelle fut très-vive, et au milieu de l'ignition on distinguait des globules de plombagine fondus. Ces globules étaient quelquefois si abondants qu'ils présentaient l'apparence de cordons de chapelet. Aucun globule n'apparaissait dans l'endroit de la plombagine où était le foyer de chaleur; il y avait seulement une excavation hémisphérique, et la plombagine avait l'apparence d'une scorie. Au pôle zinc, le charbon s'allongeait vers la plombagine, et la matière noire qui s'y accumulait présentait tout à fait l'apparence de fusion, elle était transportée à l'état de vapeur de la plombagine. On remarquait à l'extrémité du charbon de nombreux globules de matières parfaitement fondues, ayant un très-grand éclat vitreux; les plus éloignés du foyer avaient une couleur noir jayet, d'autres étaient colorés en brun, en jaune; d'autres enfin étaient limpides comme le flint-glass et avaient l'apparence de l'hyalite. Ces globules, qui pouvaient supporter une forte pression sans se briser, rayaient facilement le flint-glass et le verre à vitre.

On obtient aussi des effets de chaleur considérables avec une pile de médiocre grandeur, telle qu'une pile à la Wollaston, de dix couples, en expérimentant de la manière suivante : on prend un morceau de charbon bien cuit, qui a été jeté incandescent dans le mercure, pour le rendre meilleur conducteur, et on le fixe à un des deux fils conducteurs de la pile : si l'on touche ce charbon avec l'autre fil, que nous supposons de platine, il s'opère sur-le-champ une combustion des plus vives et un dégagement de lumière que l'œil peut à peine supporter. La chaleur est si intense que le bout d'un fil de platine de $\frac{1}{2}$ millim. de diamètre fond comme du plomb. On peut se servir de ce moyen pour remplacer le chalumeau dans les essais chimiques.

440. On a observé que lorsqu'on met en communication les deux pôles d'une pile avec une chaîne composée de plusieurs fils de métal de même nature et de même dia-

mètre attachés à la suite les uns des autres, l'incandescence se manifeste toujours aux points de contact. Quand les fils ne sont pas de même nature, ce sont toujours ceux qui sont le moins conducteurs qui s'échauffent davantage. Il semble résulter de là que la chaleur est ici produite par la difficulté ou la résistance qu'éprouve le courant électrique à passer d'un corps dans un autre ou d'une particule dans la particule suivante.

Doit-on en conclure que là où l'électricité circule librement elle ne donne lieu à aucun dégagement de chaleur? Tout semble le faire croire; mais des expériences récentes, faites par M. Delarive d'une part, et par M. Peltier de l'autre, montrent que des courants assez faibles traversant des circuits métalliques interrompus par des liquides, ou des circuits formés de plusieurs métaux, donnent toujours naissance à des effets calorifiques. On voit par là que les moindres obstacles suffisent pour dégager de la chaleur.

441. M. Delarive, pour observer les effets calorifiques de la pile, a fait usage du thermomètre métallique de Bréguet, auquel il a fait une légère modification qui permet de mettre l'hélice dans le circuit.

Il a cherché quelle pouvait être sur cet appareil l'influence de l'interposition d'un ou de plusieurs diaphragmes dans un liquide, au travers duquel passe le courant qui parcourt le fil du multiplicateur. Il a observé en même temps les effets magnétiques avec un multiplicateur ordinaire. Voici les résultats qu'il a obtenus en faisant traverser successivement le multiplicateur magnétique, le multiplicateur calorifique et de l'acide nitrique, séparé en plusieurs compartiments, au moyen de diaphragmes de platine, par un courant provenant d'une pile de huit couples de 2 pieds carrés de surface chacun :

Diaphragmes.	Galvanomètre magnétique.	Galvanomètre calorifique.
1	85°	312°
2	84	170
3	83	75

Diaphragmes.	Galvanomètre magnétique.	Galvanomètre calorifique.
4	75	12
5	40	0
6	37	0

Ces résultats montrent combien la vitesse est une condition nécessaire au courant pour qu'il développe une chaleur sensible quand il rencontre quelque résistance. L'influence de cette vitesse est telle, qu'il paraît que la quantité d'électricité ne peut la compenser. M. Delarive a observé qu'avec une pile composée d'éléments de 16 pouces carrés de surface, les effets calorifiques diminuent d'intensité, quand on emploie plus de dix ou douze couples.

442. L'expérience suivante de M. Œrsted servira aussi à jeter quelque jour sur les causes d'où peut dépendre le dégagement de chaleur dans les phénomènes qui nous occupent. Ayant plongé des thermomètres dans de l'eau parcourue par un courant, il a trouvé que le thermomètre placé près du conducteur positif indiquait 20°,50, celui qui était près du conducteur négatif 18°; tandis que celui du milieu marquait 23°. D'où vient cette différence dans la répartition de la chaleur? On sait depuis long-temps que lorsqu'on fait passer une forte décharge dans un fil de métal, l'incandescence se manifeste au milieu; on attribue cet effet à ce que les points d'attache et les conducteurs adjacents s'emparent d'une portion de la chaleur dégagée aux extrémités du fil, de sorte que la température est moins élevée à ces extrémités qu'au milieu. Si cette cause de déperdition n'avait pas lieu, d'après tous les documents que nous possédons sur les phénomènes thermo-électriques, la chaleur serait la même sur toute la longueur du fil. Dans l'expérience de M. Œrsted nous retrouvons encore plus de chaleur au milieu du liquide qu'aux points d'intersection avec les conducteurs métalliques; mais ce qu'il y a de remarquable, c'est que la chaleur n'est pas la même à chacun de ces points;

elle est plus forte au pôle positif qu'au pôle négatif. Cette différence provient très-probablement de ce que les gaz, en se dégageant, ne reprennent pas la même quantité de chaleur. Du côté négatif il y a deux volumes d'hydrogène pour un volume d'oxigène au pôle positif; or, nous savons que la chaleur spécifique de l'hydrogène est égale à 3,2936, et celle de l'oxigène à 0,2361; les deux volumes du premier gaz doivent donc absorber plus de chaleur que le volume du second; il n'est donc pas étonnant, d'après cela, que la partie du liquide contiguë au conducteur négatif accuse une température moins élevée que la partie contiguë au conducteur positif.

443. M. Peltier, en faisant passer de faibles courants dans des circuits métalliques, a observé un abaissement de température aux points de jonction de certains métaux pris parmi ceux qui cristallisent, au lieu de trouver, comme à l'ordinaire, une élévation de température. Cet effet est rendu sensible avec une pile thermo-électrique ou un thermomètre à air. L'appareil fig. 82, indique le dispositif de l'expérience dans le premier cas : A, B représentent deux couples thermo-électriques en bismuth et antimoine, réunis au moyen d'un fil de cuivre C; les deux bouts libres des barreaux B″ et A″ communiquent à un multiplicateur G de 84 tours, qui indique les changements de température produits dans les mâchoires F et H. LK est un autre barreau d'antimoine et de bismuth que traverse le courant qui provient du couple voltaïque P. Un appareil, composé d'une lame N de cuivre avec un cercle gradué et une aiguille aimantée, est destiné à mesurer la quantité d'électricité qui parcourt le circuit MNM′KB‴A‴IL. Dès l'instant que cette électricité modifie la température des points de jonction des barreaux A‴B‴, la pile thermo-électrique accuse sur-le-champ le changement qui en résulte.

Si l'on place d'abord des fils de différents métaux entre les mâchoires de la pince thermo-électrique et que l'on varie l'intensité du courant, on observe une éléva-

tion de température quand les conducteurs sont homogènes; la chaleur est la même dans toute la longueur des fils, à l'exception des extrémités, où elle augmente ou diminue, selon que les attaches qui retiennent le fil sont moins bons ou meilleurs conducteurs que lui. Quand on emploie comme attaches des pinces de cuivre, l'abaissement de température se fait sentir à deux ou trois centimètres de distance, selon l'intensité du courant.

M. Peltier a reconnu que dans un conducteur, quelle que soit sa longueur, l'élévation de température n'éprouve pas de changement pour un même courant, quand on fait plonger une portion du conducteur dans un liquide à une température plus basse que celle que doit prendre ce conducteur.

Il entend par courant égal celui qui produit la même déviation dans le mesureur *o*. Supposons qu'un courant de 20 degrés élève la température d'un fil d'un décimètre de long de 10 degrés galvano-métriques; ce même courant maintenu à 20°, par une plus grande immersion du couple voltaïque, élèvera également la température de 10 degrés d'un fil de plusieurs mètres en le traversant dans toute sa longueur; mais quelque moyen qu'on emploie, dès l'instant que l'on a obtenu un courant de 20 degrés, l'élévation de température est toujours de 10 degrés sur toute la longueur du fil, sauf dans le voisinage des attaches. Il en résulte que c'est à la quantité d'électricité qui achève le circuit que l'on doit attribuer l'élévation de température, et non à la quantité arrêtée. On arrive au même résultat en employant une pile, au lieu d'un seul couple, l'immersion est d'autant moindre que le nombre d'éléments est plus grand.

M. Peltier, en cherchant la loi que suit le changement de température selon l'intensité du courant ou la section du conducteur, a obtenu les résultats suivants :

FORCE du courant.	TEMPÉRATURE d'un fil de cuivre de 0,mm I de diamètre.	
2°	0,7	Tous ces degrés sont relatifs aux déviations de l'aiguille aimantée et peuvent être regardés comme proportionnels aux forces en raison de la construction de l'appareil.
4	2	
6	4	
8	6	
10	9	
12	12	
16	18	
20	27	
24	36	

RÉSULTATS OBTENUS EN FAISANT VARIER LA SECTION DES FILS.

Diamètre des fils.	TEMPÉRATURE pour un courant de 15°.	TEMPÉRATURE pour un courant de 30°.
0 m. 8	2° 4	7°
8, 6	4 7	14
0, 4	7	21
0, 3	14	42

Ces résultats nous montrent que les rapports des températures sont comme 2 : 3, c'est-à-dire, que pour un courant double ou une section moitié la température est triple.

M. Peltier a passé d'un conducteur continu à des alternatives de conducteurs soudés bout à bout. Il a reconnu d'abord que la température variait selon le sens du courant pour la plupart des métaux. La plus grande élévation de température a lieu lorsque le courant négatif passe du meilleur conducteur dans un moins bon conducteur, par exemple du cuivre au fer, au zinc, au plomb, etc. Le contraire a lieu avec le courant positif.

Un fil de zinc, de 0mm,8, soudé à un fil de cuivre

d'un côté et à un fil de fer de l'autre, soumis à un courant de 20°, a donné les résultats suivants :

La soudure zinc-fer, sous un courant négatif passant du zinc au fer, a donné une température de.... 30°

Sous le courant positif..... 13°

Pour une soudure cuivre-zinc, le courant négatif passant du premier au second, a donné... 26°

Le courant positif..... 14°.

444. Il est d'autres métaux qui produisent un abaissement de température notable aux soudures : ce sont les métaux qui cristallisent facilement, comme le bismuth, l'antimoine, et probablement l'arsenic. Le fer à gros grains a présenté le même phénomène, mais à un degré très-faible.

Ayant soudé une lame de bismuth entre deux lames de cuivre, M. Peltier a fait traverser ce conducteur mixte par un courant électrique, dont il a élevé successivement l'intensité. Il a obtenu les résultats suivants à la soudure par laquelle entrait le courant négatif:

Le courant étant de	a produit la température de
15°.....	— 2°5
20°.....	— 4°5
28°.....	— 4°5
30°.....	0°
35°.....	+ 4°.

A la soudure par laquelle entre le courant positif, il a obtenu une élévation de température qui s'est accrue de 10° à 50°. On conçoit qu'entre l'élévation de température à un bout et son abaissement à l'autre, il y a un zéro qui avance ou rétrograde selon que l'on s'approche ou l'on s'éloigne du maximum d'effet. Si l'on augmente l'intensité du courant, le zéro rétrograde jusqu'à la soudure négative, puis il y a élévation de température qui est toujours inférieure à celle de l'autre soudure. La lame de bismuth devient alors, comme tous les conducteurs mixtes, échauffée inégalement aux

soudures. Le bismuth ne se comporte donc pas comme les autres métaux, puisqu'il donne une élévation de température par un courant positif qui passe du meilleur conducteur, le cuivre, dans un moins bon, le bismuth.

M. Peltier n'a pas voulu se prononcer sur le rapport de conductibilité du cuivre, du bismuth et de l'antimoine, attendu qu'il pense que, pour déterminer la conductibilité exacte du bismuth et de l'antimoine, il faudrait pouvoir tirer en fils ces métaux dans des dimensions rigoureuses et comparables à celles des autres fils métalliques. Une autre difficulté qu'il met en avant est la différence de température produite aux soudures; par exemple, dans le bismuth, le courant positif élevant la température de la soudure par laquelle il entre, produit un contre-courant inverse; un courant négatif circule dans le même sens que le courant positif initial, de manière à affaiblir l'action du premier. Le contraire a lieu avec l'antimoine, car les deux courants s'ajoutent. Cet inconvénient ne se présente que lorsque l'on opère avec des courants thermo-électriques, car, en employant une source hydro-électrique, le liquide interposé s'oppose à la libre circulation du courant thermo-électrique.

Avant de soumettre à l'expérience des barreaux de bismuth et d'antimoine soudés par un de leurs bouts, M. Peltier a étudié chacun de ces barreaux séparément. Il a observé 1° qu'une lame de bismuth, soudée entre deux lames de cuivre, a donné à la soudure par laquelle

entre le courant positif.....	+ 20°
Et à l'autre.....	— 10°

Une lame d'antimoine, dans les mêmes circonstances, a donné, à la soudure

positive.....	— 5°
A la soudure négative.....	+ 10°

Ayant soudé ces deux lames, il a obtenu à la soudure, avec le même courant

cheminant du bismuth à l'antimoine....	— 37°
Et avec le courant négatif.....	+ 45°.

On conçoit que plusieurs alternatives d'antimoine et de

attaque alors le mercure et le couvre d'une couche qui empêche bientôt toute espèce de mouvement.

§ III. *Des phénomènes de mouvements produits dans les alliages de potassium et d'antimoine ou de bismuth, pendant leur décomposition sur des bains de mercure aqueux.*

459. M. Sérullas (1) a observé un fait assez remarquable en projetant un alliage de potassium et d'antimoine sur un bain de mercure aqueux, c'est-à-dire sur du mercure recouvert d'une petite couche d'eau; cet alliage tourne alors rapidement. Le phénomène se produit mieux avec l'amalgame de bismuth. La pellicule légère qui se forme n'est que du bismuth divisé qui renferme entre ses molécules des bulles d'hydrogène extrêmement fines. Cette pellicule est attirée avec une grande promptitude par les substances métalliques mises en contact avec le mercure sur lequel les fragments d'alliage sont en mouvement.

Cette pellicule se porte vivement vers l'extrémité négative d'une pile et est repoussée au contraire par le pôle positif. Cet effet semble faire croire que les particules du bismuth, à l'instant où elles se séparent du potassium, sont électrisées positivement; or, nous savons qu'elles doivent être au contraire électrisées négativement; il faut donc qu'elles partagent l'électricité positive que laisse échapper l'hydrogène dans la décomposition de l'eau. Quand les deux conducteurs touchent seulement l'eau du bain, l'attraction et la répulsion ont lieu dans le sens indiqué.

Quand, au lieu d'eau simple, le bain de mercure est recouvert d'une solution peu chargée de chlorure de sodium, le tournoiement des fragments d'alliage est

(1) Journal de Physique, t. XCIII, p. 120.

plus lent; l'hydrogène produit se trouve engagé et retenu presque entièrement par la pellicule de bismuth et l'eau en devient nébuleuse. A l'instant où l'on plonge dans le bain en contact avec le mercure, une tige de zinc, de fer, de cuivre, de laiton, d'étain, d'argent et même de bismuth, on remarque autour de celle-ci un frémissement; les mouvements cessent, et sont arrêtés tant que la tige reste plongée : elle fixe la pellicule dans toute l'étendue du bain. Les fragments d'alliage y sont emprisonnés, mais aussitôt que la tige est retirée, l'effluve d'hydrogène écarte la pellicule, et les mouvements recommencent. Ce résultat s'explique facilement : le fil étant l'élément électro-négatif du couple voltaïque, doit attirer naturellement l'hydrogène.

Un fil métallique étant plongé sur un point quelconque d'un bain où tournoie de l'alliage, même dans un endroit éloigné de ce tournoiement, la partie immergée se couvre en peu de temps d'une multitude de bulles d'hydrogène.

460. Nous devons encore à M. Serullas les observations suivantes : une simple tige métallique, placée au milieu ou sur un point quelconque d'un bain de mercure en action par le potassium ou par un alliage de ce métal, attire autour d'elle l'eau du bain, qui s'élève au-dessus du niveau. Un douze-cent-millième et encore moins de ce bismuth dissous dans le mercure peut être rendu visible par l'addition d'une certaine quantité d'amalgame de potassium et d'un peu d'eau. On voit aussitôt s'élever du sein de la masse une poudre noire, mélange de bismuth et de mercure très-divisé, qui vient se placer à la surface ou qui adhère aux parois du vase au-dessous du mercure.

Le cuivre, le plomb, l'étain, l'argent, sont séparés également, mais moins promptement et moins visiblement que le bismuth. M. Serullas pense qu'il n'existe pas en chimie un réactif aussi sensible pour aucun corps que l'amalgame de potassium, pour reconnaître la présence du bismuth dissous dans le mercure. Il

fait observer que l'amalgame de potassium pur ne se décompose que très-lentement, même au contact de l'air et de l'eau, puisque l'on peut rendre l'action encore très-sensible après vingt-quatre heures, en le touchant avec une tige métallique; mais comme l'action a lieu immédiatement qu'on opère le contact, il faut en conclure qu'il se forme aussitôt un élément voltaïque; dès lors, si l'on emploie du mercure qui renferme une petite quantité de bismuth, ce dernier métal suffit pour constituer l'élément voltaïque; la décomposition se trouve activée, et le bismuth se sépare en restant combiné avec une petite quantité de mercure.

Cette séparation est néanmoins assez difficile à expliquer. M. Serullas pensait qu'à mesure qu'une molécule de l'eau interposée se décompose au contact du potassium, la molécule d'hydrogène et celle de potasse qui en résulte, placées entre le bismuth et le mercure, ne peuvent pas s'y maintenir dans leur nouvel état; elles écartent les molécules des deux métaux, détruisent ainsi la combinaison, les entraînent avec elles à la surface, en raison de la pesanteur spécifique moindre qu'elles ont naturellement et qui est encore augmentée par l'hydrogène dont elles sont pour ainsi dire enveloppées; on voit effectivement, à l'aide de la loupe, les bulles d'hydrogène traînant les parcelles métalliques, se porter assez rapidement vers le point où s'établit la pile principale par la réunion du métal séparé.

Le bismuth qui, d'abord combiné dans l'amalgame, n'a pas d'action, devient, à mesure qu'il est séparé, métal étranger, et forme, par chacune de ses molécules, une multitude de piles qui rendent la décomposition de l'eau de plus en plus vive et pour ainsi dire tumultueuse. Le mercure fait la plus grande partie de la poudre noire, parce qu'il se trouve dans la combinaison en plus grande proportion que le bismuth, qui n'y existe, dans le cas dont il est ici question, que dans le rapport de $\frac{1}{1200000}$.

CHAPITRE VI.

EXPOSÉ GÉNÉRAL DES DÉCOMPOSITIONS ÉECTRO-CHIMIQUES.

§ Ier. *De la nomenclature électro-chimique.*

461. Quand une science fait de rapides progrès et qu'elle s'enrichit journellement de nouveaux phénomènes, on se trouve quelquefois dans la nécessité de modifier la nomenclature; c'est à cette époque de progrès que des noms différents sont donnés par divers savants à la même chose. Il en résulte momentanément une confusion de termes dont la science se débarrasse aisément, pour ne conserver que ceux qui lui sont véritablement utiles. Loin de rejeter ces termes, on doit les examiner, les étudier et prendre autant que possible ceux qui sont le plus généralement adoptés.

Aussitôt que l'on eut découvert la propriété dont jouit la pile, d'opérer la décomposition d'un liquide, au moyen de deux fils ou lames de platine, plongeant dans ce liquide, et en communication chacune avec l'une des extrémités de la pile, on donna le nom de pôles à ces fils ou lames; celui de pôle positif à celui où se rendaient l'oxigène et les oxides, et celui de pôle négatif à celui où se rendaient l'hydrogène et les bases. On s'aperçut bientôt combien cette dénomination était impropre, puisqu'elle ne présentait à l'esprit que de fausses analogies, soit qu'on la comparât à celle qui s'applique aux pôles d'un cercle ou à celle d'une pla-

D'un autre côté, comme on doit éviter, autant que possible, les nouveaux mots, il nous semble qu'au lieu d'anode et de cathode, on peut employer les dénominations d'électrode positive et d'électrode négative; aussi le ferons-nous quelquefois dans le cours de cet ouvrage. L'expression électrolyser est excellente, et devrait être adoptée. Quant aux anions et aux cassions, nous leur préférons les anciens noms d'électro-négatif et d'électro-positif.

§ II. *De l'identité des décompositions chimiques, opérées avec des électricités émanées de diverses sources.*

462. Commençons par indiquer quelques-unes des propriétés communes à l'électricité des machines et à celle de la pile, dont nous avons besoin pour l'exposé des phénomènes électro-chimiques.

On sait que les phénomènes électriques se divisent en deux classes, quelle que soit la source d'où émane l'électricité : phénomènes relatifs à l'électricité de tension, et phénomènes relatifs à l'électricité en mouvement.

Considérons d'abord l'électricité voltaïque : les deux électricités contraires qui s'accumulent aux deux extrémités d'une pile composée même d'un grand nombre de paires, quoique considérables en quantité, ont une faible tension, puisque l'on n'obtient aucun indice de courant quand on essaie de les décharger avec des pointes très-fines et suffisamment rapprochées.

Cette électricité se comporte comme celle d'une batterie électrique. Dans toutes les épreuves auxquelles on la soumet, nous citerons en particulier celle qui suit :

L'air échauffé déchargeant l'électricité ordinaire avec une grande facilité, on trouve aussi que l'électricité voltaïque peut être déchargée de cette manière : on prend (fig. 88)(1) une baguette de verre AB, sur laquelle deux fils de cuivre C, D sont fortement fixés, et à deux extrémités desquels sont deux autres fils fins de platine,

(1) Transact. phil., 1833, p. 23. Faraday.

dont les bouts libres sont très-près l'un de l'autre en *e*; le fil de cuivre C est mis en communication avec le pôle positif, et le fil D avec un appareil propre à produire des décompositions et communiquant lui-même avec le pôle négatif. On n'aperçoit d'abord aucun signe de décomposition, mais aussitôt que l'intervalle est placé dans la flamme d'une lampe à alcool, de manière que la température des deux extrémités des fils de platine soit portée au rouge, la décomposition commence aussitôt; cette expérience prouve que le transport de l'électricité voltaïque s'effectue au travers de l'air chaud, observation qui a été faite pour la première fois par Gautherot (1).

En remplaçant l'appareil de décomposition par un multiplicateur, on obtient aussi des déviations, quand on élève suffisamment la température des fils de platine; l'effet seulement est moins marqué que dans l'expérience précédente. Ce résultat est évidemment un cas particulier du fait bien remarquable qui a été découvert par Davy, savoir, que l'on fait passer la décharge d'une batterie puissante entre les extrémités de deux conducteurs en charbon, en les éloignant graduellement après les avoir mis en contact.

On peut donner encore une preuve de la grande quantité d'électricité fournie par la pile, dans l'expérience suivante qui est due à Davy : quand les deux conducteurs d'une batterie voltaïque sont mis en communication avec une batterie électrique, celle-ci se charge rapidement à l'instant et devient capable de produire le choc et une étincelle.

La différence caractéristique qui existe entre l'électricité dégagée par les machines ordinaires et celle qui est produite dans les batteries voltaïques, consiste donc en ce que la première a une très-forte tension pour une petite quantité, tandis que la seconde est très-considérable et ne possède qu'une petite tension. Nous allons

(1) Histoire du Galvanisme, par Sue.

long morceau de papier de curcuma, coupé en pointes à l'une de ses extrémités, et humecté d'une solution saline, fut mis en communication avec le conducteur de la machine, de manière que son extrémité en pointe se trouva opposée au fil décomposant de l'appareil. L'alcali se dirigea vers la pointe lorsque l'on permettait à l'électricité de s'évanouir; il en fût de même encore à l'endroit où l'électricité avait abandonné le papier.

464. Des expériences furent faites aussi sans employer de communication métallique; dans ce cas les deux pôles ou les deux parties extrêmes étaient formées par l'air seulement. Un morceau de papier de curcuma *a* et un morceau de papier de tournesol *b* (fig. 91) ayant été trempés dans une solution de sulfate de soude, furent placés, comme l'indique la figure, sur de la cire, entre deux aiguilles *p* et *n*, l'une en communication avec le fil de métal du conducteur de la machine, et l'autre avec le train de décharge. L'intervalle était d'environ un demi-pouce. La pointe *p* était opposée au papier tournesol, et la pointe *n* au papier de curcuma. En tournant la machine pendant quelques instants, la décomposition commença à se montrer. La pointe *b* donna la réaction acide, et la pointe *n* la réaction alcaline. Si l'on considère les deux bandes de papier comme constituant un conducteur indépendant de la machine ou de la charge, on trouve que l'acide se manifeste à l'extrémité négative et l'alcali à l'extrémité positive. Cette expérience peut être faite encore en employant une série de petits conducteurs, formés de bandes de papier de tournesol et de curcuma, humectées d'une solution de sulfate de soude et disposées comme l'indique la fig. 92. Toutes les pointes du papier tournesol sont rougies, ainsi que toutes les pointes du papier curcuma. Ces décompositions électro-chimiques sont analogues à celles que l'on obtient dans les circonstances ordinaires avec la pile voltaïque, avec cette différence néanmoins qu'ici les pôles ne sont plus des corps métalliques, mais bien des corps mauvais conducteurs,

qui ne peuvent être franchis que par l'électricité ordinaire. Ce résultat est une généralisation du principe des décompositions chimiques au moyen de la pile.

465. Les courants thermo-électriques produisent des décompositions comme les courants voltaïques. Il suffit, pour le prouver, de plonger dans une solution de nitrate de cuivre les deux bouts d'un fil de cuivre, formé de deux fils, disposés comme l'indique la fig. 93. Si l'on place la partie *ba* au-dessus de la flamme d'une lampe à alcool, on a un courant qui suit la direction *abc*, et dont l'énergie est suffisante pour opérer la décomposition du nitrate; le bout *n* se recouvre de cuivre métallique et l'autre d'oxide. Nous reviendrons bientôt sur cette décomposition.

§ III. *De quelques conditions générales des décompositions électro-chimiques.*

466. Depuis la découverte des phénomènes électro-chimiques, on a remarqué que les éléments qui sont combinés avec le plus d'énergie sont aussi ceux qui sont décomposés avec le plus de force par le courant, et que les corps qui sont combinés en vertu de faibles affinités sont ceux qui obéissent le moins à l'action décomposante de l'électricité. Cette observation est de la plus haute importance pour la théorie électro-chimique; prenons pour exemple les verres, comme l'a fait M. Faraday : plusieurs d'entre eux sont formés de silice, de chaux, d'alcali ou d'oxide de plomb, et peuvent être considérés, jusqu'à un certain point, comme des dissolutions de ces substances l'une dans l'autre. Si l'on fond une bouteille de verre et qu'on la soumette à l'action de la pile, le verre n'est pas du tout décomposé; mais si l'on opère sur du flint-glass, qui renferme des éléments plus directement opposés, il y a décomposition comme lorsqu'on opère sur un borate, qui est un composé chimique, et transport des éléments aux électrodes.

On peut donc dire que tous les corps composés se

séparent, sous l'influence d'un courant électrique, avec une facilité proportionnée à la force de l'affinité qui unit leurs éléments.

Parmi les corps qui résistent à l'action décomposante de l'électricité on doit distinguer d'abord l'acide borique, ensuite les iodures de soufre, les chlorures de soufre, de phosphore et de carbone; les chlorures d'antimoine, les hydro-carbures, l'acide acétique cristallisé, l'ammoniaque, les acides sulfurique, arsénique et nitrique privés d'eau. Il est probable que le défaut de décomposition dans ces corps tient à l'absence du pouvoir conducteur. La dépendance entre la faculté décomposante et la faculté conductrice est telle, que les corps non conducteurs à l'état solide, qui le deviennent à l'état liquide, sont alors décomposés. La seule exception que l'on connaisse est le périodure de mercure et l'eau très-pure.

467. M. Faraday ayant remarqué que le proto-chlorure d'étain conduisait rapidement et était décomposé, tandis que le perchlorure ne conduisait pas et n'était pas décomposé; que le proto-iodure d'étain était décomposé, lorsqu'il est fluide, et que le periodure ne l'était pas, il a cherché si les décompositions électro-chimiques n'étaient pas soumises à quelque loi, sous le rapport de la composition atomique. Les nombreuses expériences qu'il a faites à ce sujet l'ont conduit seulement à conjecturer que tous les corps qui peuvent être décomposés à l'état liquide, sont formés de simples proportionnelles de leurs principes élémentaires. En ce qui concerne les sels et les combinaisons des corps composés, il ne paraît pas avoir trouvé une loi aussi simple. Nous allons rapporter quelques-uns des faits qui l'ont mis à même de tirer de semblables conséquences.

Les oxides, les chlorures et les iodures, qui sont soumis à la loi de conduction et de décomposition, comme nous l'avons vu, sont décomposables, à l'exception du chlorure d'antimoine, du périodure de mercure et peut-être du deuto-chlorure; tandis que plusieurs des com-

posés d'éléments semblables, non soumis à cette loi, sont indécomposables.

Les substances qui paraissent déroger le plus à cette loi sont les acides sulfurique, phosphorique, arsénique, nitrique. Quand l'acide sulfurique, par exemple, est soumis à l'action d'une puissante batterie et que l'on obtient de l'oxigène au pôle positif et de l'hydrogène pur et du soufre au pôle négatif, on ne peut douter que l'eau n'ait été décomposée et non l'acide, ou du moins très-peu, en raison de la décomposition de l'eau; car lorsqu'on opère avec l'acide sulfurique anhydre et fondu, cet acide n'est ni conducteur, ni décomposé. L'acide sulfurique n'est donc pas décomposable ou électrolysable par lui-même. Les acides phosphorique, arsénique et nitrique paraissent être dans le même cas.

Le chlorure de soufre et plusieurs autres composés, et qui consistent en de simples proportionnelles de leurs éléments, ne sont à la vérité ni conducteurs, ni décomposés; mais ces corps ne doivent pas être regardés comme des exceptions, attendu que la règle établie par M. Faraday ne dit pas que tous les composés d'une seule proportionnelle d'éléments soient décomposables, mais bien que ceux qui sont ainsi constitués sont décomposables.

Quant aux autres exceptions, on peut les faire disparaître en les examinant de près; par exemple, le périodure de mercure est isolant à l'état solide et conducteur à l'état fluide; mais comme il n'est pas décomposé, ce composé n'est donc pas une exception.

Il est peut-être aussi le seul qui soit une exception à ce principe que tous les corps soumis à la loi de conduction des liquides sont décomposables; encore pourrait-il se faire qu'une partie du proto-iodure de mercure restât dissoute dans le périodure et que ce fût à sa décomposition lente que fût dû le faible pouvoir conducteur.

En résumé, il paraît probable que tous les composés binaires qui subissent la décomposition électro-chimique à l'état fluide seulement, consistent en de simples pro-

portionnelles de leurs principes élémentaires; en ce qui concerne les sels et les combinaisons des corps composés, la même simplicité de rapport ne paraît pas exister comme nous l'avons annoncé; car du biborate de soude ayant été fondu et soumis à l'expérience, il a conduit l'électricité et a été décomposé. Le même effet a encore eu lieu, même lorsque le sel renfermait trois proportionnelles d'acide borique.

§ IV. *Des appareils propres à mesurer l'électricité voltaïque.*

468. On mesure l'électricité qui passe dans une dissolution, au moyen de l'action chimique produite. L'appareil dont M. Faraday (1) a fait usage, et auquel il a donné le nom d'électromètre de Volta, est placé sur la route du courant, et peut servir dans chaque expérience, à volonté, d'étalon comparatif ou de mesureur absolu de l'électricité. Sa construction repose sur ce principe, que l'action chimique décomposante d'un courant est constante pour une quantité constante d'électricité, malgré les variations qui peuvent avoir lieu dans son intensité, dans la dimension des fils ou plaques employés, et la nature des corps conducteurs ou non conducteurs au travers desquels elle passe.

L'eau acidulée par l'acide sulfurique étant facilement décomposable, est le liquide le plus convenable pour servir d'indicateur. On doit éviter avec soin la recombinaison des gaz dégagés, laquelle s'effectue, comme nous l'avons dit précédemment, sous l'influence de la lame positive. La forme des appareils décomposants varie selon le genre d'expériences que l'on a en vue. Le premier consiste en tubes droits, gradués, contenant chacun une plaque et un fil de platine soudés avec de l'or, et fixés par la fusion à l'extrémité fermée du tube (fig. 94 et 95). Ces tubes ont une longueur d'environ

(1) Transact. philos., 1834, p. 85.

8 pouces et un diamètre de 0, 7 de pouce. Les plaques de platine sont aussi larges que possible et placées très-près de l'orifice du tube. Quand il faut dégager les éléments sur une surface très-petite, l'extrémité métallique, au lieu d'être une plaque, est un fil roulé en forme d'anneau (fig. 95). Les tubes sont remplis d'une solution d'acide sulfurique et renversés dans un vase, contenant le même liquide; la fig. 96 indique encore une autre forme d'appareil. Celui de la fig. 97 contient deux plaques ou fils décomposants dans le même tube, afin que la transmission de l'électricité et la décomposition s'effectuent plus rapidement que dans les tubes séparés. Cet appareil est plus convenable que les autres, pour mesurer la quantité d'électricité voltaïque, transmise dans les cas ordinaires. Le flacon auquel est ajusté le tube est rempli à moitié ou aux deux tiers d'une solution d'acide sulfurique. Les gaz, en se portant dans la partie supérieure du tube, ne sont pas soumis au pouvoir de recombinaison du platine, et peuvent être mesurés facilement sans avoir éprouvé de perte. La fig. 98 représente encore un autre appareil dont M. Faraday se sert toutes les fois que les expériences exigent plusieurs jours de durée, et lorsqu'il s'agit de rassembler de grandes quantités de gaz.

469. Voyons d'abord quelle est l'influence de la dimension des plaques ou parties immergées des fils sur la décomposition de l'eau. M. Faraday a employé successivement les instruments décrits précédemment. Un d'eux avait des plaques de 0, 7 pouce de largeur et de 4 pouces environ de longueur; un autre, des plaques de 0, 5 de pouce de largeur et de 0, 8 de longueur; un autre enfin, de 0, 02 de pouce en diamètre et de 3 pouces en longueur; il prit ensuite 4 fils semblables, longs seulement d'un demi-pouce. Tous ces appareils ayant été remplis de la même solution d'acide sulfurique, furent placés à la suite les uns des autres, afin que tout le système fût traversé en même temps par le courant électrique. La première chose qui le frappa, fut de voir que

la quantité de gaz dégagée était à peu près la même dans chaque appareil; en examinant ensuite avec plus d'attention, il reconnut que la plus grande quantité de gaz était dégagée sur la plus petite surface des fils; en effet, un instrument avec deux fils a donné 74, 3 volumes de gaz mêlés; un autre avec des plaques 73, 25 volumes, tandis que la somme de l'hydrogène et de l'oxigène dégagée dans deux tubes séparés montait à 73, 65. Ces différences sont, à la vérité, très-légères; mais nous devons cependant les mentionner ici.

Nous pensons que l'on pouvait prévoir *a priori* que les divers appareils, faisant partie d'un même circuit et étant soumis à l'action du même courant, devaient donner à peu près le même résultat électro-chimique. En effet, quand l'électricité traverse un système de corps conducteurs, solides ou liquides, et qui n'ont pas tous, par conséquent, le même pouvoir conducteur, chaque partie du circuit ne peut recevoir que la quantité d'électricité qui passe dans celle dont le pouvoir est le moins grand, de sorte que, si ce pouvoir est nul, le courant est arrêté. Cela posé, il ne passe donc, dans le même temps, dans une plaque et dans un fil, que la même quantité d'électricité. Il n'est pas étonnant, d'après cela, que la quantité de gaz dégagée sur les plaques ou les fils, soit sensiblement la même quand ils font partie du même circuit, si, comme nous l'avons admis, elle est proportionnelle à la quantité d'électricité qui passe. Mais il ne doit plus en être de même, comme l'expérience du reste le prouve, quand les unes et les autres agissent séparément. Nous ferons observer aussi que l'électricité se trouvant plus concentrée dans le fil que dans la plaque, puisqu'elle occupe un moins grand volume, il ne serait pas étonnant qu'elle agît avec un petit peu plus de force.

Lorsqu'on opère avec des tubes qui ne renferment qu'une seule plaque, on remarque qu'il y a une plus grande quantité d'hydrogène dégagée du côté négatif qu'il n'y a proportionnellement d'oxigène du côté positif, et qu'en général il y en a aussi plus, proportionnel-

lement, que dans un tube à doubles plaques. M. Faraday a attribué ces différences à la solubilité des gaz dégagés particulièrement du côté positif.

Remarquons que les bulles de gaz qui se dégagent autour des lames positives et négatives qui ont des surfaces égales, ont toujours un caractère différent; celles de la plaque positive sont extrêmement petites et séparées, à l'instant où elles se montrent sur chaque partie de la surface du métal. Leur nombre et leur petitesse est telle, que dans le liquide elles ont une apparence grisâtre, et restent plus long-temps mélangées avec lui. Les bulles qui se montrent à la surface négative, quoique renfermant deux fois le volume du gaz qui se dégage sur la lame positive, sont moins nombreuses; elles ne s'élèvent pas de toute la surface, mais bien de certains points. Quoique plus larges, elles paraissent s'attacher au métal, et s'en séparent difficilement; après quoi elles s'élèvent immédiatement au haut du liquide. Si donc l'oxigène et l'hydrogène possèdent la même solubilité dans l'eau, l'oxigène se trouverait dans des conditions plus favorables pour se dissoudre; si l'on ajoute encore à cette considération, que l'oxigène jouit de la propriété de former une combinaison avec l'eau, on ne doit pas être surpris que ce composé se produise en moindre quantité sur la lame positive. Voilà comment on peut concevoir une plus grande quantité de gaz apparente, dégagée du côté négatif.

Revenons à la plus grande quantité de gaz dégagée sur les fils et sur les plaques. On peut encore attribuer cet effet à ce que d'égales quantités ayant été produites dans des temps égaux, les bulles de gaz dégagées sur les fils ont été formées plus promptement, relativement à chaque partie de la surface, et doivent avoir été en même temps plus larges. Elles ont donc été en contact avec le fluide, par l'intermédiaire d'une surface plus petite, et pendant un temps plus court qu'avec les plaques. Il en est résulté alors moins de dissolution et un plus grand amas de gaz.

470. M. Faraday s'est assuré que réellement une partie

des gaz dégagés se dissout dans le liquide; car en les examinant, il y a trouvé de petités quantités d'azote, qui ne pouvaient provenir que de l'air dissous dans l'acide, lequel avait dû être déplacé par les gaz dissous.

Pour éviter la solution des gaz, et afin d'avoir des effets constants, il faut opérer avec des plaques décomposantes dans une position verticale; cet effet est surtout sensible lorsqu'on opère avec une solution de potasse au lieu d'une solution d'acide sulfurique.

Ces préliminaires posés, M. Faraday a préféré prendre l'hydrogène comme indicateur, parce qu'il est moins soluble que l'oxigène, qu'il donne deux fois plus de gaz, et qu'on peut l'obtenir dans un plus grand état de pureté; et il a posé en principe que la différence dans la dimension des lames ne produit pas de variation dans l'action chimique sur l'eau.

471. Cet habile physicien fait remarquer que l'intensité d'un courant qui traverse des conducteurs semblables dans leur nature et leur longueur, étant proportionnelle à la quantité qui passe dans chaque section perpendiculaire à l'axe, divisée par le temps, il doit en résulter que lorsqu'on opère avec de larges plaques et des fils, séparés par une égale longueur du même conducteur décomposant, l'électricité, dans les deux appareils, doit se trouver dans un état très-différent, sous le rapport de la tension, et cependant les résultats chimiques être en général les mêmes. Pour montrer que la différence dans l'intensité du courant n'apporte effectivement aucun changement dans les résultats, on peut se servir de l'appareil fig. 99, au moyen duquel le même liquide est soumis au pouvoir décomposant du même courant électrique qui passe dans le vase A entre de larges plaques de platine, et dans le vase B entre de petits fils. Si l'on introduit dans le circuit l'appareil fig. 96, on peut connaître l'état relatif des deux plaques, par rapport à l'intensité, et en l'appliquant en *a'* et *b'* on voit comment influe l'intensité du courant.

Si l'on dispose trois électromètres de Volta, de manière que le courant, après avoir traversé l'un d'eux, se

divise en deux parties, qui se réunissent quand ils ont traversé chacun d'eux, on trouve alors que la somme des décompositions, dans les deux derniers vases, est toujours égale à la décomposition dans le premier; mais comme l'intensité, dans le courant divisé, n'est pas la même que celle du courant primitif, il faut en conclure que la variation dans l'intensité n'a pas d'influence sur les résultats si la quantité d'électricité reste la même.

472. Voyons ce qui arrive quand on ajoute à l'eau diverses quantités d'acide sulfurique, qui donnent à la solution une pesanteur de 1,475 et au-dessous; si l'on soumet simultanément tous les appareils ci-dessus à l'action du même courant, on trouve, à quelques différences près, que dans toutes les dissolutions la même quantité d'électricité décompose exactement la même quantité d'eau, quoique la quantité d'acide sulfurique se trouve dans les unes 70 fois plus grande que dans les autres. M. Faraday a reconnu, en employant un acide dont la pesanteur spécifique est d'environ 1,336, des résultats plus uniformes; l'oxigène et l'hydrogène étaient plus constamment en proportion égale l'un avec l'autre. Cet acide donne plus de gaz qu'un acide beaucoup plus faible, parce qu'il a un pouvoir dissolvant moindre. En soumettant à l'expérience des solutions d'acides, de sels et de composés différents, on trouve des résultats d'une très-grande uniformité. Avec des solutions de potasse ou de soude caustique, de sulfate de magnésie ou de sulfate de soude, il y a autant d'oxigène et d'hydrogène développés qu'avec la solution d'acide sulfurique qui sert d'étalon. Il en résulte que les changements dans la nature de la solution n'altèrent pas la constance de l'action électro-chimique du courant sur l'eau.

Nous venons de voir qu'un courant qui traverse l'eau, en décompose une portion qui est exactement proportionnée à la quantité d'électricité qu'on a fait passer, malgré les nombreuses différences de circonstances dans

lesquelles elle peut être placée. Si donc l'on se garantit de certains effets secondaires, tels que les dissolutions ou recombinaisons de gaz, les produits de la décomposition étant rassemblés avec soin, peuvent servir de mesure pour l'électricité employée. La solution d'acide sulfurique doit être exempte de toute substance organique, d'acides végétaux ou d'autres corps qui cèdent facilement à l'action décomposante des lames, de l'oxigène ou de l'hydrogène.

Dans quelques cas où l'on agit sur des solutions de sels métalliques capables de se réduire sur la lame négative, l'oxigène peut être avantageusement employé comme substance propre à mesurer l'intensité de l'action chimique. Tel est le cas, par exemple, du sulfate de cuivre. Quand on se sert des appareils décrits précédemment, pour obtenir une mesure absolue, et non une mesure relative, il faut prendre en considération la pression barométrique et la température, et veiller à ce que les instruments soient gradués sur une seule échelle. L'appareil fig. 98 est ce qu'il y a de mieux, puisque le gaz peut être mesuré sur l'eau, tandis que dans les autres appareils il se trouve sur des solutions acides ou salines. Cet instrument, qui indique la quantité d'électricité qui a passé, peut servir à mesurer l'électricité voltaïque: c'est pour ce motif que M. Faraday l'a appelé électromètre de Volta.

CHAPITRE VII.

DES CAUSES QUI FONT VARIER L'ACTION CHIMIQUE DE LA PILE.

§ 1er. *Des effets chimiques de la pile, quand on change la nature du liquide qui est placé dans les auges.*

473. L'ÉNERGIE chimique de la pile ne suit pas le même rapport que sa tension électrique. Moins le liquide qui est placé entre les plaques agit chimiquement, plus la tension est grande, et moins en même temps l'action chimique est considérable. MM. Gay-Lussac et Thénard, avec la grande batterie voltaïque que Napoléon avait donnée à l'École polytechnique, ont essayé d'établir des rapports entre l'énergie chimique de la pile et la tension de ses pôles.

Ils ont d'abord reconnu, comme on l'avait déja observé avant eux, que l'intensité des effets chimiques varie suivant que les fils de platine qui communiquent avec les pôles plongent dans l'eau, dans une dissolution saline, acide ou alcaline. Ainsi, la quantité de gaz dégagée est plus forte avec de l'eau qui contient un sel, que lorsqu'elle est pure, et elle augmente avec la quantité d'acide qu'on y ajoute. Tous ces effets s'expliquent très-bien, au moyen des documents que nous possédons.

Le liquide sur lequel ces deux chimistes ont opéré était contenu dans un entonnoir de verre, dont le bec était traversé par deux fils de platine scellés à une

certaine distance l'un de l'autre, et mis en communication chacun avec l'une des extrémites de la pile.

Ayant observé que la quantité de gaz obtenue était d'autant plus grande, toutes choses égales d'ailleurs, que les solutions acides ou salines conduisaient mieux l'électricité, ils ont pris cette quantité pour la mesure des effets chimiques, comme l'a fait depuis M. Faraday.

Ils ont d'abord trouvé que le chlorure de sodium ajouté aux acides augmentait considérablement les effets chimiques de la pile. Voici la moyenne des résultats qu'ils ont obtenus:

PILE montée avec l'acide seul.	PILE montée avec le sel seul.	PILE montée avec le mélange de sel et d'acide.
88,7 de gaz.....	..... 11,7	 187,0

Les effets chimiques de la pile sont donc sensiblement proportionnels à la force de l'acide avec lequel on la met en activité, puisque avec des mélanges d'eau et d'acide nitrique, dans diverses proportions, la quantité de gaz dégagée est double pour une quantité double d'acide. Ce rapport n'a plus lieu au-delà d'une certaine proportion.

§ II. *De la quantité de gaz dégagée, suivant que la partie des fils immergés est plus ou moins longue.*

474. Les résultats contenus dans le tableau suivant montrent que l'on n'augmente pas les effets de la pile en augmentant la longueur des fils au-delà d'une certaine limite.

COMPOSITION de l'acide qui était dans la pile.	LONGUEUR de la partie immergée des fils de platine.	QUANTITÉ de gaz, résultat moyen de cinq expériences.
40 p. d'eau..... 1 p. d'acide nitrique....	..... 8 centimètres.....	..... 149 p.
idem.....	..... 4	..... 156 p.
idem.....	..... 2	..... 165 p.
L'acide de l'entonnoir ayant été rendu plus fort.....	..... 2	..... 169 p.

§ III. *Des rapports de conductibilité des acides et des alcalis sous le rapport des effets chimiques de la pile.*

475. MM. Gay-Lussac et Thénard ont fait plusieurs expériences pour déterminer le rapport de conductibilité des acides et des alcalis, sous le rapport des effets chimiques. Les résultats consignés dans le tableau suivant renferment les données nécessaires pour tirer des conséquences générales.

Le liquide de la pile était composé de seize parties d'eau et d'une partie d'acide nitrique, et celui de l'entonnoir de

Acide nitrique faible, étendu d'un volume d'eau égal au sien.	Trois expériences ont donné 827 parties de gaz.
Dissolution de soude pure, telle qu'à volume égal elle saturait l'acide précédent; on l'a également étendue d'un volume d'eau égal au sien.	Trois expériences consécutives ont produit 518 parties de gaz.
On a mêlé, à volume égal, de l'acide et de l'alcali, tels qu'ils étaient avant qu'on ait ajouté de l'eau.	On a trouvé pour résultat total des trois expériences, 223 parties de gaz.

On voit par là que l'acide est meilleur conducteur

que l'alcali, lorsqu'ils se trouvent dans l'eau l'un et l'autre en telle quantité que, sous des volumes égaux, ils se neutralisent complétement, et que l'alcali conduit mieux que le sel qui en résulte.

Dans la nouvelle théorie électro-chimique, où l'action du contact des métaux est négligée, on rend facilement compte de ces différents effets. Nul doute que la quantité de gaz produite dans les circonstances actuelles ne dépende du degré de conductibilité du liquide que l'on soumet à l'action décomposante de la pile; mais elle doit dépendre encore d'une autre cause, dont il n'a pas été fait mention, de la facilité avec laquelle sont séparées les parties constituantes des corps qui ont été ajoutés à l'eau. Pour l'instant, nous ne pouvons pas traiter cette question, nous nous bornons à en faire mention.

§ IV. *Des rapports qui existent entre les effets chimiques et les quantités de sels mises dans l'entonnoir.*

476. MM. Gay-Lussac et Thénard ont dû chercher naturellement quels étaient les effets chimiques de la pile quand on variait les quantités de sel mises dans l'entonnoir. Ils ont pris d'abord une solution de soude pour la première expérience; pour la seconde, ils l'étendirent d'un volume d'eau égal au sien, et ainsi de suite. Ils ont trouvé les résultats suivants, la pile ayant été chargée avec de l'eau renfermant un seizième d'acide nitrique du commerce:

NUMÉROS des expériences.	RÉSULTAT moyen de trois expériences.	QUANTITÉ de sulfate de soude desséché, contenu dans la dissolution.
1	328	0,10498
2	264	0,05248
3	208	0,02624
4	175	0,01312
5	146	0,00656
6	128	0,00328
7	87	0,00164
8	72	0,00082
9	49	0,00041

On voit qu'avec le sulfate de soude les effets chimiques de la pile sont d'autant plus grands que la dissolution saline est plus forte, et que les quantités de gaz obtenues croissent comme les racines cubiques des quantités de sel contenues dans les solutions. MM. Gay-Lussac et Thénard n'ont trouvé cette loi que pour le sulfate de soude seulement, car les autres n'en suivent aucune.

§ V. *Des rapports qui existent entre les effets chimiques, le nombre et la surface des plaques de la pile.*

477. Les effets chimiques de la pile doivent varier en raison du nombre et de la surface des plaques qui la composent. Ces deux chimistes ont fait plusieurs expériences pour déterminer dans quelques cas les effets produits. Ils ont d'abord eu égard au nombre des plaques et ont employé pour le liquide de la pile un acide assez faible, et pour celui de l'entonnoir un acide suffisamment fort pour qu'il fût bon conducteur avec des piles très-différentes.

NOMBRE des plaques.	RÉSULTAT moyen de deux expériences.	RÉSULTAT calculé, en supposant les quantités de gaz proportionnelles à la racine cubiq. du nombre des plaq.
15	213	214
30	264	260
60	271	340
120	412	428

Ces expériences et d'autres du même genre qu'ils ont faites, prouvent que les effets chimiques de la pile n'augmentent pas à beaucoup près dans le même rapport que le nombre des éléments, car ces effets s'éloignent peu d'être proportionnels à la racine cubique du nombre des plaques.

Ces deux chimistes ont tiré de ces résultats la conséquence suivante. « Supposons qu'une pile de 20 paires « ait la faculté de décomposer un corps tel que l'eau; « il est évident qu'il vaudra mieux faire agir des « piles séparées chacune de 20 paires, que de les « réunir bout à bout. Dans le premier cas, l'effet to- « tal sera proportionnel au nombre des piles; et dans « le second, il serait seulement proportionnel à la ra- « cine cubique de ce nombre. Il y a donc beaucoup de « cas dans lesquels il est préférable de n'employer que « de petites piles : il en est pourtant plusieurs dans « lesquels on doit employer des piles très-grandes ou « formées d'un grand nombre de paires; on doit le faire « surtout lorsqu'il s'agit de séparer des éléments qui « ne peuvent céder qu'à une force répulsive considé- « rable. »

Pour déterminer le rapport qui existe entre les effets de la pile et la surface des paires qui la composent, ils ont pris deux piles de 20 paires, dont la surface de l'une était à celle de l'autre dans le rapport de 1 à

19,7. Le liquide dont les piles étaient chargées était composé de 40 parties d'eau et d'une d'acide nitrique. Le liquide de l'entonnoir n'était étendu que de 3 parties d'eau. La distance entre les plaques n'étant pas la même, ils ont pris la capacité des auges : celle des petites était dans le rapport de 1 à 22,2 à celle des grandes. D'après cela, ils ont dû multiplier par $\frac{19,7}{22,2}$ l'effet de la grande, afin de la comparer à celui de la petite, puisqu'ils avaient trouvé que les effets d'une pile étaient proportionnels à la quantité d'acide employée pour la mettre en activité.

NOMBRE D'EXPÉRIENCES.	VOLUME gazeux.	VOLUME gazeux réduit.
Trois expériences consécutives, de 15 minutes chacune, ont donné avec la grande.....	centilitres. 43,67	 38,75
Trois expériences, pendant 15 minutes chacune, ont donné avec la petite...	..... 1,88	.....

Le rapport des quantités de gaz dégagées étant 20,61 et celui des surfaces 19,7, MM. Gay-Lussac et Thénard en ont conclu que les effets chimiques de deux piles, d'un même nombre de paires, étaient à peu près proportionnels aux surfaces.

§ VI. *Comparaison entre les effets chimiques et la tension électrique d'une pile montée avec divers liquides.*

478. MM. Gay-Lussac et Thénard ont monté une pile de 20 paires avec de l'acide nitrique; après un contact très-court d'un des pôles avec le plateau supérieur d'un condensateur très-sensible, celui-ci s'est chargé au point de donner une étincelle très-visible. Ayant été chargé

de nouveau, il donna à la balance de Coulomb une divergence de 91°; dans une seconde expérience faite cinq minutes après, elle fut de 92°; dans une troisième, de 90°; et dans une quatrième, de 91°.

Voilà donc une pile montée pendant plus d'une demi-heure, qui conservait la même tension. Elle n'a commencé à diminuer qu'au bout de trois quarts d'heure, et trois heures après elle était encore de 79°; elle n'était fortement diminuée que le lendemain. Si l'on compare maintenant la tension avec les effets chimiques, on trouve que la tension s'est soutenue pendant trois quarts d'heure sans éprouver de changement sensible; tandis que l'action chimique était presque entièrement annulée une demi-heure après.

Quand l'action chimique de la pile est épuisée, la durée du contact du condensateur influe beaucoup sur la quantité d'électricité dégagée, comme on peut le voir dans le tableau suivant :

PILE montée avec l'acide nitrique très-faible.	PILE montée avec le sulfate de soude.	PILE mêlée avec un mélange de sulfate de soude et d'acide nitrique.
82° contact instantané....	..... 69° cont. inst.....	..... 82° cont. inst.
88° en 2'.....	..... 84° en 2'.....	..... 101° en 2'
79° cont. inst.....	..... 68° cont. inst.....	..... 77° cont. inst.
97° en 3'.....	..... 85° en 2'.....	..... 97° en 2'
71° cont. inst.....	..... 67° cont. inst.....	..... 101° en 5'
80° en 2'.....	..... 77° en 2'.....	..... 74° cont. inst.
32° cont. inst.....	..... 60° cont. inst.....	..... 97° en 5'
34° en 2'.....	..... 68° en 2'.....	..... 67° cont. inst.
16° cont. inst.....		..... 90° en 5'
20° en 2'.....	La pile montée avec le sulfate de soude s'est soutenue plus long-temps qu'avec l'acide nitrique.	..... 68° cont. inst.

MM. Gay-Lussac et Thénard ont observé avec beaucoup de raison : 1° que la tension croissant avec la durée du contact, cet effet ne peut dépendre que de la conductibilité plus ou moins grande des liquides employés :

aussi, quand on emploie de l'acide nitrique, qui est meilleur conducteur qu'un sel, le condensateur se charge-t-il plus promptement que lorsque l'acide est saturé, et la décomposition chimique est-elle plus rapide; 2° que tous les phénomènes de la pile ne peuvent pas être expliqués seulement par la conductibilité des liquides, car si l'on opère avec une solution de sulfate de soude assez concentrée pour qu'elle conduise mieux l'électricité que l'acide nitrique étendu, la pile chargée avec l'acide sera plus énergique que chargée avec le sel. Ils attribuent cette différence dans l'énergie à ce que le sulfate de soude ainsi que l'acide nitrique ne se décomposent pas lorsqu'ils sont hors de la pile, et qu'ils communiquent seulement avec elle, au moyen de deux fils de platine adaptés à ses pôles; tandis qu'ils se décomposent tous deux, plus ou moins promptement, lorsqu'ils sont dans les auges mêmes de la pile.

Ils pensent en conséquence, que l'*énergie chimique d'une pile dépend de sa tension, de la conductibilité des liquides avec lesquels on la charge, et de la facilité avec laquelle on les décompose.*

CHAPITRE VIII.

ACTION DE LA PILE SUR DIVERSES SOLUTIONS.

§ Ier. *De l'action de la pile sur les solutions salines.*

479. Nous sommes à même maintenant d'étudier les décompositions électro-chimiques avec tous les développements qu'elles comportent. Commençons par l'action de la pile sur les solutions salines.

Nous savons que lorsqu'une solution saline est soumise à l'action d'un courant voltaïque, par l'intermédiaire de deux lames de platine, en communication chacune avec l'un des pôles d'une pile, l'eau et le sel sont décomposés; l'oxigène et l'acide sont transportés au pôle positif, l'hydrogène et la base au pôle négatif. Ce transport est soumis à des lois que nous devons faire connaître.

Prenons trois coupes de porcelaine communiquant ensemble au moyen de tubes de verre remplis d'argile humide; plaçons dans les deux coupes extrêmes de l'eau, et dans celle du milieu une solution de chlorure de sodium. Faisons communiquer les deux dernières chacune avec l'un des pôles d'une pile de trente éléments, peu de temps après, le chlore se montre au pôle positif et l'alcali au pôle négatif; ainsi la décomposition a eu lieu, bien que les lames décomposantes ne soient pas en contact immédiat avec la solution saline. L'effet

aurait été encore le même si la solution eût été placée dans les capsules extrêmes, et que la capsule du milieu n'eût renfermé que de l'eau.

480. Le transport des éléments s'effectue avec une telle énergie, que souvent ces éléments traversent des milieux pour lesquels ils ont une grande affinité, sans s'y arrêter; par exemple, si dans la capsule positive on place de l'eau pure, dans celle du milieu une solution d'ammoniaque, et dans la capsule négative une solution de sulfate de potasse, la potasse reste dans la première, et l'acide est transporté dans la troisième, bien qu'il ait traversé une solution d'ammoniaque, avec laquelle il a cependant une grande affinité. Mais il n'en est plus de même, quand l'acide ou l'alcali rencontrent sur leur passage un corps avec lequel ils peuvent former un composé insoluble, et que la pile n'a pas une énergie très-considérable. Dans ce cas, la combinaison s'effectue, et le corps qui était primitivement transporté cesse de faire partie de la chaîne électrique. C'est précisément ce qui arrive quand la capsule du milieu renferme un sel à base de baryte, et la capsule négative une solution d'un sulfate; l'acide sulfurique en traversant la solution du sel barytique décompose le sel et forme un sulfate de baryte, qui se précipite. Avec une pile très-énergique, capable de vaincre l'affinité de la baryte pour l'acide sulfurique, le précipité n'aurait pas eu lieu, l'action aurait été la même que celle qui est produite par des courants énergiques sur les principes constituants des vases de terre ou de verre qui renferment les liquides soumis à l'expérience; dans ce cas, ces principes sont retirés des vases par l'action du courant qui parvient à vaincre leur affinité. En général, les éléments qui sont transportés par les courants sont arrêtés quand ils rencontrent des corps avec lesquels ils peuvent former des composés insolubles; pour que le transport ait lieu avec des piles d'une tension ordinaire, il faut que les composés soient constamment solubles. Voyons quelques exemples: prenons deux tubes de verre remplis chacun à l'une de leurs extrémités d'argile très-pure légèrement

humectée, afin que les solutions placées dans les parties supérieures ne puissent s'échapper, et plongeons-les à moitié dans un vase rempli d'eau. Le premier, que nous appellerons tube positif, parce qu'il communique, au moyen d'une lame de platine, avec le pôle positif d'une pile, contient une dissolution de nitrate de cuivre, et le second, que nous désignerons sous le nom de tube négatif, de l'eau rendue conductrice par l'addition d'une très-petite quantité de sel. Aussitôt que la pile commence à fonctionner, l'eau est décomposée, l'oxigène et l'hydrogène sont transportés à leurs pôles respectifs, tandis que le nitrate de cuivre n'éprouve aucune décomposition; tandis que la décomposition aurait eu lieu avec un nitrate alcalin. Comment, en effet, l'oxide de cuivre serait-il transporté du pôle positif au pôle négatif, en traversant une certaine étendue d'eau, quand ce liquide ne lui présente pas les éléments nécessaires pour former un composé soluble, condition sans laquelle le transport ne saurait avoir lieu, surtout quand on emploie une pile dont l'action est peu énergique? Celle dont on a fait usage, était formée de trente éléments d'un décimètre carré et chargée avec une solution légère de sel marin renfermant un centième d'acide sulfurique. En opérant d'une manière inverse, c'est-à-dire en mettant la lame positive dans l'eau et la lame négative dans le nitrate de cuivre, la décomposition de ce dernier s'opère sans difficulté, puisque l'acide nitrique peut se rendre au pôle positif en prenant pour véhicule l'eau ou tout corps qui s'y trouve dissous.

Substituons au nitrate qui se trouve dans le tube positif, un sel à base alcaline ou terreuse; la décomposition s'effectue sans difficulté, puisque l'alcali forme un composé soluble avec l'eau.

481. Les expériences suivantes feront connaître encore quelques-unes des causes qui s'opposent aux décompositions immédiates des sels, quand la communication entre les deux extrémités de la pile n'est pas établie convenablement : si l'on verse dans le tube négatif une

solution de sulfate de cuivre, et dans l'autre une solution de nitrate de potasse, l'eau est décomposée et l'acide nitrique du nitrate est mis à nu; la potasse, en se rendant dans le tube négatif, réagit sur le sulfate de cuivre, en chasse une partie de l'oxide de cuivre, qui est réduit immédiatement, par l'action combinée de la pile et de l'hydrogène, et donne naissance à un double sulfate de cuivre et de potasse qui, en raison de son peu de solubilité, cristallise bientôt sur les parois du tube. Tant qu'il reste du sulfate de cuivre simple à décomposer, et qu'il y a une quantité suffisante de nitrate de potasse dans le tube positif, l'acide sulfurique n'est pas transporté dans celui-ci; mais aussitôt que le double sulfate commence à être décomposé, sa présence dans ce tube y est rendue sensible, au moyen du nitrate de baryte. Cet effet est facile à expliquer : quand deux solutions salines sont mélangées ensemble, la pile exerce, de préférence, son action sur la solution dont le sel est le plus soluble; il existe donc des rapports tels entre la solubilité et la faculté de transport, que les courants électriques prennent de préférence les éléments des corps qui ont le plus d'affinité pour l'eau; c'est un principe que l'on peut vérifier dans une infinité de cas. D'un autre côté, l'acide sulfurique du sulfate y est retenu par l'affinité de la potasse qui arrive du tube positif; mais aussitôt que le nitrate de potasse est décomposé, et qu'il n'existe plus de sulfate simple, alors la pile exerce son action sur le double sulfate, et l'opération est terminée quand toutes les bases sont d'un côté et les acides de l'autre.

Si dans le tube positif, ainsi que dans le bocal intermédiaire, on met une solution de nitrate de potasse, et, dans le tube négatif, une solution saturée à parties égales de nitrate et de sulfate de cuivre, ces deux sels seront décomposés, mais successivement et à des époques assez éloignées. Voici la marche de l'opération : du cuivre est réduit sur la lame négative, de la potasse passe dans le tube négatif, et s'y combine avec une portion de l'acide sulfurique; de l'acide nitrique devient

libre dans le tube positif, et aucun réactif ne peut y faire reconnaître la présence de l'acide sulfurique. Ce résultat nous indique de suite que le nitrate de potasse d'une part, et celui de cuivre de l'autre, ont été décomposés avec transport de leurs éléments à leurs pôles respectifs; tandis que le sulfate de cuivre, par les actions combinées de la pile et de la potasse, a été également décomposé, mais sans qu'il y ait transport de l'acide au pôle positif, parce qu'il y a eu formation d'un double sulfate. Cette expérience, qui rentre dans la précédente, montre que le résultat est le même, que le tube négatif renferme ou non un nitrate, ou un mélange de sulfate ou de nitrate de cuivre. L'opération continue comme précédemment.

482. L'acide sulfurique est bien retenu dans le tube négatif, par l'action qu'il exerce sur la potasse transportée et par l'affinité du sulfate formé pour le sulfate de cuivre; mais il peut se faire aussi que l'acide nitrique, qui se trouve placé d'une manière continue de l'un à l'autre tube, quoique combiné avec deux bases différentes, se trouve dans une circonstance plus favorable pour que la décomposition commence par les nitrates. S'il en était ainsi, il serait possible de résoudre cette question : un mélange de plusieurs solutions salines étant donné, en opérer successivement la décomposition avec la pile, de manière que tel ou tel acide soit d'abord transporté seul dans le tube positif. Si l'on avait, par exemple, une solution qui renfermât un sulfate, un chlorure et un nitrate métalliques, comment faudrait-il disposer l'appareil, pour que le sulfate ne fût pas d'abord décomposé? Il suffirait probablement de verser un mélange des trois sels dans le tube négatif, et de mettre une solution de nitrate et de chlorure alcalins dans le tube positif, ainsi que dans le tube intermédiaire. Ces deux sels seraient décomposés; et il se formerait dans le tube négatif un double sulfate, qui ne subirait pas d'abord l'action décomposante de la pile; le chlorure et le nitrate seraient donc d'abord les seuls sels décomposés.

En disposant les appareils de manière à former des doubles sels ou des composés insolubles, on peut arriver à résoudre la question que nous avons posée.

§ II. *De la décomposition des sels avec réduction immédiate de leurs bases.*

483. En soumettant à l'action d'une pile de trente éléments, et même d'un nombre bien moindre, des solutions de manganèse, de zinc, de fer, d'étain, d'arsenic, d'antimoine, de bismuth, de cuivre, de plomb, de mercure, d'argent, d'or, de platine, la lame négative se recouvre en peu d'instants de métal réduit, tandis que les solutions de titane, de nickel, de cobalt, d'urane, de chrome, etc., n'offrent aucune trace sensible de réduction. Quant aux solutions des sels de potasse, de soude, de baryte, etc., dont le radical des bases décompose l'eau, elles ne donnent non plus aucune trace de réduction. Si l'on veut obtenir ces radicaux, il faut opérer, non sur la solution, mais sur des morceaux d'alcali même, en employant des piles composées d'une centaine d'éléments.

Indiquons d'abord les effets de décomposition obtenus avec des piles très-énergiques; prenons celle qui a été construite à l'École polytechnique par ordre de Napoléon, et dont nous avons déja donné la description; parlons d'abord de quelques-unes de ses propriétés.

Cette pile ayant été chargée avec de l'eau tenant en dissolution neuf à dix centièmes de sel marin, et un soixante-dixième d'acide sulfurique concentré, a montré d'abord que l'eau était un mauvais conducteur, puisque l'on pouvait tirer des étincelles au moyen de deux fils de platine plongeant dedans, et en communication avec les pôles. Il ne se dégageait en même temps qu'une quantité de gaz à peine sensible; mais pour peu que l'eau contînt un acide, il s'en dégageait des torrents.

La commotion que donnait cette pile quand les mains étaient mouillées avec une dissolution acide ou saline, était insupportable; et les effets s'en sont fait

ressentir encore pendant plus de vingt-quatre heures. Quatre ou cinq personnes, formant chaîne, n'en étaient point sensiblement affectées, probablement en raison de la diminution dans la conductibilité du circuit ; il n'y avait que celles qui formaient les extrémités qui le fussent dans les bras et la partie du corps qui avoisinait la pile.

La potasse et la soude, soumises à son action, se sont échauffées, fondues et décomposées avec la plus grande rapidité. Le potassium et le sodium brûlaient en formant des jets enflammés qui imitaient une gerbe d'artifice. MM. Gay-Lussac et Thénard n'ont pu en recueillir des globules que lorsque l'action a été ralentie.

Vingt minutes après que la batterie eut commencé à fonctionner, la tension de l'électricité n'ayant pas changé et les commotions étant encore très-fortes, les alcalis ne furent plus décomposés.

La baryte, soumise à son action, a disparu, sous forme d'une fumée très-dangereuse à respirer ; des étincelles s'élançaient de la surface vers le fil négatif.

La strontiane et la chaux n'ont donné aucun signe sensible de décomposition.

La magnésie a résisté à l'action la plus énergique de la pile. En la soumettant à l'expérience, combinée avec l'acide sulfurique, elle n'a offert que de faibles indices de décomposition. Quant aux terres, elles n'ont donné aucun signe de décomposition.

484. Davy, qui a retiré le premier, de la potasse et de la soude, le potassium et le sodium, qui jouissent de la singulière propriété de s'enflammer sous l'eau pour redevenir potasse et soude, a opéré de la manière suivante : il mit de l'hydrate de potasse, légèrement humide, sur une plaque de platine communiquant avec le pôle positif d'une pile de cent à cent cinquante paires fortement chargée. Le pôle négatif communiquait avec la potasse, au moyen d'un fil de platine. Aussitôt il se déposa à l'extrémité de ce fil un grand nombre de petits globules de métal, qui jouissaient de la propriété

dont nous venons de parler. Davy en a conclu immédiatement que la potasse était formée d'un métal, auquel il donna le nom de potassium, qui se rendait au pôle négatif, et d'oxigène que l'on pouvait recueillir au pôle positif. Il fut démontré par là que la pile était capable de vaincre les plus grandes affinités connues.

Mais si cette méthode est parfaite pour montrer que l'action électrique est capable de vaincre les affinités les plus énergiques, elle ne peut servir à se procurer une certaine quantité de potassium, attendu qu'au fur et à mesure que les globules se forment, ils brûlent au contact de l'air. Il faut avoir recours alors à un autre principe; on conçoit, si l'on joint à l'action d'un courant peu énergique, l'affinité de certains corps pour le métal dont on veut opérer la réduction, que l'on puisse parvenir, en choisissant convenablement ces corps, non seulement à décomposer l'oxide, mais encore à faire entrer le métal en combinaison avec ces corps, d'où pourra résulter un composé qui sera moins facilement attaqué par le liquide environnant que le métal.

485. M. Seebeck a mis le premier ce principe en pratique, pour préserver de l'action de l'air le potassium; à mesure qu'il se déposait au pôle négatif, il le combinait immédiatement avec le mercure. Cette expérience peut être faite avec une pile d'un petit nombre d'éléments : on creuse à cet effet une petite cavité dans un fragment de potasse légèrement humecté, et on la remplit de mercure; ce fragment est ensuite posé sur la plaque de platine, tandis que le fil négatif plonge dans le mercure. L'alcali et l'eau sont alors décomposés; leurs principes constituants sont transportés à leurs pôles respectifs, et le radical de l'alcali, en se combinant avec le mercure, forme un amalgame qui ne se décompose pas, ou se décompose faiblement, tant qu'il fait partie du circuit. On le met ensuite dans l'huile de naphte pour empêcher qu'il ne soit décomposé au contact de l'air et de l'eau qui s'y trouve.

Pour en séparer ensuite le mercure, on place l'amal-

dans l'autre une lame de zinc; puis l'on établit la communication entre les deux lames; l'appareil est ensuite abandonné à lui-même. Il y a d'abord décomposition de l'eau et du sel marin, transport d'hydrogène et de soude dans le tube où se trouve le chlorure de zirconium; peu à peu la lame de platine prend une teinte grisâtre et l'on commence ensuite à apercevoir sur sa surface des lamelles carrées d'un gris d'acier très-brillant, lesquelles augmentent successivement d'étendue, jusqu'à avoir un demi-millimètre de côté. Ces lamelles, pendant un certain temps, n'éprouvent aucun changement, tant qu'elles restent sous l'influence du courant électrique; mais aussitôt que cette influence est détruite, elles se décomposent assez rapidement à l'air; en mettant la lame de platine dans l'eau, on ne tarde pas à apercevoir des bulles de gaz hydrogène, provenant de la décomposition de l'eau.

Les premières lamelles déposées sont formées d'un alliage de fer et de zirconium, dans lequel ce dernier métal s'y trouve en excès; les dernières qui se déposent ne paraissent renfermer qu'une très-petite quantité de fer, car en les laissant exposées à l'air, le produit de leurs décompositions est d'un blanc beaucoup moins terne que celui qui provient des premières lamelles.

En opérant avec une solution de zirconium qui ne renferme aucune trace de fer, il n'y a aucune apparence de réduction; la présence d'une très-petite quantité de fer dans la solution est donc une cause déterminante pour opérer la réduction de la zircone.

490. Il arrive très-fréquemment, lorsque l'appareil a fonctionné pendant un certain temps, que les lamelles métalliques s'altèrent, se ternissent, deviennent blanches, c'est-à-dire, se changent en zircone, puis disparaissent. Ces effets sont faciles à expliquer. L'action du petit appareil n'est pas indéfinie; il arrive un certain instant où la solution de chlorure de sodium est saturée de zinc, et cesse d'agir par conséquent sur ce métal; alors l'action électrique est très-faible, le zir-

conium déposé, n'étant plus dans un [illegible]
fort pour résister à l'action [illegible]
réagit sur elle, la décomposes [illegible]
dissoute par l'excès d'acide [illegible]
ou l'alliage de zirconium et de fer [illegible]
lame de platine dans le vide avec [illegible]
puis mettre rapidement cette lame dans un [illegible]
bien sec, au fond duquel [illegible]
mer l'ouverture à la lampe. Quand [illegible]
exécutées promptement [illegible]
leur éclat métallique [illegible]
napute [illegible]
lution [illegible]
face, sui[illegible]
prenan[illegible]
niun[illegible]
que [illegible]
differe[illegible]
humi[illegible]
laque[illegible]
tra[illegible]
nous [illegible]
et [illegible]
M. [illegible]

40[illegible]
LOXI[illegible]
tria[illegible]
fer[illegible]
chlor[illegible]
à cet[illegible]
lines [illegible]
aus[illegible]
mon[illegible]
faiten[illegible]
trac[illegible]

492. [illegible]

duire les plus grands effets possibles de décomposition.

Souvent dans les phénomènes électro-chimiques, et surtout dans ceux dont il est ici question, on est obligé, pour avoir des effets que l'on puisse comparer, d'employer des courants électriques sensiblement égaux en intensité; rien n'est plus simple que de les obtenir quand les solutions qu'ils traversent ont la même conductibilité électrique. Il suffit de plonger dans chacune d'elles une lame de platine que l'on met en communication avec le même pôle d'une pile, tandis que les deux dissolutions sont en rapport elles-mêmes avec l'autre pôle, au moyen de deux lames de platine. On peut ainsi diviser un courant en autant de courants partiels qu'il y a de solutions. Quand celles-ci ont la même conductibilité électrique et que les lames de platine, dans chacune d'elles, sont placées à la même distance, les courants ont nécessairement la même intensité.

Nous devons faire remarquer que plus les diamètres des tubes sont petits, plus l'action capillaire, exercée par les liquides sur leurs parois et l'argile inférieure, est considérable, et moins aussi on a à craindre le déplacement des solutions, dont le mélange détruirait tous les effets que l'on a en vue.

493. Réduction de la silice et de l'alumine. — Le silicium peut être retiré de la silice par la même méthode qui a servi à obtenir les métaux des terres, c'est-à-dire avec l'appareil des deux tubes. On prend une solution saturée de silice en gelée dans de l'acide hydro-chlorique concentré du commerce, qui renferme toujours une petite quantité de fer; dans l'autre tube on verse une solution de sel marin; on plonge dans celle-ci une lame de zinc, et dans l'autre une lame de platine. En vertu des effets électriques déja décrits, la lame de platine se recouvre peu à peu de lames métalliques d'un brillant éclatant, qui n'est autre chose qu'un alliage de fer et de silicium avec un excès de ce dernier métal. Les dernières parties de silicium qui se déposent ne renferment qu'une très-petite quantité relative de fer, car leur

altération à l'air donne une substance blanche comme la silice. Cet alliage, comme les autres, se décompose très-vite à l'air humide : pour le conserver, il faut employer les procédés décrits plus haut.

Ce qu'il y a de bien remarquable dans cette expérience, c'est que l'action de l'acide hydro-chlorique concentré, qui est si violente sur le silicium, tel qu'il est préparé ici, quand il n'est plus sous l'influence électrique, est détruite en totalité, par cette même influence, qui est très-faible en apparence, puisque l'appareil n'est composé que d'un seul couple voltaïque. Cet exemple montre encore qu'avec un simple courant on peut vaincre des affinités puissantes.

L'aluminium s'obtient par le même procédé.

§ IV. *Observations sur les alliages du fer*

494. Nous venons de montrer que l'on pouvait réduire certains oxides métalliques, en se servant de l'affinité que le fer exerce sur les métaux qui leur servent de base; il est bon de donner quelques notions sur les propriétés dont jouissent les alliages semblables que la chimie peut former.

Le fer se combine avec le silicium, quand on expose à une température élevée de la silice, de la limaille de fer et du charbon en poudre; le charbon aide ici à la réduction de la silice. Les propriétés de cet alliage varient suivant la quantité de silicium qu'il renferme; en général il est cassant ou ductile, suivant que cette quantité est plus ou moins grande. Ces alliages ne s'altèrent à l'air que lorsqu'ils renferment plus de 5 ou 6 pour cent de silicium.

Le procédé que nous avons décrit montre que l'on peut obtenir aussi des alliages de ces deux métaux en diverses proportions, puisque les dernières lamelles qui se déposent sur la lame de platine ne renferment qu'une quantité excessivement faible de fer. Quand l'appareil n'est composé que d'un seul couple, l'action étant très-

par suite de laquelle celle-ci prend l'électrici tive et joint son action à l'autre. L'existence de l voltaïque étant bien constatée, on détache l lames du fil du multiplicateur, et on les réun l'autre avec un fil de cuivre, puis on abando pareil à lui-même. L'argile qui est placée da du tube est destinée à retarder autant que p mélange des deux solutions; il se passe souve entiers et même des années avant que le m soit effectué. Pendant tout ce temps, les effets que nous avons reconnus ne cessent d'avoir effets étant continus, s'ajoutent nécessairement ils sont produits par des actions chimiques des éléments à l'état naissant, il s'ensuit que c sont transportés à leurs pôles respectifs, e donner naissance à de nouveaux composés qu sent. Voilà l'avantage que l'on peut retirer de chimiques produites par des forces électri l'action n'est pas interrompue; mais pour nous nous en tiendrons à la réduction du cu

A l'instant où la solution de sel marin co réagir sur le cuivre, pour former un oxi-ch métal s'oxide aux dépens de l'oxigène de l'eau de l'air qui est dans l'eau. L'hydrogène, qui tat naissant, se transporte sur l'autre lame q dans le nitrate, et joint son action à celle d négative pour décomposer le nitrate. Le cuiv duit, et se dépose sur la lame en cristaux qui peu à peu de l'accroissement. On obtient qu des cristaux qui ont 1 à 2 millimètres de côté l'appareil peut fonctionner pendant plusieurs Une condition essentielle à remplir est d'emp l'argile très-pure, légèrement humectée et suffis tassée, sans l'être cependant trop, pour que le des deux liquides soit excessivement lent. Si le ta était trop fort et que l'argile ne fût pas assez hu le courant électrique ne pourrait plus passer, et rait cessation d'effets; si le mélange était trop

l'action serait trop forte, et cesserait bientôt. Ce qu'il y a de mieux à faire est de disposer l'appareil pour que les deux solutions réagissent non pas l'une sur l'autre, mais sur l'eau de l'argile; dès lors on a une action très-faible. On doit laisser libres les deux bouts extérieurs des lames de cuivre, afin de pouvoir les mettre en rapport avec le multiplicateur, pour s'assurer si l'appareil fonctionne toujours; dès l'instant que le multiplicateur ne parle plus, il faut interrompre l'expérience et la recommencer. Les cristaux que l'on obtient sont la plupart du temps des octaèdres réguliers d'une grande netteté, et doués du brillant métallique le plus parfait. On obtient quelquefois des octaèdres segminiformes et des octaèdres à faces pentagonales.

D'où peut provenir cette variation dans la cristallisation? Nous n'avons pas encore pu en déterminer la cause, qui est due souvent à une circonstance excessivement légère. Nous avons reconnu cependant que la densité de la dissolution a souvent une influence déterminante sur la production des facettes secondaires qui remplacent les arêtes et les sommets; nous aurons l'occasion de revenir plus tard sur ce point, qui est d'une certaine importance pour la physique des atomes.

Les cristaux de cuivre obtenus dans les décompositions électro-chimiques appartiennent au système régulier, comme nous venons de le voir; mais il n'en est pas de même de ceux qui sont produits par le refroidissement du cuivre fondu. M. Seebeck a observé qu'ils appartenaient au système rhomboédrique. Il a trouvé, comme du reste on pouvait s'y attendre, que les cristaux de l'un et de l'autre système occupaient une place différente dans l'échelle thermo-électrique.

Le procédé que nous venons de faire connaître peut servir à opérer la cristallisation des métaux dont la réduction s'opère au moyen de l'électricité. Une précaution indispensable à prendre, est de mettre dans le tube positif un liquide qui puisse réagir chimiquement sur la lame de métal qu'on y plonge. Nous reviendrons sur

cette question, en traitant des phénomènes électriques appliqués à la géologie.

§ VI. *De l'action de la pile sur les acides.*

496. La pile, comme nous avons déja eu l'occasion de le voir en étudiant son action sur les sels, n'opère pas toujours la séparation immédiate de tous les éléments dont ils se composent, mais elle les sépare en deux groupes distincts : celui qui se rend au pôle positif est le composé ou l'élément électro-négatif, et l'autre le composé ou l'élément électro-positif. Cette grande division se retrouve dans toutes les décompositions électro-chimiques, quelle que soit la nature des corps soumis à l'expérience. Nous en allons voir la preuve dans l'action de la pile sur les acides; mais, avant de traiter cette question, nous avons besoin de donner quelques développements sur le caractère des corps qui sont développés aux pôles.

Quand une solution est soumise à l'action décomposante d'une pile, elle cède aux conducteurs métalliques qui plongent dedans les éléments que le courant a séparés. Ces éléments, qui sont des résultats primitifs, comme nous venons de le dire, sont ou simples ou composés : ainsi l'oxigène et l'hydrogène, qui proviennent de la décomposition de l'eau, sont des résultats primitifs, comme l'acide et l'alcali, qui proviennent de la décomposition d'un sel, mais avec cette différence que dans le premier cas les éléments sont simples, et dans le second ils sont composés. Ils sont composés, en général, soit par suite de la réaction sur la matière même du conducteur de la substance qui s'y dépose, soit par celle de cette substance sur plusieurs principes de la solution, soit parce que ces mêmes principes, ne pouvant être séparés directement par l'action du courant, restent combinés. Nous étudierons successivement la formation de ces résultats composés, parce qu'ils sont d'une grande importance pour la théorie électro-chimique.

Si l'on se sert, par exemple, d'un morceau de charbon comme de conducteur positif, pour décomposer une solution d'acide sulfurique, on a de l'oxide de carbone et de l'acide carbonique au lieu d'oxigène. En opérant avec une solution de nitrate ou d'acétate de plomb et des lames de platine, on obtient sur la lame positive du peroxide de plomb, par suite de la réaction de l'oxigène sur l'oxide de plomb du sel tenu en dissolution.

497. La réduction des métaux a lieu en général au pôle négatif par l'action du courant; mais si l'on opère sur une solution métallique aqueuse, l'hydrogène qui provient de la décomposition de l'eau, et qui est transporté comme l'oxide au pôle négatif, aide, dans ce cas, à sa réduction, parce qu'il y arrive comme lui à l'état naissant.

Un exemple assez remarquable, cité par M. Faraday (1), montre avec quelle réserve on doit se prononcer sur le caractère des corps dégagés aux pôles. Une forte solution d'ammoniaque est un mauvais conducteur; mais il n'en est plus de même quand on y fait dissoudre du sulfate d'ammoniaque : on obtient alors de l'azote presque pur au pôle positif, et de l'hydrogène au pôle négatif, dans des proportions telles que l'ammoniaque semble avoir été décomposé. Mais si on opère avec l'électro-mètre de Volta, on trouve que l'hydrogène obtenu est exactement dans la même proportion que si l'eau avait été décomposée, tandis que l'azote n'est pas dans un rapport constant. On doit donc supposer que l'azote est ici un résultat secondaire dépendant de l'action chimique de l'oxigène naissant sur l'ammoniaque en dissolution; l'eau est donc décomposée, et non l'ammoniaque. M. Faraday fait observer à ce sujet, qu'il ne connaît pas d'expériences avec l'acide nitrique ou d'autres composés de l'azote, qui montrent la tendance de cet élément, sous

(1) Transact. philos., 1833, p. 708.

l'influence du courant électrique, à passer indifféremment dans l'une ou l'autre direction. On peut citer encore comme un exemple de résultats secondaires, les effets que l'on obtient avec l'acétate de potasse: on trouve qu'il y a plus de gaz dégagé sur la lame positive que sur la lame négative, dans la proportion de 4 à 3 à peu près. Celui de la lame positive est un mélange d'oxide de carbone et d'acide carbonique; celui de la lame négative, de l'hydrogène pur. En opérant avec une solution beaucoup plus faible, il y a moins de gaz sur la première que sur la seconde, et alors on obtient de l'hydrogène carburé, aussi bien que de l'oxide de carbone et de l'acide carbonique. La présence de l'hydrogène carburé du côté positif a une apparence très-anomale; il n'est cependant, comme l'oxide de carbone et l'acide carbonique, qu'un résultat secondaire; c'est l'eau qui éprouve seule la décomposition électrique, et c'est son oxigène qui, en réagissant sur l'acide acétique, produit les substances qui se montrent sur la lame positive. M. Faraday a vérifié ce fait, en opérant avec l'électromètre de Volta. La quantité d'hydrogène dégagée, sur la lame négative, est toujours définie et exactement proportionnelle à l'électricité qui passe à travers la solution. Avec l'acétate de plomb, les résultats obtenus aux deux pôles sont secondaires. Quand on opère avec des dissolutions contenant des peroxides avec cet acide ou tout autre acide décomposable, on obtient des résultats encore plus compliqués.

Dans une foule de cas, on trouve également des résultats secondaires, que l'on reconnaît toujours après un examen attentif.

498. Abordons maintenant les phénomènes relatifs à l'action de la pile sur les acides (1).

Acide nitrique. Lorsque cet acide est fort, il est bon conducteur et cède l'oxigène au conducteur po-

(1) Philos. transact., 1834, p. 96.

sitif. Il n'y a aucune apparence de gaz du côté négatif, mais on y trouve de l'acide nitreux et de l'oxide d'azote qui, en se dissolvant, rendent l'acide jaune ou rouge. En dissolvant l'acide dans une fois son volume d'eau, ou plus, on voit paraître des gaz sur la lame négative, dont la quantité varie suivant les différences dans la force de l'acide ou celle du courant voltaïque. En examinant la quantité de ces produits, au moyen de l'électromètre de Volta, on trouve que l'oxigène d'un acide fort ou faible est dans la même proportion que l'oxigène de l'eau; avec une dissolution d'acide, ayant une pesanteur spécifique de 1,24, ou moins, on voit aussi que l'hydrogène de l'acide est égal à celui de l'eau. L'eau seule a donc été décomposée. L'oxigène, du côté positif, est toujours un résultat primitif, puisque les produits sur la lame négative sont dus souvent à la réaction de l'hydrogène sur l'acide nitrique.

Une solution de nitrate de potasse donne des effets secondaires très-variables, selon la forme du tube et les dimensions des lames conductrices; il en est de même du nitrate d'ammoniaque.

Acide sulfureux. Cet acide ne paraît pas affecté par le courant électrique, car M. Faraday a trouvé, avec l'électromètre comparateur, que sur le conducteur positif, l'oxigène de l'eau convertit l'acide sulfureux en acide sulfurique, et que, sur l'autre conducteur, l'hydrogène décompose l'acide sulfurique en se combinant avec son oxigène, et met le soufre en liberté. Le soufre n'est donc ici qu'un résultat secondaire.

Acide sulfurique. Nous avons déja fait connaître les raisons qui portent à croire que l'acide sulfurique n'est pas électrolysable; mais il éprouve quelquefois la décomposition par l'action secondaire au pôle négatif, en raison de l'hydrogène qui s'y développe.

Acide hydro-chlorique. Une forte dissolution de cet acide donne de l'hydrogène au pôle négatif, et du chlore seulement au pôle positif. Une partie du chlore agit sur le platine, et l'autre se dissout. M. Faraday a

M. Thénard décrit de la manière suivante l'usage de l'eudiomètre de Volta (fig. 104) (1) : « On ouvre les robinets DD', et l'on plonge l'eudiomètre perpendiculairement dans l'eau de la cuve hydro-pneumatique. Ensuite on ferme le robinet inférieur, et l'on verse de l'eau dans le bassin supérieur, jusqu'à ce que ce bassin, et à plus forte raison l'eudiomètre, en soient remplis; puis on ferme le robinet supérieur, on rouvre le robinet inférieur, et l'on place l'eudiomètre sur la table de la cuve, en ayant soin de ne point laisser entrer d'air sous le pied de l'appareil. Alors on fait passer dans le tube AB les gaz mesurés dans le tube gradué AA. On referme le robinet inférieur. On essuie la boule et la tige FF', et l'on fait passer l'étincelle électrique par cette tige, de la même manière que pour le petit eudiomètre à gaz hydrogène. Cela fait, on rouvre de nouveau, pour un instant, le robinet inférieur, afin de permettre à l'eau de remplir le vide formé, et l'on mesure le résidu gazeux. Pour cela, on remplit d'eau le bassin supérieur C' et on en remplit également le tube gradué AA ; on le visse par son extrémité B, à l'orifice supérieur du conduit G'G', et on ouvre le robinet supérieur D'. Par ce moyen, le gaz s'élève à l'instant dans le tube AA ; lorsqu'il est passé tout entier, on dévisse ce tube; on en bouche l'orifice avec le doigt, et on le plonge dans une éprouvette remplie d'eau, etc. Si ce résidu excédait la capacité du tube AA, on l'y ferait passer en deux fois, en fermant le robinet D', au moment où l'on verrait que le tube serait près d'être plein. »

Les appareils dont nous venons de donner la description ne sont pas employés seulement à l'analyse de l'air, on s'en sert également pour déterminer la combustion d'un grand nombre de gaz, au moyen de l'étincelle électrique.

---

(1) Traité de Chimie, t. v, p. 383, 4e édit.

dre est directement décomposé ; il se développe de la soude du côté négatif, et de l'acide acétique du côté positif, qui éprouve ensuite une décomposition complète, c'est-à-dire qu'il donne du carbone et de l'hydrogène combiné au sodium.

Acide tartrique. Une solution pure est aussi mauvais conducteur que l'eau. En y ajoutant de l'acide sulfurique il devient conducteur, et les résultats du côté positif sont primitifs ou secondaires, dans diverses proportions, suivant les variations dans la force de l'acide et dans le pouvoir du courant électrique. Des tartrates alcalins donnent dans de fortes proportions des résultats secondaires au pôle positif. L'hydrogène à l'électrode négative reste constant, si ce n'est dans le cas où l'on emploie certains sels métalliques.

Des solutions composées d'acides végétaux, tels que les benzoates, le sucre, la gomme, etc., dans l'acide sulfurique, la résine, l'albumine, les alcalis, donnent des résultats secondaires au pôle positif.

CHAPITRE IX.

SUR LA NATURE DÉFINIE ET L'EXTENSION DE LA DÉCOMPOSITION ÉLECTRO-CHIMIQUE.

499. Nous avons vu que le pouvoir chimique d'un courant électrique est en proportion directe avec la quantité absolue d'électricité qu'on fait passer. Cette loi est établie par rapport à l'eau, l'acide muriatique, l'acide hydriodique, les acides hydro-fluorique, hydro-cyanique, ferro-cyanique et sulfo-cyanique qui renferment de l'eau; mais quoique l'eau paraisse inactive par elle-même, pour éviter qu'elle ne cause de l'ambiguïté, on peut opérer sur des substances où elle ne se trouve pas, telles que le proto-chlorure d'étain, comme l'a fait M. Faraday. Ce composé est soumis à la décomposition de la manière suivante: un fil de platine, enroulé à une de ses extrémités, est disposé comme l'indique la fig. 100, et scellé hermétiquement à l'une des extrémités. Ce tube est suspendu par un morceau de fil de platine, de manière à ce qu'on puisse y appliquer la chaleur d'une lampe à alcool; du proto-chlorure d'étain récemment fondu est introduit en quantité suffisante pour remplir une moitié du tube lorsqu'il est liquéfié; le fil du tube est mis en relation avec un électromètre de Volta, qui est lui-même en communication avec l'extrémité négative, et un fil de platine uni avec l'extrémité positive de la même batterie plongeant dans le chlorure. Cet arrangement est représenté fig. 101. Le chlorure d'étain est décomposé.

Le chlore développé sur la lame positive forme du bichlorure d'étain, qui s'évanouit en vapeur, et l'étain déposé à l'électrode négative se combine avec le platine et forme ainsi un alliage fusible à la température à laquelle le tube est soumis. Voici les résultats obtenus dans une expérience : la lame négative pesait d'abord 20 grains; après l'expérience, avec son alliage, 23, 2 grains. L'étain développé par le courant électrique pesait, par conséquent, 3, 2 grains. La quantité d'hydrogène et d'oxigène renfermée dans l'électromètre de Volta égalait 3, 85 pouces cubiques. Mais comme 100 pouces cubes d'oxigène et d'hydrogène, dans les proportions nécessaires pour former de l'eau, peuvent être considérés comme pesant 12, 92 grains, il en résulte que les 3, 85 pouces cubiques devaient peser 0,49742 grain. Or, le même courant qui décompose ce poids d'eau, décompose aussi un poids de proto-chlorure d'étain qui contient 3, 2 grains de métal. On a donc 0,49742 : 3,2 : : 9, l'équivalent de l'eau, est à 57, 9, qui serait par conséquent l'équivalent de l'étain, si l'expérience ne contenait aucune erreur. Or, dans quelques ouvrages de chimie, l'équivalent de l'étain étant représenté par 58, et dans d'autres par 57, 9, on peut donc regarder 57, 9 comme s'approchant beaucoup des deux résultats théoriques.

500. On n'obtient pas toujours un accord aussi parfait en expérimentant de la même manière sur du chlorure de plomb, à moins qu'on ne change la nature de la lame positive, attendu que le chlore réagit directement sur le platine et produit des effets composés.

La plombagine est une substance qu'on peut employer en toute sûreté comme conducteur positif dans des corps tels que les chlorures, les iodures, attendu que le chlore et l'iode n'agissent pas sur lui.

En expérimentant sur le chlorure de plomb comme sur le proto-chlorure d'étain, M. Faraday a trouvé que l'équivalent chimique du plomb donné par la moyenne de trois expériences est de 100,85 au lieu de 103,5.

est combiné avec un cassion, tous deux voyagent; l'un va à l'anode, l'autre à la catode.

Un corps non décomposable, lorsqu'il est seul, tel que l'acide borique, n'est pas directement décomposé par le courant électrique; lorsqu'il est combiné, il peut agir comme un ïon en allant à l'anode ou à la catode; mais il ne cède quelquefois ses éléments que par l'action secondaire.

La nature de la substance dont l'électrode est formée, pourvu qu'elle soit conductrice, ne cause pas de différence dans le genre ou le degré de la décomposition électrique (500), mais par son action secondaire elle a une influence déterminante sur l'état dans lequel apparaissent les ïons. Cette propriété des électrodes a été l'objet d'études approfondies de notre part depuis dix ans, et nous en avons fait la base d'une nouvelle branche de la chimie. Nous aurons plus tard l'occasion de la développer.

Une substance qui est employée comme électrode peut se combiner entièrement avec l'ïon développé auprès d'elle dans une proportion représentée par son équivalent électro-chimique.

502. Des ïons composés ne sont pas nécessairement formés d'équivalents électro-chimiques d'ïons simples. Ainsi, l'acide sulfurique, l'acide boracique, l'acide phosphorique sont des ïons, mais non des composés équivalents électro-chimiques d'ïons simples.

Les équivalents électro-chimiques sont toujours en harmonie les uns avec les autres. Ainsi, 8 est l'équivalent électro-chimique de l'oxigène séparé, soit de l'hydrogène, soit de l'étain, soit du plomb, et 103, 5 est l'équivalent électro-chimique du plomb séparé de l'oxigène du chlore ou de l'iode.

503. Les équivalents électro-chimiques coïncident avec les équivalents chimiques ordinaires, et sont les mêmes que ceux-ci.

On peut déterminer les équivalents électro-chimiques de tous les ïons suivant le procédé qui a été employé pour l'hydrogène, l'oxigène, le plomb et l'étain. On

trouve que le chlore, l'iode, le brome, le fluor, le calcium, le potassium, le strontium, le magnésium, sont des ïons, et que leurs équivalents électro-chimiques sont les mêmes que leurs équivalents chimiques ordinaires. M. Faraday a observé que, dans quelques cas, les résultats secondaires, obtenus au moyen de l'action des ïons, développés dans les substances qui se trouvent dans le liquide ou la substance environnante, donnent l'équivalent électro-chimique. Ainsi, dans la solution d'acétate de plomb, et dans d'autres proto-sels soumis à reculer de l'action réductive de l'hydrogène naissant à la catode, la quantité du métal précipité a été la même que celle d'un produit primaire, pourvu qu'il n'y ait pas eu d'hydrogène mis en liberté, et par conséquent le métal a dû donner le nombre qui représente son équivalent électro-chimique. Cet habile chimiste n'a pas hésité à se servir des résultats de l'analyse chimique pour corriger les nombres obtenus comme résultats de la décomposition électro-chimique. Voici la table des ïons et de leurs équivalents électro-chimiques qu'il a donnée comme un essai et non comme une table complète de cette classe de corps; il la regarde comme d'une utilité extrême pour indiquer les rapports qui existent entre les affinités chimiques ordinaires et les actions électriques, et pour les identifier toutes les deux :

L'étincelle produite par une forte commotion électrique n'enflamme pas un mélange d'un volume de gaz explosif et de		L'étincelle produite par une forte commotion électrique fait faire explosion à un volume d'un mélange formé d'un volume de gaz explosif et de
volume.		volume.
12 ...	Air atmosphérique.....	...10
14 ...	Gaz oxigène.....	...12
9 ...	Gaz hydrogène.....	... 7
9 ...	Gaz oxide nitrique.....	... 7
4 ...	Gaz oxide de carbone.....	... 3
3 ...	Gaz acide carbonique.....	... 2
1 ...	Gaz carboné dyhydrique.....	... $\frac{1}{2}$
$\frac{1}{2}$ ...	Gaz du charbon de terre.....	... $\frac{1}{4}$
$\frac{1}{2}$ ...	Gaz sulfide hydrique.....	... $\frac{1}{4}$
1 ...	Gaz ammoniac.....	... $\frac{1}{2}$
4 ...	Gaz acide hydro-chlorique.....	... 3
2 ...	Gaz acide sulfureux.....	... 1

516. On ignore précisément comment l'agitation particulière que l'étincelle électrique imprime aux différents milieux qu'elle traverse détermine un nouvel arrangement des particules; on se demande pourquoi, dans certains cas, ce changement est instantané, tandis que, dans d'autres, il est graduel; ainsi l'étincelle électrique détermine rapidement la combinaison de l'oxigène et de l'hydrogène, quand ces deux gaz sont mélangés dans des proportions voulues pour faire de l'eau; au contraire, si l'on veut déterminer la combinaison de l'oxigène et de l'azote pour former de l'acide nitrique, il faut faire passer une suite d'étincelles dans le mélange de ces deux gaz pendant un temps assez considérable. Nous avons répondu en partie à cette question (513); mais on peut se demander encore comment il se fait que la cause qui unit les molécules des corps est aussi celle qui peut les séparer. Nous examinerons

toutes ces questions quand nous exposerons la théorie des phénomènes électro-chimiques.

Nous terminerons ce que nous avons à dire touchant les décompositions des corps au moyen de l'électricité, en donnant quelques développements sur les anneaux colorés, formés sur des plaques métalliques par les courants électriques, attendu que leur mode de formation, qui rentre dans les phénomènes de décomposition, peut jeter quelque jour sur les causes d'où ils dépendent.

CHAPITRE XI.

DES ANNEAUX COLORÉS, FORMÉS SUR LES PLAQUES MÉTALLIQUES PAR LES COURANTS ÉLECTRIQUES.

517. On doit à M. Nobili une nouvelle classe de phénomènes électro-chimiques, fort remarquables par leur singularité (1). On les obtient en concentrant le courant dans un fil de platine, dont l'extrémité plonge dans la dissolution que l'on veut décomposer, tandis que le courant, qui arrive de l'autre pôle, débouche, dans cette même dissolution, par un disque de métal placé perpendiculairement à la direction du fil, et le plus près possible de sa pointe. On varie la distance à volonté au moyen d'un mécanisme convenable; la fig. 110 représente l'appareil fonctionnant. Cet appareil se compose de deux de ces petits engrenages qui s'adaptent aux lampes pour élever ou abaisser la mèche. Ils sont placés verticalement, à la distance d'un pouce l'un de l'autre, isolés sur un pied, et soutenus à une hauteur suffisante pour que l'on puisse placer un petit vase au-dessous d'eux. Ces deux engrenages font mouvoir deux petites hampes, terminées inférieurement par des pinces, dans lesquelles se placent deux gros fils de platine, effilés à leur extrémité.

Soient P et N les pointes en question, communi-

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. xciv, p. 280.

quant l'une avec le pôle positif de la pile, et l'autre avec le pôle négatif; AB la lame métallique destinée à recevoir les apparences électro-chimiques. Cette lame est placée dans une soucoupe, qui renferme assez de liquide pour que celui-ci forme au-dessus une épaisseur d'une ou deux lignes. Les lettres *n* et *p* indiquent sur la lame les points auxquels correspondent exactement les pointes P et N. L'apparence négative se forme autour du point *n*, et l'apparence positive autour du point *p*.

Quand le courant est établi avec une pile à la Vollaston, composée d'une douzaine d'éléments, d'un pouce carré de surface, il se produit sur la lame des anneaux colorés, précisément vis-à-vis de la pointe qui termine le conducteur opposé. La couleur et la nature des anneaux dépendent de la nature des dissolutions, et varient suivant que la lame est en communication avec le pôle positif ou le pôle négatif. Quelques exemples vont donner une idée de ces phénomènes.

Opérons avec une solution de sulfate de cuivre, et successivement avec des lames d'argent, de platine, d'étain, de bismuth et de laiton; on n'obtient des effets qu'avec celles d'argent et de laiton. Quand la lame d'argent est positive, il se forme vis-à-vis de la pointe négative quatre ou cinq cercles concentriques, qui sont alternativement clairs et obscurs; lorsqu'elle est négative, on obtient trois petits cercles de cuivre, provenant de la décomposition du sulfate. Les deux cercles extrêmes sont d'un rouge foncé, et celui du milieu d'une couleur plus claire; quelquefois aussi il s'en forme quatre ou même cinq, qui alternent comme les précédents.

Le laiton positif présente de même des figures concentriques dont les teintes alternent également.

Sur le laiton négatif, dépôts analogues à ceux qui sont formés sur l'argent.

L'acétate de plomb produit, sur l'or et l'argent positifs, des iris concentriques aussi brillants que les anneaux colorés de Newton. Quand on multiplie les pointes négatives, il se forme sur la lame autant de systèmes

d'acétate de plomb, afin de produire les deux apparences électro-chimiques.

On conçoit effectivement que lorsque la lame AB est introduite dans la solution, le courant fait son trajet de la pointe P à la pointe N, partie par la voie du conducteur humide, et partie par la voie de son conducteur métallique. Cette seconde voie étant meilleure que l'autre, il en résulte, pour la portion du courant qui préfère le chemin le plus facile, une augmentation d'intensité qui est appréciable avec le multiplicateur.

Pour s'assurer si les courants qui n'abandonnent pas la voie du conducteur humide, ont une intensité constante, ou si cette intensité varie en présence du conducteur métallique AB, on fait plonger dans le liquide, entre les pointes PN, deux fils très-fins de platine, communiquant avec le circuit d'un multiplicateur; on voit l'aiguille marquer une déviation, *qui diminue de plusieurs degrés*, quand on introduit la lame AB dans la solution. Cette diminution dans la déviation indique qu'une partie des courants a pris la voie du meilleur conducteur.

M. Nobili est parti de là pour chercher, à l'aide des apparences électro-chimiques, comment s'exécute le mouvement du courant entre les deux pôles P et N, indépendamment de la lame A B. Les effets ne sont pas suffisamment distincts sur des fils minces, tels que ceux dont on fait usage ordinairement, mais ils le deviennent avec des fils plus gros, et mieux encore avec des lames posées parallèlement l'une à l'autre, à la place des deux pointes P, N. Si l'on opère, comme de coutume, avec la solution d'acétate de potasse et de cuivre, on observe, 1° que les voiles électro-chimiques se forment d'abord sur les angles *a'a* (fig. 112), qu'ils s'éloignent des trois côtés *ab*, *aa'*, *a' b'*, non pas également, mais plus vite sur le côté horizontal et inférieur *a a'* que sur les deux verticales *a' b'*, *ab*; 2° qu'enfin l'apparence envahit l'intérieur de la lame *cd*, en formant des anneaux contournés comme l'indique la figure; puis, les voiles électro-chimiques se rejoignent en *d*. Cette description est relative à la face

intérieure de l'une des deux lames parallèles; quant à la face extérieure, elle se colore un peu plus tard que la face intérieure, mais à peu près suivant le même ordre. Si l'on considère maintenant deux fils P, N (fig. 113), en se reportant aux effets produits sur les lames, on doit en conclure que le rayonnement doit commencer aux pointes extrêmes P et N, et de là monter en P″ et N″ jusqu'au niveau du liquide. On voit donc que la décomposition électro-chimique ne commence pas au niveau du liquide en N″, P″, mais bien aux extrémités N, P.

Voyons maintenant comment se passe ce phénomène. Quand on introduit la lame AB (fig. 114) dans la solution, cette lame faisant partie du circuit, c'est entre elle et les pointes P, N que commence le rayonnement du courant. Le rayonnement s'étend ensuite un peu au-delà, jusqu'en P′ N′, et continue toujours à avoir lieu sur la lame AB; les courants arrivent ensuite jusqu'au niveau du liquide en P″ N″, mais ils ne parviennent jusque-là qu'après s'être partagés en deux filons, l'un direct par la voie de la lame, l'autre qui abandonne cette direction pour passer directement de l'un à l'autre. Il n'entre ici seulement que les parties internes des fils N″ N P″ P. Quant aux parties externes, elles continuent à rayonner leurs courants vers la lame AB, qui est exposée directement à son action, et d'où se précipitent les courants, quoiqu'ils soient forcés de se contourner pour passer du côté extérieur du fil à celui de l'autre. M. Nobili attribue à cette cause la dilatation qu'éprouvent les apparences électro-chimiques du côté extérieur, dilatation qui manque en partie du côté intérieur, parce que il y a suppression du rayonnement qui s'effectue par l'intermédiaire du conducteur humide.

Les centres des apparences semblent correspondre exactement aux pointes P, N, quand les deux apparences sont reçues sur une plaque très-voisine de ces pointes; mais si l'on éloigne tour à tour ces pointes de la plaque, on voit que tout le système est détourné (fig. 115); les apparences commencent alors à se former en p n,

comme si elles étaient animées d'une répulsion réciproque.

521. M. Nobili attribue cette particularité à la réaction de chacun des deux systèmes de courant qui s'établissent dans le liquide, l'un qui va directement d'une pointe à l'autre, l'autre qui pénètre dans la plaque AB. On vérifie cette influence des courants les uns sur les autres de la manière suivante :

Substituons à chacun des deux fils ordinaires, une espèce de fourchettes P P′ N N′ (fig. 116), et placées à égale distance de la plaque; alors il se forme deux apparences de même nom, qui ontleurs centres en *p*, *p′* et *n*, *n′*, plus voisins que ne le sont les pointes P, N : cet effet, qui résulte évidemment de ce que les courants dirigés du même côté s'attirent, ne s'obtient qu'autant qu'on emploie une pile plutôt faible que forte, et des pointes fines qui plongent peu dans le liquide, et sont distantes de trois à quatre lignes de la plaque. Pour observer les effets de la répulsion des courants, quand ils cheminent dans des directions contraires, appliquons une bandelette d'étain (fig. 117) sur une plaque de platine A B, et recevons ensuite dans le milieu de celle-ci les anneaux colorés ordinaires qui constituent l'apparence positive de l'acétate de plomb. Sans la bande d'étain les anneaux restent tout ronds, tandis qu'avec la bande, les anneaux extérieurs restent écrasés du côté de celle-ci, et ronds dans le reste du contour. Or l'étain et le platine forment une combinaison voltaïque donnant lieu à un courant qui part de l'étain, et entre dans le platine après avoir traversé le liquide. Le courant qui produit l'apparence positive *p*, sort au contraire du platine. Les deux courants sont donc dirigés en sens inverse. Dès lors l'effet doit être attribué à la répulsion des courants.

522. Il paraît que les courants ne peuvent ni se croiser ni se superposer comme les rayons de la lumière, puisque tout courant est obligé de suivre un chemin séparé comme le démontre l'observation des deux apparences contraires positive et négative, qui ne peuvent jamais

coexister dans le même endroit. M. Nobili a encore fait les deux expériences suivantes pour trouver la véritable route des courants, quand ils se croisent verticalement. Plaçons dans un vase, rempli d'une solution d'acétate de plomb, 4 petites plaques, comme l'indique leur projection en P, N, P', N' (fig. 118), chacune à l'extrémité d'une des diagonales d'un carré. Mettons en communication les deux plaques P, N, avec une pile, et les deux autres P', N', avec une autre pile, on aura par ce moyen deux courants qui se croiseront à angles droits. Les piles peuvent être de même force, ou de force inégale. Dans le premier cas, les deux piles ne fonctionneront pas séparément l'une de l'autre; elles ne formeront qu'un seul circuit qui passera deux fois par le liquide, l'une de P en N' et l'autre de P' en N, comme le démontrent les apparences positives qui commencent à se former en *p p'*, du côté de *n n'*. Le plomb qui se réduit sur les lames négatives N, N', indique aussi le même mouvement.

Avec des piles dont l'action est inégale, on a représenté l'effet produit dans la fig. 119; si la pile la plus forte est celle qui communique aux plaques P, N, son courant se divise en deux parties, l'une suit directement la diagonale PN, l'autre s'unit au courant le plus faible, avec lequel il fait le trajet indiqué dans l'expérience précédente. Cet effet peut être suivi sur la plaque P', où la coloration n'a lieu seulement que du côté N. La plaque P se colore au contraire partout, mais un peu plus fortement du côté de N', où passe le courant de la pile la plus faible.

La fig. 120 représente la direction du courant, telle qu'il résulte de l'ensemble des observations précédentes. Les courants qui vont des pointes à la plaque sont indiqués par une ligne ponctuée, et ceux qui vont directement d'une pointe à l'autre par des lignes pleines. Ces derniers forment les apparences les plus réelles.

523. Les apparences électro-chimiques, sur lesquelles nous nous sommes un peu étendus, en raison de leur importance, montrent de la manière la plus évidente que

lorsque les éléments électro-positifs et électro-négatifs des solutions soumises à l'action de la pile, sont transportés par le courant, ils réagissent les uns sur les autres pour se refouler dans deux sens opposés, par suite du principe que les portions contiguës d'un même courant se repoussent. Nous verrons, en exposant la théorie électro-chimique, le parti que l'on peut tirer de ce résultat pour faire concevoir comment le transport des éléments peut s'effectuer.

CHAPITRE XII.

DES DÉCOMPOSITIONS CHIMIQUES OPÉRÉES EN FAISANT INTERVENIR L'ACTION CHIMIQUE DES SOLUTIONS SUR L'UNE DES ÉLECTRODES.

524. A l'aide de forces électriques provenant d'un seul couple, dont l'action est continue, on obtient des effets chimiques plus ou moins considérables, si l'affinité de la dissolution pour l'une des électrodes vient joindre son action à celles de ces forces, ou les contrarier.

Nous voyons tous les jours que la nature, qui peut disposer d'un temps illimité, produit des effets immenses avec de très-petits moyens. Ces moyens échappent souvent à nos sens, parce qu'ils n'ont pas été assez étudiés et qu'ils ne rentrent pas dans le cercle habituel de nos recherches. C'est en travaillant sur une petite échelle, c'est en s'attachant pour ainsi dire aux particules des corps et à tout ce qui s'y rapporte, que l'on parviendra peut-être à découvrir une partie des ressorts que la nature met en jeu pour produire les phénomènes dus à l'attraction moléculaire.

Exposons quelques-unes des décompositions obtenues avec des forces électriques dont l'intensité est faible en apprence.

Il est hors de doute maintenant qu'une action voltaïque quelconque peut donner naissance à des effets chimiques : mais on ignore jusqu'à quel point cette action, quand elle est très-faible, influe sur les affinités, et s'il

ne se passe pas, au moment où celles-ci se manifestent, des phénomènes particuliers qui disparaissent dans l'effet général, lorsqu'on emploie une pile d'une certaine énergie.

On sait, par exemple, que lorsqu'on plonge dans une solution métallique deux fils d'un métal quelconque, qui communiquent chacun avec l'un des pôles d'une pile voltaïque suffisamment énergique, on obtient toujours sur le fil négatif de l'hydrogène, du métal réduit ou de l'oxide; mais quand la tension est excessivement petite, le phénomène se passe-t-il encore de la même manière? Tous les métaux jouissent-ils de cette propriété au même degré? Pour résoudre ces questions, il faut diminuer successivement l'intensité de l'électricité, et observer en même temps ce qui se passe dans les décompositions. C'est ce que nous allons faire.

Mettons dans un verre cylindrique une solution métallique, par exemple, de cuivre, et versons au-dessus, avec la plus grande précaution, de l'eau distillée ou de l'eau acidulée, en sorte que les deux liqueurs soient séparées l'une au-dessus de l'autre; si l'on plonge ensuite dedans une lame de cuivre, au bout de quelques heures cette lame est recouverte de cuivre précipité à l'état métallique. Diverses solutions métalliques ont donné les mêmes résultats. Il résulte de là que les métaux peuvent former, avec leurs propres dissolutions et de l'eau ou de l'eau acidulée, des chaînes dont l'action électrique précipite le métal.

Il y a ici deux effets électriques : l'un qui provient de la réaction des deux liquides l'un sur l'autre; le deuxième de la réaction de l'eau acidulée sur la lame de métal c'est donc un phénomène composé, car les actions s'ajoutent ou se retranchent, selon qu'elles vont dans l même sens ou dans des sens différents; dans ce cas les deux actions s'ajoutent.

Certains phénomènes thermo-électriques et les actio chimiques simples dégagent ordinairement assez d'él c.

tricité pour produire des décompositions semblables à celles dont nous venons de parler.

Occupons-nous d'abord des décompositions opérées avec les courants thermo-électriques.

525. Plusieurs physiciens ont essayé, mais en vain, de décomposer l'eau avec des courants thermo-électriques; pour réussir, il fallait soumettre à l'expérience des sels qui fussent facilement décomposables par un faible courant, tels que le nitrate d'argent et l'iodure de potassium et disposer l'appareil de manière à déterminer la production d'un nouveau composé.

Soient deux fils, l'un de platine et l'autre de cuivre, d'une certaine longueur et d'un tiers de millimètre environ de diamètre; à l'un des bouts de chaque fil on forme un anneau, puis l'on passe les deux anneaux l'un dans l'autre; l'anneau du fil de platine étant très-petit, et celui du fil de cuivre d'environ 3 millimètres de diamètre. Quand on soude les deux anneaux, le courant va toujours dans le même sens, du platine au cuivre, soit que l'on chauffe à droite ou à gauche des points de jonction. Maintenant soudons un second fil de cuivre au bout libre du fil de platine, puis brûlons un peu de soufre sur l'anneau de cuivre, et plaçons ensuite une lampe à alcool sous l'anneau de platine, de manière à porter au rouge sa température, sans que celle de l'anneau de cuivre y parvienne bien sensiblement, condition que l'on remplit en mettant le fil de platine à l'extrémité de la flamme blanche, de manière que celle-ci soit à très-peu de distance de l'anneau de cuivre. Maintenant si l'on fait communiquer les extrémités libres des fils de cuivre avec les bouts du fil qui forme le circuit d'un galvanomètre, on a un courant électrique assez énergique, qui va du platine au cuivre.

On tient l'anneau de cuivre plus grand que l'autre, afin qu'il s'échauffe moins lorsqu'on porte au rouge la température de l'anneau de platine. Si l'on place, au contraire, le foyer de chaleur du côté du fil de cuivre, les effets électriques sont inverses, et si l'on substitue au fil de platine un autre fil de cuivre, les effets électriques

seront encore les mêmes. En exposant à la même température les deux anneaux, il n'y a aucun effet de produit.

La couche de sulfure dont est recouverte la surface de l'anneau de cuivre augmente sensiblement l'intensité du courant.

Voilà donc deux effets électriques distincts obtenus dans un circuit fermé, composé de deux fils de métal différents, selon que ces fils sont soudés ou ne font que se toucher en quelques points. Dans le premier cas, le courant va toujours dans le même sens, soit que l'on chauffe à droite ou à gauche des points de jonction; dans le second, il n'en est pas de même. La seule différence provient de ce que, dans l'un, il y a simplement contact, tandis que dans l'autre il y a contact accompagné d'une action chimique qui détermine la formation d'un oxide ou d'un sulfure.

526. L'expérience suivante montre l'influence de l'action chimique dans ces sortes de phénomènes : si l'on fait brûler un fragment de soufre à l'une des extrémités d'un fil de cuivre qui forme le circuit d'un galvanomètre, et que l'on pose l'autre bout dessus, au moment où la combustion est dans toute sa force, le courant électrique qui a lieu alors est des plus énergiques, et plus intense que celui qui provient d'une simple différence de température.

Soit maintenant un tube recourbé en U, contenant une solution de nitrate ou de sulfate de cuivre; plongeons dans chaque branche un fil de cuivre qui communique à l'un des bouts du fil formant l'appareil que nous venons de décrire; après une heure d'expérience, le bout qui correspond au côté négatif est recouvert de cuivre précipité à l'état métallique, tandis que l'autre s'est sensiblement oxidé.

Deux fils d'étain, disposés comme les fils de cuivre et plongés dans une dissolution d'hydro-chlorate d'étain, donnent les mêmes résultats, c'est-à-dire que le fil qui communique au côté négatif se recouvre de cristaux d'étain.

Les fils de zinc, d'argent et de plomb, plongés dans leurs solutions respectives, donnent lieu aux mêmes phénomènes.

Les fils de platine sont sans action sur la dissolution de platine. Nous voyons ici l'influence de l'action chimique qui a lieu entre les fils et la solution sur la décomposition électro-chimique.

Des fils de platine, d'or et d'argent, etc., plongés dans les dissolutions de plomb, d'étain ou de cuivre, et disposés comme ci-dessus, sont également sans action sur elles, bien que le courant ait toujours la même intensité.

Quand on plonge deux fils d'argent dans les dissolutions de sulfate et de nitrate de cuivre, le fil positif est toujours attaqué par l'acide, et il ne se forme pas sensiblement de précipité sur le fil négatif. L'oxigène et l'acide semblent donc se transporter ici plus facilement au pôle positif que le cuivre au pôle négatif.

Dans le nitrate d'argent, les fils de platine, comme ceux d'argent, produisent un précipité. Seulement il est plus abondant sur le fil d'argent que sur l'autre. On rend sensible cette différence en plongeant, en même temps, dans la dissolution un fil d'argent et un fil de platine enroulés l'un sur l'autre.

On voit donc qu'avec des courants faibles, d'égale intensité, les métaux facilement réductibles sont disposés à se précipiter plus facilement de leurs dissolutions sur des lames de même métal, que sur des lames d'un autre métal que celui qui entre dans la dissolution, et qui n'opère pas de précipité par lui-même, comme le fer plongé dans une dissolution de cuivre. Ce fait remarquable ne peut être observé qu'avec des appareils électriques à très-faible tension, attendu que, lorsque cette tension a une certaine énergie, le métal dissous se rend toujours au pôle négatif, quel que soit le fil ou la lame de métal qui plonge dans la dissolution.

D'où peut donc provenir, dans cette circonstance, la prédilection d'un métal, qui est combiné avec un acide, pour une lame de même métal? On ne voit que la force

de cohésion, quelle qu'elle soit, qui puisse avoir de l'influence, car on doit la supposer plus grande pour des molécules semblables que pour des molécules dissemblables. Dans ce cas, la force d'agrégation, plus celle du courant électrique, détermineraient la précipitation. On ne doit pas perdre de vue néanmoins que l'action chimique exercée par la solution sur le fil positif concourt aussi puissamment à l'effet général.

Si l'on veut obtenir des effets continus avec l'appareil thermo-électrique, il faut renouveler de temps à autre l'anneau de cuivre, dans lequel passe celui de platine, parce qu'il arrive un point où, le cuivre étant tout-à-fait oxidé, il y a solution de continuité, et alors les effets électro-chimiques cessent.

Un appareil formé avec un fil de platine et un fil de fer est sans action pour produire des décompositions. Cet effet négatif tient sans doute aux propriétés électriques singulières du fer, dont nous avons parlé, et sur lesquelles nous reviendrons.

L'appareil suivant est encore destiné à produire des actions électro-chimiques lentes et continues.

On prend deux petits bocaux en verre (fig. 121); dans l'un on verse de l'acide nitrique et dans l'autre une solution de potasse dans l'eau, et on établit la communication entre eux au moyen d'un tube recourbé en verre rempli d'argile soudée, humectée d'une solution de nitrate de potasse ou de chlorure de sodium, puis l'on plonge dans chaque liquide une lame de platine fixée à l'extrémité d'un fil de même métal. On fixe ensuite, à chaque extrémité libre des fils de platine, le bout d'un fil de métal que l'on veut soumettre à l'expérience. La lame en contact avec l'alcali prend l'électricité négative qui se dégage dans sa réaction sur l'eau ou la solution du nitrate ou du chlorure, et celle qui est dans l'acide, l'électricité positive qui devient libre pendant la même réaction; on a donc une pile permanente, si l'on a l'attention de fermer les flacons pour éviter l'évaporation et l'action de l'air sur l'alcali. En plongeant plusieurs lames

de platine dans les bocaux, on peut agir alors sur plusieurs appareils à la fois.

On peut encore substituer à la potasse de l'eau, et plonger dans chaque bocal un fil de cuivre; il y a alors action chimique et courant électrique du cuivre à l'acide, qui est assez fort pour produire des décompositions semblables à celles que nous avons rapportées plus haut.

527. On ne peut douter que dans les décompositions électro-chimiques opérées avec des courants provenant d'une électricité à faible tension, l'oxigène et l'acide ne se rendent au pôle positif, comme dans les décompositions produites avec une pile formée de plusieurs éléments. Le fil qui communique au pôle négatif se recouvre bien de métal, mais quelquefois on ne voit pas que l'oxigène et l'acide se soient transportés au pôle positif; dans ce cas, ils ont formé un composé insoluble.

Nous avons montré aussi plus haut que, lorsqu'on plonge dans une dissolution de nitrate de cuivre deux fils d'argent en communication l'un et l'autre avec l'appareil à décomposer, le bout positif s'altérait visiblement, tandis que le bout négatif conservait sensiblement son brillant métallique, sans qu'on pût apercevoir sur sa surface aucune trace de cuivre métallique. De deux choses l'une, ou le cuivre est resté dans la dissolution comme cela arrive quelquefois quand il peut former un composé insoluble, et dans ce cas il n'y a pas eu transport des deux éléments du nitrate, quoiqu'il ait été décomposé, ou le dépôt sur le bout négatif est si mince qu'on ne peut le voir.

Soient maintenant deux petits vases en verre, de forme cylindrique; l'un renfermant une solution de nitrate de baryte et l'autre une solution de sulfate de cuivre. On établit la communication entre ces solutions au moyen d'un tube recourbé, d'un petit diamètre, renfermant de l'argile humectée par une solution légère de sel marin pour que le transport de l'électricité puisse s'effectuer aisément. On plonge, dans le sulfate, le fil de cuivre qu correspond au côté négatif de l'appareil, et dans le

nitrate de baryte, l'autre fil. Il est bien évident que si l'acide sulfurique se rend au pôle positif, en traversant la dissolution de nitrate, il se combinera avec la baryte et formera un précipité.

Or, voici ce qui se passe : après quatre ou cinq heures d'expérience, le bout négatif est recouvert de cuivre, la solution du nitrate de baryte ne s'est pas troublée sensiblement, et le bout positif s'est oxidé. Doit-on en conclure qu'il n'y a eu transport seulement que de l'oxigène, et que l'acide sulfurique est resté dans le sulfate? Cette question ne peut être résolue qu'en analysant les produits secondaires qui ont été formés dans les tubes; mais tout porte à croire que l'on trouverait du sulfate de baryte. En général, quand un des produits de la décomposition ne se trouve pas à l'un des pôles, on peut être assuré qu'il a été arrêté en route par des affinités supérieures.

Les acétates et sous-acétates de plomb sont aussi décomposés par les fils de plomb; mais l'acétate de cuivre, la dissolution saturée du même sel dans l'ammoniaque, résistent à l'action de l'électricité à petite tension, lorsqu'on plonge dans leurs dissolutions des fils de cuivre. Ces remarques ont quelque importance, attendu que ces sels sont facilement décomposables par les procédés ordinaires de la chimie.

CHAPITRE XIII.

DES COMPOSÉS ÉLECTRO-CHIMIQUES, OU PRODUITS SECONDAIRES.

528. En exposant les phénomènes relatifs aux décompositions opérées par l'électricité voltaïque, nous avons fait remarquer que les résultats de ces décompositions étaient simples ou composés, suivant la nature des corps soumis à l'expérience et celle des corps servant de conducteurs. C'est ainsi, avons-nous dit, qu'en décomposant une solution d'acide sulfurique avec un morceau de charbon, servant de conducteur positif, on avait, au lieu d'oxigène, du gaz oxide de carbone et du gaz acide carbonique, par suite de la réaction de l'oxigène, qui est à l'état naissant, sur le charbon. Nous avons cité d'autres exemples du même genre, en traitant du caractère des corps développés sur les lames métalliques, de la nature définie, et de l'extension de la décomposition électro-chimique.

Nous allons reprendre de nouveau cette question, et en poursuivre la solution aussi loin que le permet l'état actuel de la science, afin de montrer le parti que l'on peut tirer de l'action chimique de l'électricité pour expliquer une foule de phénomènes naturels qui, jusqu'ici, paraissaient être indépendants de cet agent universel.

Pendant long-temps on ne concevait pas comment, avec des forces électriques faibles en apparence, on pouvait vaincre de fortes affinités, pour décomposer les

corps et opérer de nouvelles combinaisons; on pensait qu'il fallait toujours employer l'action de courants plus ou moins énergiques; mais dès l'instant que l'on eut analysé les effets électriques qui ont lieu dans les actions chimiques, on resta convaincu que l'on pouvait arriver au même but en utilisant convenablement ces effets. On conçoit effectivement, que lorsqu'un couple voltaïque quelconque plonge dans une solution qui réagit sur un des éléments de ce couple, les particules de cette solution, à l'instant où elles sont mises en jeu par le fait de l'action chimique, se trouvent dans l'état le plus convenable, puisqu'elles sont à l'état naissant, pour obéir à l'action du courant électrique produit par le couple. Nous avons déja cité des exemples de ce genre; mais nous aurons l'occasion d'en voir un plus grand nombre encore dans les chapitres qui vont suivre.

§ Ier. *Des oxides métalliques.*

529. *Or.* On a cru pendant long-temps que l'or se convertissait en oxide pourpre, par l'effet des décharges électriques; mais il paraît que cet état n'est dû qu'à l'extrême division de ses parties, puisqu'on ne peut admettre qu'il s'oxide à la température à laquelle son oxide se réduit ordinairement. Ce qui tend à confirmer cette conjecture, c'est qu'on obtient également une poudre purpurine, quand on précipite l'or d'une solution très-étendue, par des corps qui réduisent son oxide.

Iridium. En exposant de l'iridium à la décharge d'une très-forte batterie électrique, Children est parvenu à fondre ce métal en un globule blanc, très-brillant, et encore poreux; mais il n'est jamais parvenu à l'oxider.

Argent. Ce métal ne peut être oxidé à aucune température au contact de l'air; mais on y parvient quand on l'expose en feuilles très-minces à l'action d'une fort batterie.

On peut même l'obtenir à l'état de suroxide; c'est R[illegible] découvert ce composé. Il se dépose sur le

conducteur positif d'une pile, quand on la décharge à travers une faible dissolution d'argent, en aiguilles cristallines longues, entrecroisées de trois à quatre lignes, douées de l'éclat métallique. Avec une action lente, on l'obtient en tétraèdres très-nets. Traité par l'acide hydro-chlorique, ce composé donne de l'oxigène et se transforme en chlorure d'argent; traité par l'ammoniaque, il se décompose et produit un dégagement d'azote. Mêlé avec du phosphore, il détonne par le choc du marteau. Il décrépite par la chaleur, se décompose et donne de l'argent pur.

Mercure. Lorsqu'on décharge une très-forte pile électrique à travers un très-petit globule de mercure, ce globule est lancé de toutes parts, s'oxide, et forme des étincelles rouges.

Palladium. Ne s'oxide pas au pôle positif de la pile.

Antimoine. Lorsqu'on se sert d'un morceau d'antimoine, comme de conducteur positif, pour décomposer l'eau, il se détache de la surface des flocons gris qui, traités par l'acide hydro-chlorique, se transforment en antimoine qui reste et en oxide d'antimoine qui se dissout. Ces flocons paraissent être un sous-oxide.

Le zinc et les métaux oxidables s'oxident facilement sous l'influence voltaïque quand ils servent d'électrodes positives; mais comme cet effet ne présente rien de particulier, nous ne nous y arrêterons pas, afin d'exposer d'autres procédés à l'aide desquels on parvient à obtenir cristallisés les oxides.

§ II. *Des oxides métalliques cristallisés.*

530. *Cuivre.* Pour obtenir des cristaux de protoxide de cuivre, on prend un tube de verre fermé à l'une de ses extrémités, et au fond duquel on met du deutoxide de cuivre (fig. 122); on remplit ce tube d'une dissolution de nitrate de cuivre saturé, puis l'on y plonge une lame de cuivre, qui touche aussi le deutoxide, et l'on ferme le tube hermétiquement. Au bout d'une dizaine de jours,

on commence à apercevoir sur la lame de cuivre des petits cristaux octaédriques brillants, d'un rouge foncé. Pour découvrir les phénomènes électriques qui les produisent, il faut prendre deux capsules de porcelaine remplies d'une dissolution de nitrate de cuivre et communiquant ensemble avec une mèche de coton; puis l'on plonge dans chacune d'elles le bout d'une lame de cuivre, dont l'autre est fixée à l'une des extrémités du fil d'un excellent multiplicateur. Tout étant semblable de part et d'autre, il ne se manifeste aucun courant; mais si l'on répand du deutoxide de cuivre sur la partie de l'une des lames qui plonge dans la dissolution, peu après il y a production d'un courant, dont le sens indique que la lame en contact avec le deutoxide a pris l'électricité négative; il suit de là que la lame qui est dans l'autre capsule est le pôle négatif de la petite pile qui opère la décomposition du nitrate de cuivre. Or, dans le tube, il se passe un effet absolument semblable : la partie de la lame qui est en contact avec le deutoxide est le pôle positif, tandis que l'autre est le pôle négatif. Nous reviendrons dans l'instant sur la cause qui donne naissance à cette pile. L'existence de celle-ci étant constatée, la portion de la lame de cuivre qui n'est pas en contact avec le deutoxide doit attirer le cuivre à l'état métallique, ou ses oxides, suivant la force du courant; il est donc tout naturel que le protoxide de cuivre s'y porte, si le courant a une énergie convenable. Il cristallise, parce que l'action électrique étant très-lente, et par suite, l'action chimique, les molécules ont le temps de s'arranger suivant les lois de la cristallisation, bien que le corps soit insoluble, avantage que l'on n'obtient jamais quand les forces chimiques ont une certaine intensité.

Suivant la quantité plus ou moins grande de deutoxide de cuivre renfermée dans le tube, il s'y passe des phénomènes différents. Supposons qu'il y en ait un grand excès; il y a d'abord production et cristallisation de protoxide; la dissolution se décolore peu à peu, de-

vient ensuite incolore, et l'on aperçoit sur les parois intérieures du tube des cristaux de nitrate ammoniac. La liqueur ne renferme plus alors qu'une solution saturée de ce sel et quelques traces de cuivre; il s'écoule quelquefois une année et plus avant d'obtenir ce dernier résultat, qui dépend de la quantité de deutoxide employée. Tout ceci se passe sans le contact de l'air, puisque le tube est fermé hermétiquement; l'ammoniaque a dû être formée aux dépens de l'hydrogène de l'eau et de l'azote de l'acide nitrique.

Quand la quantité de deutoxide est très-faible, voici ce qui arrive : les cristaux de protoxide se forment également sur la lame de cuivre; mais peu à peu ils perdent de leur éclat, et finissent par éprouver une altération qui s'arrête à un certain point; la dissolution reste toujours colorée. L'expérience est alors terminée, et le temps n'apporte plus aucun changement dans la dissolution.

Pour expliquer les faits que nous venons d'exposer et remonter à la cause des phénomènes électriques qui les ont produits, nous avons dû faire l'analyse des cristaux octaédriques et celle de la substance qui remplace le deutoxide du même métal. Le changement qu'éprouve le deutoxide peut seul nous éclairer sur l'origine des effets électriques.

Ces cristaux jouissent des propriétés suivantes : leur poussière est rouge; elle se dissout dans l'ammoniaque sans la colorer; il en est de même dans l'acide hydrochlorique. Cette dernière dissolution est troublée par l'eau et se colore en bleu par l'ammoniaque; ces caractères nous annoncent que ces cristaux appartiennent au protoxide de cuivre.

Analyse de la substance qui remplace le deutoxide de cuivre.

531. Nous avons pris deux grammes de cette substance; après les avoir bien lavés et séchés, nous les avons

traités à chaud par une solution de sous-carbonate de potasse. La liqueur filtrée a été saturée peu à peu par l'acide sulfurique jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de réactions alcalines. Nous avons rapproché la solution par l'évaporation, et nous avons fait cristalliser. Nous avons obtenu $1^{gr.},0$ de nitrate de potasse, plus des eaux-mères que nous avons négligées.

Le sel insoluble qui est resté sur le filtre était du carbonate de cuivre, lequel séché, pesé, nous a donné $1^{gr.},6$.

Or, 1 gramme de nitrate de potasse, en admettant que l'atome de ce sel renferme deux atomes d'acide et un atome de base, contient $0^{g},5$ d'acide et 0,45 de potasse.

De même le carbonate de cuivre, étant formé d'un atome de deutoxide de cuivre et d'un atome d'acide carbonique, donne 1,2 d'oxide et 0,4 d'acide carbonique.

Il suit de là que la substance qui a été soumise à l'analyse est un sous-nitrate dont la composition est :

	Résult. calc.	résul. de l'exp.
2 atomes d'acide nitrique.....	0,5	0,62
3 atomes de deutoxide de cuivre..	1,2	1,37

On voit, d'après cette analyse, que le deutoxide de cuivre s'est transformé en sous-nitrate de cuivre; ce résultat nous met à même d'expliquer les effets électriques qui donnent naissance au protoxide de cuivre et aux autres produits qui l'accompagnent.

Le tube de verre, qui est fermé hermétiquement, renferme du deutoxide de cuivre, une dissolution saturée de nitrate de cuivre, et une lame de cuivre en contact avec l'un et l'autre. Le deutoxide, s'emparant d'une portion de l'acide du nitrate, il s'ensuit que la partie de la lame qui touche le deutoxide se trouve en contact avec de la dissolution de nitrate de cuivre qui est moins saturée que celle dans laquelle plonge le bout supérieur. Il doit résulter de là un courant, puisque la lame de cuivre s

trouve plongée dans deux solutions qui ne sont pas saturées au même degré.

Le bout supérieur est le pôle négatif, tandis que celui du bas est le pôle positif. Le premier doit attirer, par conséquent, le cuivre ou ses oxides, et le second l'acide; c'est précisément ce qui arrive. On voit donc qu'il est tout simple que le protoxide de cuivre se dépose sur la partie supérieure de la lame. L'action de cette pile doit être excessivement faible d'abord, attendu que le deutoxide, surtout quand il est anhydre, agissant difficilement sur l'acide du nitrate, la différence entre ces deux liquides est très-petite; mais avec le temps le nitrate perdant peu à peu son acide, qui n'est remplacé que difficilement par celui de la partie supérieure, il s'ensuit que la différence entre le degré de concentration des deux dissolutions augmente. L'action chimique de la pile doit suivre le même rapport; aussi à la fin de l'opération aperçoit-on des cristaux de cuivre, surtout dans la partie supérieure. Comme cette marche est graduelle, on doit obtenir cristallisées toutes les bases, depuis le protoxide jusqu'au métal, excepté cependant celles qui peuvent réagir sur le nitrate de cuivre.

L'expérience prouve que pendant ces diverses actions il ne se dégage aucun gaz; il suffit pour cela de ne pas fermer le tube et de le recouvrir d'un autre qui est renversé, rempli également d'une dissolution de nitrate de cuivre; quelle que soit la durée de l'expérience, il ne se dégage aucun gaz dans la partie supérieure. Il paraît que l'oxigène qui provient de la réduction du deutoxide du nitrate en protoxide, se porte sur la partie inférieure de la lame, qui est le pôle positif, afin de l'oxider, pour qu'elle puisse se combiner avec l'acide qui y est attiré aussi par l'action du courant. Mais comme il y a formation d'ammoniaque, il faut encore qu'une portion de l'eau et de l'acide soit décomposée, afin d'avoir de l'hydrogène et de l'azote; quant à l'oxigène, il oxide la partie inférieure de la lame. Les décompositions se font dans des proportions telles, que tous les éléments qui en pro-

viennent sont employés à former de nouveaux composés. Ainsi le cuivre ne décompose que les quantités d'eau et d'acide nécessaires pour que l'hydrogène et l'azote soient dans des rapports voulus pour former de l'ammoniaque. Voilà un exemple de décomposition électro-chimique en proportions définies que nous avons fait connaître il y déja plusieurs années:

Le deutoxide, par son action sur la dissolution du nitrate, est tellement la cause du courant électrique qui s'établit dans le système, que l'on peut produire le même effet en mettant les choses dans le même état où elles sont après cette action. On prend deux capsules de porcelaine, dont l'une est remplie d'une dissolution saturée de nitrate de cuivre, et l'autre de la même dissolution étendue d'eau; la communication est établie entre elles avec une mèche de coton. On plonge dans chacune le bout d'une lame de cuivre, Cet appareil revient à celui du tube, quand le deutoxide de cuivre a commencé à s'emparer d'une partie de l'acide du nitrate, puisque, dans l'un et l'autre cas, les deux bouts de la lame sont plongés dans deux dissolutions de nitrate de cuivre à différents degrés de concentration; or, comme dans ces deux cas les effets électriques sont les mêmes, l'explication que nous avons donnée est donc exacte. Les faits précédents nous donnent les moyens de modifier à volonté l'intensité des petites piles qui servent à faire naître des affinités dans les corps. En effet, une lame de cuivre qui plonge dans deux dissolutions de nitrate de cuivre, dont l'une est saturée et l'autre ne l'est pas, constituent une pile : il s'ensuit qu'en étendant plus ou moins d'eau la dissolution qui n'est pas saturée, on aura des actions électro-chimiques plus ou moins énergiques; de plus, comme on peut l'étendre progressivement, ces actions augmenteront ou diminueront dans la même proportion.

C'est par ce moyen qu'on pourra arriver à obtenir cristallisés les divers oxides d'un métal, et à distinguer des principes immédiats dans les composés organiques.

532. *Plomb.* Pour obtenir cristallisé le protoxide de plomb, on prend un tube de verre, de quelques millimètres de diamètre, fermé par un bout, et l'on met au fond de la litharge pulvérisée, environ un centimètre de haut; on verse dessus une solution peu étendue de sous-acétate de plomb, et l'on plonge dedans une lame de plomb, qui se trouve également en contact avec la litharge. Le tube est ensuite fermé hermétiquement. Peu à peu la surface de la lame se recouvre de petites aiguilles prismatiques d'hydrate de plomb; quelquefois on aperçoit du plomb réduit; enfin, mais plus rarement, il se dépose des cristaux dodécaèdres à faces pentagonales, très-limpides, de protoxide, qui, au contact de l'air, perdent leur transparence. Nul doute que ces produits ne soient le résultat de la décomposition du sous-acétate de plomb, par suite d'actions analogues à celles qui ont lieu pendant la production du protoxide de cuivre.

533. *Zinc.* La surface de ce métal se recouvre ordinairement, au contact de l'air, d'une couche très-mince de sous-oxide qui s'oppose aux réactions électro-chimiques. Ce composé se dissout lentement dans les acides, et c'est à sa présence que l'on doit rapporter la faible intensité des courants produits par une pile qui est chargée avec une solution non acide.

Voici un procédé très-simple pour obtenir cristallisé l'oxide de zinc : on prend deux petits flacons, dont l'un renferme une dissolution de zinc dans la potasse, et l'autre une solution de nitrate de cuivre; on établit la communication entre elles au moyen d'un tube recourbé rempli d'argile humectée d'une solution de nitrate de potasse. Une lame de plomb, communiquant avec le pôle positif d'une pile composée de deux ou trois éléments, plonge dans la dissolution de zinc, et une lame de cuivre, en communication avec le pôle négatif, dans la solution de nitrate de cuivre. On peut même se dispenser d'employer une pile, il suffit seulement de mettre en communication métallique la lame de plomb et la lame de cuivre.

Le nitrate de cuivre est décomposé, par suite de l'action du courant provenant de la réaction de l'alcali sur le plomb; l'oxigène et l'acide nitrique sont transportés sur la lame de plomb, et donnent naissance à du nitrate de potasse et à de l'oxide de plomb qui se dissout dans l'alcali. Après quelques jours d'expérience, il se dépose sur la lame de plomb des petits cristaux limpides ayant la forme de prismes aplatis disposés en rose. Ces cristaux se forment pendant la précipitation lente de l'oxide de zinc par l'oxide de plomb, qui sature peu à peu la solution de potasse. Au contact de l'air, ils deviennent peu à peu translucides. Exposés à l'action de la chaleur, ils se colorent en jaune sans se fondre, et redeviennent blancs par le refroidissement, propriété que caractérise l'oxide de zinc. Traités par l'acide acétique, ils ont donné un acétate de zinc qui précipite en blanc par le sulfure de potasse; preuve que ces cristaux ne renfermaient pas de plomb.

En employant une lame de zinc au lieu d'une lame de plomb, il se dépose seulement une substance blanche, qui est une combinaison de zinc et de potasse.

Si l'on continue à laisser fonctionner la pile avec la lame de plomb, il se précipite une poudre jaune, qui est probablement une combinaison de protoxide anhydre du plomb avec la potasse.

Si l'on substitue à la lame de zinc une lame de cuivre ou de platine, ou d'un métal peu oxidable, il se dépose dessus du tritoxide de plomb, en couches très-simples qui se détachent avec facilité, et qui a toutes les propriétés de l'oxide puce. Nous aurons l'occasion de revenir sur ce composé dans un autre chapitre.

534. *Chaux*. On sait que la dissolution d'hydrate de chaux dans l'eau se couvre à l'air d'une pellicule de carbonate de chaux, et que si l'on évapore cette dissolution jusqu'à moitié dans une cornue et qu'on la laisse refroidir lentement, la terre cristallise en petites aiguilles. M. Gay-Lussac a trouvé que lorsque l'évaporation a lieu dans le vide, l'hydrate de chaux cristal-

lise en hexaèdres réguliers. Rien n'est plus facile d'obtenir avec la pile les mêmes cristaux, sans opérer dans le vide; il suffit de verser dans les deux branches du tube en U, rempli dans sa partie inférieure d'argile humide, de l'eau de Seine qui renferme une certaine quantité de sulfate de chaux, et de plonger dans chaque branche une lame de platine en communication avec une pile d'une quinzaine d'éléments. Non-seulement l'eau est décomposée, mais encore le sulfate de chaux. L'eau qui se trouve dans la branche négative donne la réaction alcaline, ce qui annonce que la chaux s'y trouve en dissolution. Comme l'opération n'est pas interrompue, il arrive un certain instant où la cristallisation de l'hydrate de chaux s'effectue. Si le sel à base de chaux était plus abondant, la quantité de chaux qui arriverait dans le tube négatif ne pourrait que nuire au groupement régulier des molécules. Nul doute que l'on ne puisse obtenir cristallisés, par ce procédé, plusieurs oxides hydratés alcalins et terreux.

§ III. *Action de l'hydrogène sur différents corps servant de conducteurs négatifs; formation des chlorures métalliques.*

535. Quand l'hydrogène arrive au pôle négatif, il contribue ordinairement à la réduction de l'oxide en formant momentanément de l'eau avec l'oxigène de cet oxide, laquelle est décomposée ensuite par l'action du courant. S'il y trouve des éléments avec lesquels il puisse se combiner, nul doute que la combinaison ne s'effectue, puisque le gaz se trouve à l'état naissant. Nous allons passer en revue quelques observations de ce genre.

On ne connaît pas en chimie de combinaison d'or et d'hydrogène; cependant Ritter a avancé qu'en décomposant l'eau avec des fils d'or, il se formait au pôle négatif un hydrure de ce métal. Nous mentionnons ce résultat sans en garantir l'exactitude.

On a prétendu aussi qu'on pouvait combiner l'argent

avec l'hydrogène par le même moyen; mais le fait n'est point encore prouvé.

On a avancé également que le bismuth se combinait avec l'hydrogène, quand ce métal servait de conducteur négatif pour décomposer l'eau. Dans cette circonstance, le métal se noircit et se recouvre de dendrites noires.

Ritter a également avancé que si, pour décomposer l'eau, on se sert d'un fragment de tellure pour conducteur négatif, l'hydrogène qui s'y rend se combine en entier avec le métal et produit une poudre brune, d'hydrure de tellure; mais M. Magnus, qui a examiné ce produit, a reconnu qu'il était composé de tellure dans son plus grand état de division.

536. L'hydrogène et le carbone, qui se combinent en diverses proportions lorsque ces deux corps se trouvent à l'état naissant, puisque toutes les substances animales et végétales en décomposition laissent dégager du gaz hydrogène carboné, doivent pouvoir se combiner aussi au pôle négatif de la pile. Cette propriété est d'une grande importance en électro-chimie, surtout quand il s'agit d'enlever le carbone à un corps. Les expériences suivantes serviront à montrer le parti que l'on peut tirer de l'anthracite, c'est-à-dire du charbon presque pur et du charbon ordinaire, dans les recherches qui nous occupent.

Quand on plonge dans un acide, en contact avec un métal, un morceau d'anthracite ou de charbon, il en résulte un courant dont le sens et l'intensité dépendent des actions chimiques exercées par le liquide sur le charbon et le métal. Fixons, par exemple, un morceau de charbon, privé de tous corps étrangers, à l'un des bouts d'un fil de platine en communication avec un multiplicateur, et plongeons-le dans de l'acide nitrique communiquant aussi avec le multiplicateur au moyen d'un autre fil de platine. On a alors un courant qui va du charbon à l'acide; ce résultat nous annonce que le charbon a été attaqué par l'acide.

Un couple carbone et cuivre plongé dans l'acide hydro-chlorique détermine un courant qui va du cuivre au carbone par suite de l'action lente de l'acide sur le métal. Un couple carbone et argent se comporte de même : on déduit de là un procédé très-simple pour former les chlorures d'argent et de cuivre. Dans un tube de verre fermé par un bout, on verse de l'acide hydro-chlorique concentré, et l'on plonge dedans une lame d'argent fixée avec un fil de même métal à un morceau d'anthracite ou de charbon, puis l'on ferme le tube, en laissant seulement une très-petite ouverture pour donner issue aux gaz qui se dégagent dans la réaction des corps. Voici ce qui se passe : l'argent étant le pôle positif de la petite pile, attire le chlore et se combine avec lui, tandis que l'hydrogène se porte sur le carbone, avec lequel il forme une combinaison gazeuse qui se dégage; quand le tube est fermé hermétiquement, la tension que le gaz acquiert ne tarde pas à le faire éclater. Le chlorure d'argent formé se dissout, et quand l'acide est saturé, ce composé cristallise en jolis octaèdres translucides d'un à deux millimètres de côté. Si l'on substitue une lame de cuivre à la lame d'argent, la réaction chimique produit des effets électriques qui augmentent l'énergie des affinités; l'acide hydro-chlorique est décomposé, il y a dégagement d'hydrogène carboné, puis, six mois, un an après, la lame se recouvre de beaux cristaux tétraèdres de proto-chlorure de cuivre très-brillants, possédant une grande réfrangibilité; si l'on continue l'expérience sans le contact de l'air, la liqueur change de couleur, devient brun foncé, et les cristaux ne sont plus visibles. Le carbone est alors fortement attaqué, et il en résulte une combinaison qui n'a pas encore été examinée.

§ IV. *De l'action de la pile sur les sulfures alcalins.*

537. Lorsqu'une solution de proto-sulfure de potassium ou de sodium est exposée à l'air, le métal et le soufre

s'oxident simultanément; il en résulte de l'hypo-sulfite, dans lequel l'acide et la base renferment une quantité égale d'oxigène; les dissolutions des autres sulfures éprouvent d'autres changements; tant que la dissolution conserve une teinte jaune, il ne se forme que de l'hypo-sulfite; mais, dès l'instant que le soufre se précipite, ce sel se change en sulfite, puis en sulfate.

La solution alcoolique du sulfure alcalin donne naissance aussi, au contact de l'air, à de l'hypo-sulfite de potasse, qui cristallise à la surface du liquide en même temps que le soufre dissous par l'alcool est abandonné. Les autres sulfures alcalins se comportent de même.

Quant aux sulfures de barium et de strontium, leurs dissolutions éprouvent à l'air des changements qui sont un peu différents; il n'y a pas formation d'hypo-sulfite, mais bien d'hypo-sulfate.

Quand la solution d'un des sulfures précédents est soumise dans l'une des branches du tube en U, l'autre renfermant de l'eau, à l'action du pôle positif d'une pile composée d'un petit nombre d'éléments, par l'intermédiaire de lames de platine, l'eau communiquant avec le pôle négatif, elle éprouve des changements semblables à ceux qui ont lieu dans l'air. En effet, la dissolution dans l'eau du proto-sulfure de potassium ou de sodium éprouve d'abord de la part du pôle positif les effets ordinaires, c'est-à-dire qu'une portion est décomposée, et qu'il y a transport de potasse ou de soude dans le tube négatif, tandis que le soufre mis à nu, de l'autre côté, se combine avec une portion de l'oxigène dégagée, qui le transforme succesivement en acide hypo-sulfureux, en acide sulfureux et en acide sulfurique, lequel se combine avec la base, car, après quelques jours d'expérience, on ne retrouve plus que du sulfate; en continuant l'opération, ce dernier sel subit lui-même l'action décomposante de la pile. Même phénomène dans la dissolution de persulfure, seulement il y a précipitation de soufre.

La dissolution alcoolique du proto-sulfure ne produit aucun phénomène particulier; quant à celle du persul-

fure, il y a, outre la formation du sulfate, un dépôt sur la lame de platine de jolis cristaux de soufre, très-réguliers, dont on peut accroître les dimensions en changeant la solution quand elle n'est plus saturée. La cristallisation parfaite du soufre est due en partie à la propriété dont jouit l'alcool de dissoudre une certaine quantité de soufre.

538. Les solutions du sulfure de barium et de strontium, exposées comme les précédentes à l'action du pôle positif, donnent dans les premiers instants un dépôt de soufre et des prismes quadrilatères presque droits, inaltérables à l'air, d'hypo-sulfate de baryte ou de strontium. En continuant l'opération, ces mêmes cristaux sont décomposés.

La tendance qu'éprouvent les proto-sulfures de barium et de strontium à se changer en hypo-sulfates est telle, que lorsqu'on substitue une lame de plomb ou une lame de cuivre à la lame de platine, on a encore un hypo-sulfate, et seulement une petite quantité de sulfure de plomb ou de cuivre sur les lames.

Si l'on opère avec une solution de persulfure de barium, il y a précipitation de soufre sous forme de petits tubercules, et formation d'hypo-sulfate; il semble que dans le proto-sulfure, le soufre et le barium soient dans des proportions voulues pour que l'oxigène provenant de la décomposition de l'eau, et qui est transporté au pôle positif, se partage entre les deux éléments, de manière à former l'hypo-sulfate. Tout le soufre excédant dans le persulfure ne pouvant entrer dans la combinaison, est nécessairement abandonné, et comme il joue le rôle d'élément électro-négatif, il se porte naturellement au pôle positif.

On sent parfaitement que toutes les actions chimiques qui donnent naissance à tous ces composés, ne peuvent naître que sous certaines influences électriques peu énergiques; car si l'on opère avec des appareils dont l'action soit trop forte on isole tous les éléments, et aucune combinaison n'est possible; l'art consiste donc

à disposer les appareils de manière à empêcher les transports de certains éléments, pour forcer ceux-ci à se combiner avec d'autres éléments que l'on parvient à y transporter par les courants. Cette nouvelle manière d'opérer les combinaisons est féconde en applications, et nous présage des résultats importants pour la chimie.

539. Dans les expériences précédentes, le sulfure était soumis à l'action du pôle positif; voyons ce qui arrive quand il est en relation avec le pôle négatif. Prenons le sulfure de barium; dans ce cas, l'hydrogène exerce une réaction sur ce composé, d'où résulte un sulfo-hydrate de baryte, comme on peut s'en assurer en essayant la solution.

Si l'on veut obtenir cette substance cristallisée, on ajoute à la solution moitié d'alcool; comme elle n'est pas soluble dans ce dernier liquide, elle cristallise en grande partie sur la lame de platine à mesure qu'elle se forme; en faisant dissoudre les cristaux, on retrouve tous les caractères qui conviennent au sulfo-hydrate de baryte.

§ V. *Des doubles chlorures, doubles iodures, doubles bromures, doubles sulfures, doubles cyanures, etc.*

540. En employant les principes que nous venons d'exposer, on conçoit qu'il soit possible d'obtenir cristallisées des doubles combinaisons insolubles, que la chimie ordinaire parviendrait difficilement à effectuer, à cause de l'impossibilité où elle se trouve d'opérer lentement, et d'enlever à volonté à un composé, tel ou tel élément, ou de lui en fournir d'autres. Occupons-nous d'abord des oxi-chlorures.

On prend un tube recourbé en U, rempli, dans sa partie intérieure, d'argile humectée d'eau; l'on met dans une des branches du nitrate de cuivre, dans l'autre une solution du chlorure que l'on veut soumettre à l'expérience, du chlorure de sodium par exemple; puis l'on plonge dans chacune d'elles le bout d'une lame de métal, tel que le cuivre, et l'on ferme les deux ouver-

tures avec des bouchons. Bientôt après, par suite de la réaction des deux solutions l'une sur l'autre et de la solution du chlorure sur le cuivre, le bout qui est plongé dans la solution du nitrate devient le pôle négatif d'un petit appareil voltaïque et se recouvre de cuivre à l'état métallique; l'acide nitrique et l'oxigène sont transportés dans la branche positive, où ils concourent l'un et l'autre à des réactions chimiques que nous allons décrire. La lame de cuivre qui se trouve dans cette branche, tend avant tout à décomposer le chlorure; mais, en raison de l'action voltaïque, elle s'oxide aux dépens de l'oxigène qui est transporté; l'oxide de cuivre qui est formé se combine immédiatement avec du chlorure de cuivre et du chlorure de sodium; d'où résulte un oxi-chlorure de cuivre et de sodium. Peu à peu cette combinaison cristallise sur la lame positive en jolis cristaux tétraèdres. Si l'on veut avoir des cristaux de 2 à 3 millimètres de grosseur, il faut que l'appareil fonctionne pendant une année au moins. Le succès de l'expérience dépend de l'obstacle que l'on oppose au mélange des liquides contenus dans les tubes, sans nuire au transport de l'oxigène vers le pôle positif. L'acide nitrique contribue non seulement à oxider le cuivre, mais encore à décomposer le sel marin, puisque l'on retrouve du nitrate de soude dans la solution.

Nous avons dit que cette combinaison ne s'opère qu'autant que le bout qui est dans la solution de sel marin s'oxide lentement; car elle n'a pas lieu quand on emploie un courant électrique intense. Le meilleur moyen d'oxider un métal, dans les recherches électro-chimiques, est de disposer les appareils pour s'emparer de l'oxigène provenant de la réduction d'un oxide.

Ce double oxi-chlorure, privé du contact de l'air, est inaltérable; mais dès l'instant qu'il est en contact avec l'eau, il se décompose, le chlorure de sodium se dissout et l'oxi-chlorure se précipite. Il était essentiel d'analyser ce dernier produit pour en connaître la nature; nous l'avons fait de la manière suivante : nous

à disposer les appareils de manière à empêcher les transports de certains éléments, pour forcer ceux-ci à se combiner avec d'autres éléments que l'on parvient à y transporter par les courants. Cette nouvelle manière d'opérer les combinaisons est féconde en applications, et nous présage des résultats importants pour la chimie.

539. Dans les expériences précédentes, le sulfure était soumis à l'action du pôle positif; voyons ce qui arrive quand il est en relation avec le pôle négatif. Prenons le sulfure de barium; dans ce cas, l'hydrogène exerce une réaction sur ce composé, d'où résulte un sulfo-hydrate de baryte, comme on peut s'en assurer en essayant la solution.

Si l'on veut obtenir cette substance cristallisée, on ajoute à la solution moitié d'alcool; comme elle n'est pas soluble dans ce dernier liquide, elle cristallise en grande partie sur la lame de platine à mesure qu'elle se forme; en faisant dissoudre les cristaux, on retrouve tous les caractères qui convviennent au sulfo-hydrate de baryte.

§ V. [illegible]

[illegible]

tures avec des bouchons. Bientôt après, par suite de la réaction des deux solutions l'une sur l'autre et de la solution du chlorure sur le cuivre, le bout qui est plongé dans la solution du nitrate devient le pôle négatif d'un petit appareil voltaïque et se recouvre de cuivre à l'état métallique; l'acide nitrique et l'oxigène sont transportés dans la branche positive, où ils concourent l'un et l'autre à des réactions chimiques que nous allons décrire. La lame de cuivre qui se trouve dans cette branche, tend avant tout à décomposer le chlorure; mais, en raison de l'action voltaïque, elle s'oxide aux dépens de l'oxigène qui est transporté; l'oxide de cuivre qui est formé se combine immédiatement avec du chlorure de cuivre et du chlorure de sodium; d'où résulte un oxi-chlorure de cuivre et de sodium. Peu à peu cette combinaison cristallise sur la lame positive en jolis cristaux tétraèdres. Si l'on veut avoir des cristaux de 2 à 3 millimètres de grosseur, il faut que l'appareil fonctionne pendant une année au moins. Le succès de l'expérience dépend de l'obstacle que l'on oppose au mélange des liquides contenus dans les tubes, sans nuire au transport de l'oxigène vers le pôle positif. L'acide nitrique contribue non seulement à oxider le cuivre, mais encore à décomposer le sel marin, puisque l'on retrouve du nitrate de soude dans la solution.

Nous avons dit que cette combinaison ne s'opère qu'autant que le bout qui est dans la solution de sel marin s'oxide lentement; car elle n'a pas lieu quand on emploie un courant électrique intense. Le meilleur moyen d'oxider un métal, dans les recherches électro-chimiques, est de disposer les appareils pour s'emparer de l'oxigène provenant de la réduction d'un oxide.

Ce double oxi-chlorure, privé du contact de l'air, est inaltérable; mais dès l'instant qu'il est en contact avec l'eau, il se décompose, le chlorure de sodium se dissout et l'oxi-chlorure se précipite. Il était essentiel d'analyser ce dernier produit pour en connaître la nature; nous l'avons fait de la manière suivante : nous

che positive, on voit se former au fond du tube, au-dessus de l'argile et sur la lame d'argent, des jolis cristaux octaèdres de sulfure d'argent.

Ces cristaux ont le même aspect que ceux de la même substance que l'on trouve dans les mines d'argent; comme eux ils s'étendent légèrement sous le marteau; leur couleur est gris de plomb, et leur surface extérieure est terne. La ressemblance est telle, que les cristaux artificiels ne peuvent être en rien distingués des cristaux naturels.

Pourquoi obtient-on un sulfure d'argent au lieu d'un hypo-sulfite, d'un sulfite ou même d'un sulfate, par suite de la réaction de l'oxigène et de l'acide nitrique sur le double hypo-sulfite? On ne peut répondre à cette question, qu'en supposant que le pôle positif réagisse sur l'oxide d'argent et l'acide hypo-sulfureux, pour les désoxider; dès lors l'argent et le soufre se trouvant à l'état naissant, obéissent à leurs affinités réciproques. Ces effets s'opérant lentement, rien ne s'oppose au groupement régulier des particules du sulfure d'argent. On n'obtient rien de semblable avec une solution de sulfure de potassium. Dans ce cas, les résultats de l'expérience sont du sulfate de potasse et du sulfate d'argent. L'influence des proportions et l'énergie de l'action en sont très-probablement la cause.

544. *Sulfure de cuivre.* Appliquons les principes précédents à la formation d'autres sulfures, d'abord à celle du sulfure de cuivre. Remplaçons la solution de nitrate d'argent par une solution de nitrate de cuivre, et la lame d'argent par une lame de cuivre : il ne tarde pas à se former, dans le tube où se trouve l'hypo-sulfite de potasse, un double hypo-sulfite de cuivre et de potassium qui cristallise en aiguilles soyeuses très-fines. Peu à peu ce double hypo-sulfite se décompose, et l'on finit par obtenir sur la lame de cuivre des cristaux aplatis, opaques, à faces triangulaires, de 2 millimètres de longueur.

Ces cristaux sont d'un gris métallique, et quelques-

uns présentent des reflets bleuâtres; leur poussière est noirâtre. Ils se dissolvent dans l'ammoniaque, qu'ils colorent en bleu, et il est facile de reconnaître qu'ils ne sont composés que de soufre et de cuivre. On n'a pu recueillir jusqu'ici assez de ce sulfure pour déterminer les quantités relatives de métal et de soufre.

545. *Oxi-sulfure d'antimoine.* Pour préparer le kermès, on se sert des mêmes liquides que dans l'expérience précédente, et l'on établit la communication entre les deux tubes, au moyen d'un arc composé de deux lames, l'une de cuivre et l'autre d'antimoine; la lame de cuivre plongeant dans le nitrate et la lame d'antimoine dans l'hypo-sulfite. La première se recouvre de cuivre provenant de la décomposition du nitrate, tandis que l'autre, ainsi que les parois du tube, se recouvrent d'un précipité brun rouge. Quelque temps après, il se forme sur l'antimoine de petits cristaux octaèdres rouges, et des lames cristallisées de même nature que le précipité. Ces cristaux sont solubles dans l'hydro-sulfate neutre de potasse, et laissent dégager de l'hydrogène sulfuré par l'action de l'acide hydro-chlorique dans lequel ils se dissolvent. Les alcalis les rendent jaunes. Tous ces caractères appartiennent à l'oxi-sulfure d'antimoine. La théorie de sa formation est la même que celle du sulfure d'argent, ainsi nous ne nous y arrêterons pas.

546. *Sulfure d'étain.* Il est possible d'obtenir le sulfure d'étain en très-petits cristaux ayant le brillant métallique; mais l'expérience ne réussit qu'autant que l'action électro-chimique est très-faible. Cette opération est difficile à conduire.

547. *Sulfure de plomb ou galène.* On obtient également ce composé en jolis cristaux tétraèdres réguliers, mais en suivant une autre méthode que celle dont nous avons fait usage plus haut. On prend un tube fermé par un bout, d'un décimètre de long et de 5 à 6 millimètres de diamètre. Dans la partie inférieure on met du sulfure de mercure noir, environ deux ou trois centimètres de hauteur. On verse dessus une solution de

chlorure de magnésium; puis l'on plonge dans le liquide, jusqu'au fond du tube, une lame de plomb. L'appareil ayant été fermé hermétiquement, est abandonné ensuite aux réactions électro-chimiques. Un mois, six semaines après, on commence à apercevoir sur la paroi du tube, au-dessus du sulfure, une couche très-mince d'un précipité brillant, d'un gris métallique, qui s'en détache facilement et se recouvre peu à peu de petits cristaux qui, vus au microscope, paraissent être des octaèdres réguliers ayant le même aspect que ceux de la galène. En ouvrant le tube, il s'en dégage un gaz qui répand l'odeur propre aux combinaisons du soufre avec le chlore et l'hydrogène. En essayant la liqueur avec un acide, il s'en dégage de l'acide sulfureux. La partie inférieure de la lame de plomb est devenue cassante par suite de la combinaison du plomb avec le mercure. Pour expliquer ces différents résultats, il faut se rappeler que lorsque le plomb est en contact avec un chlorure alcalin ou terreux, tel que celui de magnésium, il se forme un double chlorure, et de la magnésie est mise à nu. Par suite de cette réaction, le plomb devient négatif et la solution positive; la circulation du fluide électrique s'opère alors par l'intermédiaire de la couche infiniment mince du liquide qui adhère à la paroi du verre (propriété sur laquelle nous reviendrons plus tard). Dans la même circonstance le sulfure de mercure se dissolvant dans le chlorure se trouve soumis à l'action de la petite pile; le plomb, qui est le pôle négatif, attire le mercure, et le soufre se porte sur le double chlorure de plomb et de magnésium. Une portion du soufre se combine avec le plomb, d'où résulte un sulfure de plomb qui cristallise, sans aucune trace de mercure, tandis que l'autre portion se combine avec le chlorure de magnésium et le chlore qui était combiné avec le plomb, ce qui donne un sulfo-chlorure de magnésium et un chlorure de soufre.

En continuant l'opération pendant plusieurs mois, la liqueur dans la partie adjacente au sulfure de mercure

prend une teinte rougeâtre, qui est probablement due à la présence du chlorure de soufre. Nous devons faire observer que l'on ne trouve aucune trace de plomb dans la liqueur. C'est une preuve qu'il est précipité aussitôt qu'il est dissous.

L'action qui détermine la formation du sulfure de plomb étant très-complexe, il serait difficile, sans avoir fait l'analyse de la liqueur, de dire comment s'effectuent en proportions définies les diverses décompositions et combinaisons dont nous venons de parler.

548. *Sulfure de fer et de zinc.* Ces composés sont très-difficiles à former par les procédés que nous avons décrits, en raison de leur altérabilité au contact de l'air et de l'eau. Nous sommes parvenus néanmoins à obtenir le premier, avec l'hypo-sulfite alcalin, en petits cristaux jaunes, d'un éclat brillant, lesquels se sont décomposés rapidement au contact de l'air. Quant au sulfure de zinc, nous n'avons pu l'avoir encore cristallisé.

Nous ferons connaître, dans le quatrième volume, une méthode à l'aide de laquelle on parvient à former le persulfure du fer en cristaux dodécaèdres, à faces pentagonales.

549. *Sulfure de cadmium.* On obtient le sulfure jaune orangé, sous forme cristalline, en employant le deuxième procédé, celui qui donne le sulfure de plomb.

550. Des faits exposés dans ce chapitre, nous pouvons conclure que, pour obtenir cristallisée une substance insoluble, par des réactions électro-chimiques, il suffit de la faire entrer en combinaison avec une autre qui soit soluble, et d'opérer ensuite une décomposition très-lente. On peut arriver au même but, mais avec beaucoup plus de difficultés, par les moyens ordinaires de la chimie, comme le prouve l'observation suivante :

De l'argile très-divisée et humectée d'une solution d'arséniate de potasse, ayant été mise dans un tube de verre, on a versé dessus une solution de nitrate de cuivre ; la réaction des deux solutions eut lieu rapidement dans les premiers instants, à la surface du contact de

l'argile et de la solution de nitrate. Mais peu à peu celle-ci ayant pénétré dans la masse de l'argile, il en est résulté une réaction très-lente entre l'arséniate et le nitrate; circonstance favorable à la cristallisation de l'arséniate de cuivre. Au bout de quelque temps, on a fini par apercevoir dans quelques parties vides de l'argile, des cristaux semblables à ceux de l'arséniate de cuivre de la nature.

551. La formation des doubles sulfures et des sulfures simples étant soumise à certaines lois, il ne faut pas donner aux tubes des dimensions quelconques, et employer des liquides dont la conductibilité électrique soit trop considérable. Car s'il se formait, par exemple, une trop grande quantité de double hypo-sulfate pour être décomposée complétement par l'acide qui vient du tube, où se trouvent le nitrate de cuivre et le nitrate d'argent, l'opération serait incomplète, vu que l'on n'aurait pas alors les réactions nécessaires pour la production des composés que l'on veut former. Ainsi, suivant que les circonstances auront été plus ou moins favorables, on aura une cristallisation parfaite, une cristallisation confuse, ou absence de cristallisation et même de production de double sulfure. On doit toujours prendre des tubes à petite dimension, c'est-à-dire de deux ou trois millimètres; car si l'acide arrivait en trop grande quantité dans le tube où se trouve la double combinaison, il réagirait sur chacun des composants, et l'on n'aurait pas le résultat attendu. Il ne faut pas oublier que l'hypo-sulfite, dont nous avons fait usage, provenait de la décomposition à l'air d'un proto-sulfure de potassium.

§ VII. *Des Iodures métalliques.*

552. On sait que les iodurues métalliques sont soumis à la même loi de composition que les sulfures : on doit donc se procurer les iodures insolubles par le même procédé que celui qui a servi pour les sulfures : ce n'est là qu'une généralisation du principe.

Iodure de plomb. On substitue, dans l'appareil électro-chimique, l'iodure de potassium ou de soude à l'hypo-sulfite alcalin; puis on plonge dans la branche du tube en U, où se trouve la solution de nitrate de cuivre, une lame de cuivre, et dans l'autre, qui contient une solution d'iodure de potassium, une lame de plomb; on obtient d'abord dans celle-ci un double iodure de plomb et de potassium, qui cristallise en aiguilles blanches soyeuses très-fines; peu à peu cette combinaison se décompose, en commençant par la partie inférieure contiguë à l'argile; puis l'on aperçoit un grand nombre de cristaux, dérivant de l'octaèdre régulier, d'un jaune d'or et d'un aspect brillant qui appartiennent à l'iodure de plomb.

553. Le cuivre, soumis au même mode d'action, donne d'abord un double iodure en aiguilles blanches cristallisées, puis l'on obtient, après la décomposition, de jolis cristaux octaèdres. L'iodure d'argent s'obtient aussi facilement.

Il est probable que les autres métaux, dont les iodures sont insolubles, avec des précautions convenables, donneraient des résultats semblables. Les bromures, les séléniures insolubles peuvent sans doute être obtenus par le même procédé. Nous nous bornons à en faire mention ici, parce que leur formation découle d'un principe général que nous avons suffisamment développé dans ce chapitre, pour ne pas devoir entrer dans de nouveaux détails à cet égard.

CHAPITRE XIV.

EXPOSÉ D'UNE MÉTHODE GÉNÉRALE POUR OBTENIR CRISTALLISÉS LE SOUFRE, LE SULFATE ET LE CARBONATE DE BARYTE.

§ Ier. *Principe employé pour la formation de ces composés.*

554. Nous avons déja montré que lorsqu'un corps, quand il est transporté par un courant, rencontre un autre corps, avec lequel il forme un composé insoluble, la combinaison a lieu et le précipité s'effectue aussitôt. Mais nous n'avons encore rien dit de ce qui se passe quand un acide rencontre un sel dont la base a plus d'affinité pour lui que pour l'acide avec lequel elle est combinée : l'expérience suivante va nous dire ce qui se passe dans cette circonstance.

Un tube de verre, de plusieurs millimètres de diamètre, ouvert par les deux bouts et contenant dans sa partie inférieure de l'argile très-fine, humectée d'une solution de nitrate de potasse, et dans sa partie supérieure, de l'alcool ordinaire, est placé dans un autre tube, rempli d'une solution de sulfate de cuivre; puis l'on établit extérieurement la communication entre les deux liquides, au moyen d'un arc composé de deux lames de cuivre et plomb soudées bout à bout, le côté cuivre plongeant dans le sulfate, et le côté plomb dans l'alcool. Le

sulfate de cuivre ne tarde pas à être décomposé par suite des effets électriques qui résultent de la réaction des deux liquides l'un sur l'autre et de l'alcool sur le plomb. Le cuivre du sulfate se réduit sur la lame de même métal, qui est le pôle négatif; l'oxigène et l'acide sulfurique se transportent du côté où se trouve la lame de plomb; mais au lieu d'obtenir du sulfate de plomb, il se forme en peu de jours une grande quantité de cristaux octaëdres de nitrate de plomb. Ce fait prouve évidemment que l'acide sulfurique, en traversant l'argile imprégnée de nitrate de potasse, a décomposé ce sel, s'est combiné avec la potasse en raison d'une plus grande affinité pour cette base que n'en a l'acide nitrique. Ce dernier acide devenu libre s'est rendu au pôle positif, où il s'est combiné avec l'oxide de plomb, formé en grande partie aux dépens de l'oxigène du cuivre. Il en est résulté du nitrate de plomb qui a cristallisé à mesure que l'alcool en a été saturé. Avec une action voltaïque plus forte, le sulfate de potasse aurait été décomposé; cet exemple nous montre combien sont précieux les faibles courants électriques pour opérer des combinaisons. Dans le cas que nous considérons, le nitrate de potasse a été décomposé par le concours des forces électriques et des affinités.

555. Appliquons maintenant le principe précédent à la décomposition du sulfo-carbonate de potasse et à la formation de quelques composés.

1re Expérience. Le sulfo-carbonate de potasse dont la solution, quand elle n'est pas très-concentrée, se décompose peu à peu à l'air, se trouve dans des circonstances favorables pour que des forces très-faibles apportent des changements dans l'état de combinaison de ses molécules. Voici comment on opère sur cette substance : on prend deux bocaux en verre; dans l'un on verse une solution de sulfate de cuivre, et dans l'autre une solution alcoolique de sulfo-carbonate de potasse; puis l'on établit la communication entre les deux liquides, d'une part, avec un tube de verre recourbé rempli d'argile humectée d'une solution de nitrate de potasse,

sur son passage de l'acide carbonique, le chasse de la combinaison et prend sa place; alors l'acide carbonique forme avec l'oxide de cuivre un carbonate, lequel, en se combinant avec celui de soude, donne naissance à un double carbonate de cuivre et de potasse, qui cristallise en belles aiguilles d'un vert bleuâtre satiné. Cette substance, qui n'est pas soluble dans l'eau, se décompose à l'aide de la chaleur, le carbonate de soude se dissout, celui de cuivre se précipite, et devient brun comme le carbonate ordinaire traité par l'eau bouillante.

Dans les expériences précédentes, la propriété dont jouit l'acide sulfurique de chasser des acides qui ont moins d'affinité que lui pour les bases, n'a lieu qu'en raison du peu d'énergie de l'action de la pile; car si l'action était plus considérable, tous les acides indistinctement seraient transportés au pôle positif. Cette propriété est subordonnée néanmoins à certains phénomènes dont il sera question dans le chapitre suivant.

Le courant électrique dont nous nous sommes servis pour produire des décompositions, peut provenir de deux causes, de la réaction chimique l'un sur l'autre des deux liquides qui sont en contact, et de l'action chimique du liquide du petit tube sur le métal qui plonge dedans. Dans le premier cas, si la réaction est suffisamment énergique, on peut se passer de la seconde; de même si celle-ci a une intensité convenable, la première devient inutile; mais quand l'une et l'autre sont faibles, et que les courants qui en résultent sont dirigés dans le même sens, alors leur somme devient indispensable à la production des effets électro-chimiques. En général, toutes les fois que les deux courants cheminent dans le même sens, leur somme ne peut que favoriser les décompositions et la formation des produits. Il arrive souvent que ces deux courants sont si faibles que la réduction de l'oxide dans le grand tube ne saurait avoir lieu. Dès lors il n'y a aucun effet de produit. Si donc l'on n'aperçoit dans les appareils, au bout de quelques jours, aucune précipitation de cuivre

sur la lame de même métal qui plonge dans la solution du nitrate ou du sulfate, il devient inutile de pousser plus loin l'expérience; il faut alors changer l'appareil. Dans l'expérience où le grand tube renferme du sulfate de cuivre, et le second dans la partie inférieure de l'argile humectée d'une solution de nitrate de potasse, puis de l'alcool, la réaction chimique du nitrate sur le sulfate a exercé une grande influence sur la production du courant qui a décomposé le sulfate de cuivre, car l'alcool a dû exercer sur le plomb une action assez faible pour qu'il en résulte un courant électrique sensible. Il serait à désirer qu'on pût toujours opérer sur des solutions qui exerçassent les unes sur les autres des actions chimiques suffisamment énergiques pour développer des courants convenables quand la lame qui plonge dans le liquide est d'or ou de platine, afin de pouvoir étudier facilement les phénomènes de décomposition et de recomposition indépendamment de la réaction des oxides. Ce serait la seule marche à suivre pour découvrir ce qui se passe dans les composés organiques liquides, lorsqu'on y transporte, au moyen de l'électricité, des corps capables d'enlever quelques-unes de leurs parties constituantes. On peut suppléer à ce défaut de réaction suffisante des liquides, en opérant avec l'appareil dont nous allons donner la description, lequel permet d'éviter, quand on le veut, l'action des oxides métalliques qui se forment au pôle positif. Comme cet appareil permet d'opérer dans un grand nombre de cas, nous entrerons dans quelques détails sur sa construction et son usage.

557. On prend trois bocaux A, A′, A″ (fig. 123), rangés sur la même ligne à peu de distance les uns des autres : le premier est rempli d'une solution de sulfate ou de nitrate de cuivre; le second, d'une solution de la substance sur les parties constituantes de laquelle on veut opérer des changements; et le troisième, d'eau renduc légèrement conductrice de l'électricité par l'addition d'un acide ou de sel marin capable de réagir chimique-

chlorique dans une dissolution quelconque, même lorsque ces deux acides s'y trouvent en très-petite quantité. On remplace la lame de platine *a' b' c'* par une lame d'or, puis l'on verse dans le bocal A une dissolution de sulfate de cuivre et dans le bocal A' et l'argile du tube *a b c* une dissolution du composé qui est censé renfermer les deux acides en combinaison avec des bases; aussitôt que l'appareil commence à fonctionner, l'acide sulfurique chasse les deux acides de leurs combinaisons, lesquels se portent, avec l'oxigène qui provient de la réduction de l'oxide de cuivre, sur le bout *a'* de la lame d'or; la couleur jaune qui se manifeste sur-le-champ indique la présence de l'acide nitrique et de l'acide hydro-chlorique. Cette réaction s'obtient également quand on substitue aux bocaux des tubes de petites dimensions; par ce procédé, aucunes parties des acides ne sont perdues, car toutes sont transportées au pôle positif, et concourent à la production de l'hydrochlorate d'or.

4e Expérience. — *Sulfite de cuivre.* On remplit le bocal A' d'une dissolution de sulfite de potasse, et l'on remplace la lame d'or *a' b' c'* par une lame de cuivre. L'extrémité *a'* étant toujours le pôle positif, attire l'oxigène et l'acide nitrique; ce dernier décompose le sulfite et s'empare de la base; l'acide sulfureux se porte sur l'oxide de cuivre qui se forme en même temps et se combine avec lui; le sulfite de cuivre se combine lui-même avec le sulfite de potasse, d'où résulte un composé qui cristallise en beaux octaèdres; mais l'acide nitrique continuant toujours à arriver, finit par décomposer ce double sulfite : il se dégage alors du gaz acide sulfureux, le sulfite de potasse est transformé en bisulfite et en nitrate de potasse. Quant au sulfite de cuivre, il se précipite en cristaux octaèdres transparents, d'un rouge vif, avec l'éclat du grenat pyrope. M. Chevreul a obtenu, il y a long-temps, ce sulfite de cuivre, par les procédés ordinaires de la chimie.

Nous pourrions étendre encore davantage le nombre des résultats, mais nous croyons avoir rempli le but que nous nous sommes proposé ici, celui de faire connaître la description d'un appareil qui est d'un usage fréquent.

CHAPITRE XV.

DE L'ACTION DE L'ÉLECTRICITÉ, COMME MOYEN D'ESSAI CHIMIQUE.

560. Dès l'instant qu'on eut reconnu qu'il n'existe pas de courant électrique dans un circuit mixte, c'est-à-dire dans un circuit composé de deux métaux ou d'un liquide ou de deux liquides différents, et d'un liquide sans qu'il y ait action chimique du liquide sur le métal, ou différence de température entre les deux bouts du fil ou de la lame de métal plongeant dans le liquide, on chercha à utiliser les effets électro-chimiques pour découvrir la présence de certains éléments dans les solutions, et même pour les en retirer entièrement. Les expériences qui ont déja été faites à cet égard ne laissent aucun doute sur le parti avantageux que l'on peut tirer de ce mode d'expérimentation pour l'analyse qualificative. Le lecteur pourra en juger par les résultats suivants.

§ Ier. *Procédé pour reconnaître les altérations que certaines dissolutions éprouvent au contact de l'air atmosphérique.*

561. On est fort embarrassé souvent de reconnaître en chimie si un liquide quelconque éprouve des altérations lentes au contact de l'air; les phénomènes électriques qui ont lieu dans la réaction l'un sur l'autre de deux liquides hétérogènes, nous mettent à même de résoudre

cette question aussi complétement qu'il est possible de l'espérer.

Supposons qu'on ait dissous du fer dans de l'acide nitrique et que la liqueur ait été filtrée; plongeons ensuite dedans deux lames de platine, communiquant chacune avec l'une des extrémités du fil d'un multiplicateur; laissons-en une dans la dissolution, retirons l'autre et replongeons-la de nouveau; il se produit alors un courant électrique, dont la direction est telle, que la lame retirée de la dissolution et replongée de nouveau prend l'électricité positive. En agissant d'une manière inverse, le courant chemine dans une direction contraire.

Le nitrate de plomb et celui de cuivre jouissent de la même propriété; mais ils la perdent peu à peu, et au bout de quelques heures elle cesse d'être sensible.

Le nitrate de zinc, nouvellement préparé, n'offre rien de semblable.

Il est facile de prouver que l'effet produit est dû à la réaction, sur la dissolution, de la portion de cette même dissolution adhérente à la lame, qui a éprouvé des changements de la part de l'oxigène de l'air. En effet, on prend un tube de verre, de six millimètres de diamètre, et l'on ferme l'une de ses extrémités avec un bouchon de liége, dans lequel on fait passer l'un des bouts de fil qui est terminé par une lame de même métal; puis après avoir rempli un tube de gaz hydrogène, on le renverse verticalement dans la dissolution nitrique par le bout ouvert. En retirant le fil, on fait sortir le fil de la dissolution et on l'y replonge ensuite; il ne se produit alors aucun courant; ainsi nul doute que dans le premier cas l'effet ne doive être attribué à la réaction de l'oxigène sur le nitrate de fer. Or, nous savons que la dissolution du fer, dans l'acide nitrique, donne naissance à plusieurs composés, à du deutoxide d'azote et à de l'acide nitreux, à du proto-nitrate, et à du deuto-nitrate de fer; peu à peu le deutoxide d'azote passe à l'état d'acide nitreux, le proto-nitrate à celui de deuto-nitrate, et au bout d'un certain temps il n'y a plus que du deuto-nitrate.

D'après cela, quand on retire de la dissolution l'une des lames de platine, le liquide qu'elle emporte avec elle, en raison de son peu d'épaisseur, éprouve sur-le-champ, de la part de l'air, les changements qui n'ont lieu qu'après plusieurs heures dans la masse de la dissolution; elle se sature d'oxigène. En replongeant la lame, on met en contact deux liquides qui ne contiennent pas les mêmes parties constituantes, et rien ne s'oppose alors à ce qu'il se produise un courant, dirigé comme nous l'avons dit; le liquide qui recouvre la surface de la lame étant saturé d'oxigène, doit se comporter comme un acide, c'est-à-dire prendre l'électricité positive.

La dissolution de zinc dans l'acide nitrique ne doit donner lieu à aucun courant, lors de l'immersion de la lame de platine, puisqu'il n'existe qu'un seul nitrate.

Cet effet suffit pour montrer comment il faut opérer pour reconnaître si une solution éprouve des changements lents à l'air.

§ II. *Procédé pour constater la présence, dans une solution, d'un nitrate, d'un chlorure, de l'acide nitrique ou de l'acide hydro-chlorique.*

562. Rien n'est plus simple que de reconnaître immédiatement, au moyen des effets électro-chimiques, si une solution renferme un nitrate ou un chlorure. Prenons une capsule de porcelaine, remplie de la solution d'épreuve, aussi concentrée que possible, et plongeons dedans, d'une part, une lame de platine en communication avec l'un des bouts du fil d'un multiplicateur très-sensible, et de l'autre, une lame d'or, sur laquelle on répand de l'or précipité par le sulfate de fer, qui se trouve en parties tenues, pour que la force de cohésion soit très-faible. Supposons que la solution renferme un chlorure : on verse dedans une goutte d'acide nitrique précisément sur l'or précipité; il y a décomposition d'une partie du chlorure, formation d'eau régale, qui réagit immédiatement sur l'or, en donnant lieu à un

courant qui va du métal à l'acide, conformément au principe général : cette réaction est extrêmement sensible, et se manifeste même avant que le liquide commence à se colorer. Si, au lieu de chlorure, la solution renferme de l'acide hydro-chlorique, l'effet est le même.

En opérant de la même manière on constate la présence d'un nitrate ou de l'acide nitrique dans une solution; il suffit de verser dans la solution quelques gouttes d'acide hydro-chlorique pour qu'il y ait production d'un courant.

Comme il faut agir sur des solutions très-concentrées, il vaut mieux employer le sel solide que dissous. On le pose alors sur l'or, qui plonge dans l'eau distillée, et on répand dessus la goutte d'acide.

La réaction de l'acide hydro-chlorique sur le nitrate et l'or est moins prompte que celle de l'acide nitrique sur le chlorure et l'or; c'est un motif pour opérer sur des solutions très-concentrées.

Si l'on veut reconnaître la présence de l'acide nitreux dans de l'acide nitrique, on remplit la cuiller de platine de cet acide, et on plonge dedans la lame d'or, recouverte d'or précipité : il y a aussitôt réaction du mélange d'acide sur l'or et production d'un courant; bien entendu que, dans toutes ces opérations, les surfaces des cuillers et les lames d'or et de platine sont privées de tout corps étranger; car si cette précaution n'avait pas été prise, leur réaction sur les liquides donnerait naissance à des courants qui compliqueraient les résultats.

§ III. *Procédé pour constater la présence du plomb et du manganèse dans une solution, et de les en retirer entièrement.*

563. L'électro-chimie nous offre le moyen de reconnaître les moindres traces de plomb et de manganèse dans une solution, là où les réactifs chimiques sont impuissants.

On prend un bocal de verre, dans lequel on verse une solution de nitrate de cuivre, puis on plonge dedans

un tube rempli, dans sa partie inférieure, d'argile légèrement humectée d'une solution d'acétate de soude, et l'on verse, dans sa partie supérieure, une solution d'acétate de fer. Une lame de platine qui communique avec le pôle positif d'une pile formée d'un petit nombre d'éléments, plonge dans l'acétate, et une autre lame de cuivre, qui est en communication avec le pôle négatif, dans le nitrate. Dès l'instant que l'appareil commence à fonctionner, comme le nitrate de cuivre se décompose avec facilité, sous l'influence de forces électriques assez faibles, le cuivre se dépose sur la lame de même métal, tandis que l'oxigène et l'acide nitrique sont transportés dans l'autre tube, où l'oxigène se dégage, tandis que l'acide nitrique décompose l'acétate de fer, en se combinant avec le métal et chassant l'acide acétique. L'action de cette pile étant trop faible pour décomposer par elle-même l'acétate et déterminer le transport de l'oxide de fer au pôle négatif, il en résulte que tous les produits qui se forment restent dans le tube, et la surface de la lame de platine conserve le brillant qu'elle avait avant l'expérience. Vient-on ajouter, à la dissolution de l'acétate de fer, une seule goutte d'acétate de manganèse, ne renfermant qu'un millième de gramme de ce sel, et même moins, la lame de platine, qui est le pôle positif, prend peu à peu une teinte légère de couleur de bistre. Augmente-t-on la quantité d'acétate de manganèse, la couleur devient de plus en plus foncée, puis tout-à-fait noire. Cette réaction se produit tant qu'il y a du manganèse dans l'acétate de fer; la substance qui colore ainsi la lame de platine est le peroxide de manganèse. Voici ce qui se passe dans cette expérience : la lame de platine exerce sur la dissolution des acétates une action décomposante, sans pouvoir cependant opérer leur décomposition, à cause de la petite tension de la pile; mais l'oxigène et l'acide nitrique qui arrivent dans la dissolution, complètent la décomposition, en en suroxidant l'un et l'autre le manganèse et le fer; mais le peroxide de manganèse, étant insoluble dans les

acides, se dépose sur la lame de platine comme une pellicule dont les parties ont un aspect métallique, tandis que le peroxide de fer, qui forme des combinaisons avec ces mêmes acides, reste dissous dans les acides.

Nous avons employé une pile à petite tension, pour mieux faire connaître ce qui se passe dans cette expérience; mais on parvient au même résultat avec une pile ordinaire : on verse dans une capsule de porcelaine la dissolution d'acétate de fer et de manganèse, dans laquelle on plonge deux lames de platine en communication chacune avec l'un des pôles de la pile. Il y a aussitôt décomposition de l'eau et dégagement de gaz; l'oxigène, en se rendant au pôle positif, suroxide le manganèse, qui abandonne alors l'acide acétique, et se dépose, comme précédemment, sur la lame positive de platine. On voit maintenant pourquoi le nitrate de cuivre était nécessaire quand on a employé la pile à petite tension; l'eau n'étant pas décomposée, il fallait se procurer de l'oxigène et un acide plus fort que l'acide acétique; la décomposition facile du nitrate de cuivre a fourni l'un et l'autre. Le sulfate et le nitrate de manganèse conduisent au même résultat que l'acétate, parce que le peroxide de manganèse est insoluble dans les acides sulfurique et nitrique. Rien n'est plus simple que de séparer, par ce procédé, le manganèse du fer; il suffit de former une dissolution de ces deux métaux dans l'acide acétique, et de prendre des lames de platine assez grandes et une pile suffisamment énergique, pour que l'expérience puisse marcher promptement; quand on opère sur une petite quantité, quelques heures suffisent quelquefois, surtout si l'on a la précaution d'enlever de temps à autre le peroxide qui se dépose sur la lame positive de platine. Quand la dissolution renferme un gramme d'acétate de manganèse, il faut vingt-quatre heures et plus; mais, nous le répétons, le temps dépend de la dimension des lames et de la tension de la pile. Quand la lame cesse de se colorer, on est assuré

et le mercure, nous croyons devoir entrer ici dans quelques détails sur les résultats qu'il a obtenus.

Ce chimiste se sert, dans ses expériences, de deux métaux différents, le zinc et le platine, que l'on met en contact. Le zinc est ordinairement en feuilles ou en plaques minces, et le platine est employé sous forme de creuset ou de spatule terminée par une cuiller; mais le plus fréquemment le platine est en feuilles de 2 pouces environ de long et $\frac{2}{3}$ de pouce de large. Quand on veut opérer la décomposition d'une solution métallique, on ajoute une goutte ou deux d'acide à cette solution. Aussitôt qu'on applique le zinc, le platine se recouvre de métal *réduit*: plusieurs dissolutions métalliques ne réclament pas l'addition de l'acide. On peut employer avec avantage ce procédé pour constater la présence de l'arsenic et du mercure dans les dissolutions où ils se trouvent. La cuiller de platine est destinée à concentrer la dissolution. On réduit par ce moyen, de leurs solutions respectives, l'or, l'argent, le mercure, le cuivre, l'étain et le plomb; on peut aussi réduire immédiatement ces métaux de leurs composés solides.

Composés d'arsenic. Lorsqu'un demi-grain ou moins d'un composé d'oxide blanc est placé sur une plaque de platine, mêlé avec une goutte ou deux d'acide muriatique, et que le contact avec le zinc est établi, l'arsenic est dans l'instant réduit à l'état métallique. La surface du platine commence à s'iriser et présente différentes couleurs comme l'acier chauffé. Il se dégage ainsi beaucoup d'arsenic qui adhère fortement au platine et ne peut être enlevé ni par le frottement ni par l'action à froid des acides muriatique et sulfurique, ni par des solutions chaudes d'alcali caustique, mais il disparaît à l'instant en le touchant avec la plus faible goutte d'acide nitrique. En exposant la plaque de platine à une chaleur modérée, on reconnaît immédiatement à l'odeur d'ail la présence de l'arsenic. On peut reconnaître ainsi la présence de l'arsenic dans l'acide arsénieux en solution. Les arséniates de potasse, de chaux, l'acide arsenique, les

sulfures d'arsenic natif, doivent être traités préalablement par l'acide nitrique. Prenons une petite quantité d'arsenic rouge en poudre, mêlons-la avec une goutte de fort acide nitrique concentré dans une cuiller de platine dont on élève la température afin de chasser l'excès d'acide. On verse sur le résidu une goutte ou deux d'acide hydrochlorique, et aussitôt que le zinc est mis en contact avec le platine l'arsenic est réduit. Il faut traiter de même les pyrites arsénicales. Il est essentiel dans les préparations avec l'acide nitrique de bien chasser tout l'excès d'acide, attendu que la plus faible portion qui resterait redissoudrait immédiatement l'arsenic. Les arsénites ou arséniates de cuivre demandent un autre mode de traitement. On dissout un peu de ces composés dans quelques gouttes d'acide muriatique; puis on chauffe dans la cuiller de platine. Aussitôt que le contact avec le zinc a lieu, l'arsenic seul est réduit. En traitant au contraire par l'acide nitrique étendu, faisant bouillir et ajoutant assez d'eau pour faire une dissolution, le cuivre seul est réduit sur le platine. En enlevant le zinc, le cuivre est redissous par l'excès d'acide. En maintenant le contact du zinc, l'arsenic forme un cercle sur le platine autour du zinc, tandis que le cuivre se montre au-delà.

On peut obtenir à l'état métallique l'arsenic précipité sur la feuille de platine, en introduisant la feuille dans un tube fermé à un bout, et l'exposant à la chaleur d'une lampe à alcool; l'arsenic se sublime. M. Ed. Davy a montré que la quantité d'arsenic qui s'attache au platine n'est quelquefois que la $\frac{1}{500}$ partie d'un grain. On peut rendre sensible par le procédé électro-chimique $\frac{1}{2500}$ partie d'un grain. Aussi M. Ed. Davy regarde-t-il cette méthode comme véritablement microscopique pour découvrir la présence des métaux en général.

On emploie avec avantage le creuset quand il est revêtu intérieurement d'une couche d'or très-mince. La surface d'or se recouvre complétement d'arsenic de couleur gris d'acier sombre qui ne laisse voir aucune trace de la couleur de l'or. On a par ce moyen les preuves les

moins équivoques de la présence de l'arsenic métallique. Les réactions que l'on obtient avec la feuille ou la cuiller de platine sont aussi satisfaisantes. Ainsi l'oxidation partielle qui se montre à la surface sous l'aspect de couleurs variées et la forte adhérence de l'arsenic sur le platine, caractérisent le métal, ainsi que l'odeur alliacée et l'insolubilité dans l'acide muriatique concentré. Le fer et l'étain agissent plus lentement que le zinc, aussi doit-on préférer ce dernier métal dans les expériences.

566. Le mercure est facilement réduit de ses composés en plaçant ceux-ci sur un morceau de feuille de platine et y ajoutant une goutte d'acide nitrique ou d'acide muriatique étendu. En mettant le zinc en contact, le mercure s'amalgame bientôt avec le platine et se combine en partie avec le zinc. Nous citerons particulièrement parmi ces composés les oxides noirs et rouges, le précipité blanc, l'acétate, le sous-sulfate, le cyanure, le mercure fulminant, etc. Quant au sublimé, si une goutte de sa solution est placée sur une face brillante de cuivre, celui-ci devient, comme on sait, aussitôt d'un blanc-grisâtre. En faisant l'expérience avec le zinc, le mercure est réduit sur-le-champ à l'état métallique, et le cuivre devient blanc.

Voici une autre manière de faire l'expérience. L'on met une goutte ou deux de solution aqueuse de sublimé dans un petit creuset de platine, et l'on y ajoute un volume égal environ d'acide muriatique; aussitôt que l'on met le zinc en contact, le mercure est réduit. Une des parties du mercure rend le platine d'une couleur blanche brillante, et l'autre partie s'amalgame avec le zinc, le blanchit et le rend friable. Après avoir lavé et essuyé le creuset, on le recouvre d'un verre plat, et on le fait chauffer avec une lampe à alcool. Le mercure s'élève et se condense en une poudre blanche extrêmement fine avec laquelle on peut reconnaître, au moyen du frottement, les globules métalliques.

Il existe encore un autre moyen très-simple de découvrir la présence du sublimé, soit à l'état solide, soit

dissous dans l'eau, l'alcool ou l'éther. Ce moyen consiste à mettre sur une face brillante de cuivre un morceau solide de ce composé, ou une goutte de sa solution, et d'y ajouter une goutte d'acide hydrochlorique. La réduction du mercure s'opère immédiatement. Le protochlorure de mercure étant lentement décomposé dans le creuset de platine, on doit employer le procédé suivant: on mêle une petite quantité du composé avec quelques gouttes d'acide nitrique étendu; on fait bouillir un instant le tout dans un petit creuset de platine, et l'on y ajoute un peu d'eau, puis on met le zinc en contact, le mercure se réduit alors aisément.

567. M. Smithson (1) a indiqué, il y a quelques années, un procédé pour constater la présence du mercure dans une solution, qui revient au précédent, et dont nous nous sommes servis souvent avec avantage.

On met sur une lame d'or les composés salins de mercure avec une goutte d'acide hydrochlorique et un morceau d'étain; il se forme aussitôt un amalgame d'or, qui masque la belle couleur de ce dernier métal.

Il est inutile d'ajouter de l'acide quand on opère avec une goutte de sublimé.

La réduction des métaux par la méthode électro-chimique n'est pas altérée sensiblement par la présence de substances végétales et animales. Il était important de constater ce fait, à cause des cas d'empoisonnement où l'on peut avoir recours à la méthode indiquée.

Si l'on mêle une petite quantité d'acide arsénieux solide avec diverses substances, telles que de l'amidon, du riz, du sucre, du lait, de l'albumine, etc., etc., l'arsenic se précipite aisément sur le platine par l'addition de quelques gouttes d'acide hydrochlorique.

Toutes les substances organiques animales ou végétales donnent constamment le même résultat.

Avec le deuto-chlorure l'effet est encore le même, surtout

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXI, p. 97.

quand on y ajoute un peu d'acide hydrochlorique. Nous citerons particulièrement l'expérience qui a été faite par M. Ed. Davy, avec du lait dans lequel il avait mis une très-petite quantité d'une solution de sublimé corrosif. Ayant ajouté au mélange environ la moitié de son poids d'acide hydrochlorique, il mit une petite quantité de ce liquide dans un creuset de platine, puis établit le contact avec le zinc. Peu de temps après le platine fut recouvert d'une couche grise de mercure. Ce résultat montre avec quelle facilité on peut reconnaître la présence du mercure dans des cas d'empoisonnement. Ce mode d'expérimentation est d'autant plus précieux, que l'on obtient les réactions en peu de minutes. Nous rappellerons aussi que, lorsqu'il s'agit du mercure, le creuset et la lame de platine dorés sont préférables au platine pur. La présence des matières organiques dans les sels à base de plomb et de cuivre ne met non plus aucun obstacle à la réduction du métal.

Il est probable que la méthode précédente est applicable aux cas où les sels à base d'arsenic, de mercure, de plomb et de cuivre, se trouvent dans les mélanges les plus compliqués des substances organiques.

Il sera nécessaire pour reconnaître les cas d'empoisonnement d'appliquer les observations précédentes au contenu et au tissu de l'estomac. Il n'y aurait d'obstacle que si les substances animales ou végétales résistaient à l'action des acides qui sont nécessaires pour le succès des expériences.

Composés de plomb. Les composés solubles sont facilement réduits à l'état métallique par l'emploi de la lame de platine et de celle de zinc. Quant aux composés insolubles, tels que les oxides, le carbonate, le sulfate, etc., il faut les mélanger préalablement avec de l'acide nitrique étendu, ou avec de l'acide hydrochlorique. Le plomb, qui est réduit dans cette circonstance, est ordinairement d'une couleur gris sombre, et n'offre le brillant métallique que lorsqu'on le frotte avec un corps dur. Sa cohésion avec le platine est en général si

faible, qu'on peut enlever la plus grande partie déposée avec le doigt.

Composés de cuivre. Pour mettre le cuivre à nu, il suffit d'une goutte de la solution d'un sel de cuivre et du contact du zinc; le métal réduit apparaît aussitôt sur le platine. Quant aux composés insolubles, il faut y ajouter une petite quantité d'acide hydrochlorique ou d'acide nitrique étendu. Le cuivre ainsi réduit offre la couleur et le brillant de ce métal. Quand la surface est terne, il suffit d'un léger frottement pour montrer l'apparence métallique.

Nous devons à M. Sérullas un procédé électro-chimique, à l'aide duquel on découvre les moindres traces du bismuth dans une solution; l'ayant fait connaître avec assez de détails (460), nous n'y reviendrons pas.

§ V. *Méthode pour essayer l'or et l'argent.*

568. Peu de temps après que nous eûmes analysé les effets électriques qui ont lieu dans toutes les actions chimiques, nous proposâmes l'emploi de ces effets pour essayer les matières d'or et d'argent (1). Voici le passage du Mémoire relatif à cette expérience : « Nous pouvons « reconnaître de très-petites quantités de cuivre dans « l'or, et même déterminer si un or renferme plus d'al- « liage qu'un autre : en effet, servons-nous d'une cuiller « d'or parfaitement pur; soudons-la à un fil de platine, « qui vienne plonger dans l'une des petites capsules « remplies de mercure où aboutissent les extrémi- « tés du fil du galvanomètre; versons dans cette « cuiller de l'acide nitrique, exempt de gaz nitreux, et « plongeons dedans le morceau d'or, qui est fixé entre « les branches de la pince de platine; dans le cas où ce « morceau d'or renferme du cuivre, son action sur l'a- « cide nitrique détermine un courant, qui va de la cuil- « ler d'or à la pince, etc.

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXIV, p. 347, 1823.

« Maintenant veut-on savoir de deux morceaux d'or « celui qui renferme le plus de cuivre, on fixe chacun « d'eux à l'un des bouts du fil de platine qui commu- « nique avec le galvanomètre ; on plonge ensuite, « également et en même temps, ces deux morceaux dans « une capsule remplie d'acide nitrique; le sens du cou- « rant détermine alors où a été l'action chimique la « plus forte, et quel est l'or qui renferme le plus de « cuivre. »

Cinq ans après, M. Œrstêd (1) a développé de nouveau ce principe, en se servant aussi du multiplicateur, dont les bouts du fil communiquaient avec les pièces d'essai. « La différence plus ou moins grande dans l'oxi- « dabilité des deux métaux fait tourner plus ou moins « l'aiguille, ce qui suit naturellement de la différente « force de l'émanation électrique. On parvient aussi à « connaître dans quel rapport se trouve l'oxidabilité de « deux métaux comparés l'un à l'autre. »

C'est précisément là le principe que nous avons posé plus haut.

M. Œrsted propose ensuite de prendre pour lames d'essai des lames d'argent de différents degrés de pureté, depuis l'argent le plus fin jusqu'au cuivre.

Quand on veut essayer une pièce d'argent, il propose de commencer par examiner l'intensité du courant qu'elle produit avec une des lames d'essai moyennes. A cet effet on joint la lame designée pour l'essai à l'un des fils du multiplicateur, et l'argent que l'on veut employer à l'autre bout; puis l'on met en contact la lame et la pièce, au moyen d'une substance poreuse pénétrée d'acide hydrochlorique : la déviation de l'aiguille indique aussitôt si l'argent qu'on essaie est plus ou moins pur que celui de la lame. S'il est plus pur, on fait l'essai avec la lame d'argent à 14 deniers; s'il est alors moins pur que l'argent de cette lame, on l'essaie avec la lame

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXXIX, p. 247, 1828.

d'argent à 13 deniers, et ainsi de suite jusqu'à ce qu'on arrive à une lame qui renferme sensiblement la même quantité d'alliage : dans ce cas, le courant doit être à peine sensible.

Cette méthode d'expérimentation serait parfaite, si la moindre cause n'apportait pas des changements dans l'intensité du courant. La plus petite différence dans l'état des surfaces, par exemple, suffit pour modifier cette intensité. On a beau polir les surfaces, les laver et les essuyer, ces précautions ne suffisent pas toujours pour les rendre identiques.

M. Œrsted prend, pour substance intermédiaire, du drap non teint, ou de l'amidon lavé.

Il est bien évident que si l'argent contenait d'autres substances que le cuivre, il faudrait employer des liquides convenables pour découvrir la nature de l'alliage.

La méthode que nous exposons ne peut être employée avantageusement que par des personnes habituées aux expériences électro-chimiques, en raison des précautions à prendre pour assurer le succès des essais.

§ VI. *De la précipitation des métaux par d'autres métaux.*

569. La précipitation des métaux de leurs dissolutions par des métaux plus oxidables, est en partie une action chimique, en partie le résultat d'un phénomène électrique, dont nous devons parler ici en raison de son importance dans les analyses chimiques et même dans les arts.

Nous avons vu, dans le chapitre précédent, que l'action d'un seul couple voltaïque sur un grand nombre de solutions métalliques, suffisait pour déterminer la précipitation du métal sur l'élément le moins oxidable de ce couple; cette précipitation s'opère également quand on plonge dans la solution un métal très-oxidable, tel que le zinc ou le fer. Dans ce cas, le métal, pendant

qu'il s'oxide et s'empare de l'acide qui est uni à l'autre métal, prend l'électricité négative et l'acide l'électricité positive; le métal réduit se trouvant à l'état positif, se précipite naturellement sur l'autre métal, d'où résulte ensuite un couple voltaïque, qui achève la précipitation du métal le moins oxidable. M. Dumas a présenté, dans le tableau suivant, les sels dont les dissolutions sont irréductibles ou réductibles par d'autres métaux (1) :

SELS dont LES DISSOLUTIONS sont IRRÉDUCTIBLES PAR LES MÉTAUX.	SELS dont LES DISSOLUTIONS SONT RÉDUCTIBLES PAR CERTAINS MÉTAUX.	
SELS à base de potasse et (des deux premières sections).	SELS { d'étain. d'antimoine. d'arsenic. de bismuth. de plomb. de cuivre. de tellure.	Réduits par le fer, le zinc, et peut-être le manganèse.
SELS { de manganèse. de zinc. de fer. de chrome. de cobalt. de cérium. d'urane. de titane. de nickel.	NITRATES DE MERCURE { réduits par le fer, le zinc et tous ceux qui précèdent.	
	SELS { d'argent. de palladium. de rhodium. de platine. d'or. d'osmium. d'iridium. } réduits par le zinc, le manganèse, le cobalt et tous ceux qui précèdent l'argent.	REMARQUES. L'acétate de cuivre est réduit par le plomb. Le nitrate d'argent est réduit par le cobalt.

M. Berzelius a donné la série suivante : or, argent, mercure, bismuth, cuivre, étain, zinc, dans laquelle chaque métal est réduit de ses dissolutions par ceux qui viennent après.

Dans la précipitation des métaux de leurs dissolutions par d'autres métaux plus oxidables, nous considérons que ces deux métaux et l'acide constituent un élément

(1) Traité de Chimie appliquée aux arts, t. XI, p. 195.

voltaïque par suite de la réaction de l'acide sur le métal oxidable; mais, dès l'instant que le précipité est commencé, l'élément voltaïque n'est plus moléculaire, comme dans les premiers instants de l'action; alors la réduction continue à s'effectuer en vertu de la présence du métal réduit sur l'autre métal, qui, étant plus attaqué que l'autre, constitue un véritable élément voltaïque. Mais il ne suffit pas toujours que le métal précipitant possède à un plus haut degré que l'autre la tendance à s'unir, soit à l'oxigène, soit aux acides, quand il est oxidé : par exemple, si l'on met un morceau d'étain dans une dissolution de plomb, il semblerait que l'étain, en vertu de sa plus facile oxidation, devrait enlever l'oxigène au plomb, et le précipiter; mais il n'en est pas ainsi; d'où cela peut-il venir? il est difficile de répondre à cette question en s'appuyant sur les principes électrochimiques; car il suffit qu'il y ait une différence dans le degré d'énergie avec laquelle un acide attaque deux métaux qui se trouvent en contact, pour qu'il y ait action voltaïque; il peut se faire que, dans cette circonstance, cette action ne soit pas assez puissante pour opérer la décomposition des sels de plomb.

On a observé qu'il fallait, pour que la précipitation s'opérât facilement, que les dissolutions fussent un peu étendues, et quelquefois légèrement acides. Par ce moyen le métal précipitant est plus facilement attaqué, et réagit mieux sur le sel dissous. Ces métaux réduits, se déposent soit en poudre, soit en cristaux, soit en couche mince. Dans les deux premiers cas, l'action est continue; mais, dans le second, quand la couche est assez étendue pour masquer la surface du métal oxidant, alors celui-ci n'étant plus attaqué par l'excès d'acide, l'action voltaïque n'a plus lieu, et la précipitation s'arrête. On observe souvent un effet de ce genre, quand on plonge un morceau de fer dans une dissolution de nitrate d'argent, et lorsqu'on veut dorer ou argenter, dans les arts, le cuivre ou le laiton.

Quand le métal précipité et le métal précipitant ont

une affinité l'un pour l'autre, la combinaison s'effectue. C'est ce qui arrive quand on précipite les sels d'or et d'argent par le mercure. Dans ce cas, l'amalgame d'argent, qui cristallise en longues aiguilles, est appelé *arbre de Diane*. Le cuivre s'allie également avec l'or et l'argent, quand on l'emploie à précipiter ces deux métaux de leurs dissolutions.

Le zinc, mis en contact avec une dissolution d'acétate de plomb, précipite ce dernier en beaux cristaux lamelleux, qui forment l'arbre de Saturne.

L'argent se dépose sous forme cristalline, ou en couches minces, douées de l'éclat métallique.

Le cuivre se précipite en plaques informes, ayant l'éclat métallique. Le mercure forme des gouttelettes. Les autres métaux se présentent sous la forme d'une poudre noire, dans laquelle on peut reconnaître immédiatement le caractère métallique.

570. Nous devons appeler l'attention du lecteur sur un effet voltaïque remarquable, qui a lieu dans l'étamage des épingles.

L'étain, comme on sait, précipite le cuivre de ses dissolutions, et cependant on précipite l'étain de ses dissolutions dans l'action de l'étamage des épingles. Si l'on introduit des épingles dans une dissolution contenant de l'étain, un mélange d'une partie de surtartrate de potasse, de deux d'alun, de deux de sel marin et d'une certaine quantité d'eau, les épingles ne s'étament jamais, quelque temps qu'on les laisse plonger dans la dissolution; mais si l'on plonge dans la dissolution un morceau d'étain qui touche les épingles, celles-ci s'étament aussitôt: les épingles qui ne sont pas touchées par l'étain, ne sont pas étamées. Pour rendre compte de l'effet produit, il faut remarquer que l'étain que l'on plonge, éprouve une action chimique faible de la part de la dissolution, par suite de laquelle le métal devient négatif et la dissolution positive; en établissant le contact avec les épingles de laiton, celui-ci devient l'élément négatif du couple voltaïque, dont l'énergie est suffisante pour dé-

terminer la précipitation de l'étain, qui est réduit ordinairement avec facilité par l'emploi d'un seul couple.

Avant de continuer l'exposé des phénomènes électro-chimiques, arrêtons-nous pour ne pas trop multiplier les faits, dans la crainte que le lecteur ne puisse en saisir facilement l'ensemble, et essayons de les enchaîner par une théorie qui en donne une explication aussi satisfaisante qu'il est possible de l'espérer dans l'état actuel des choses. La tâche est difficile, nous le savons; aussi est-ce un motif, pour nous, de présenter ici tous les documents qui peuvent éclairer la discussion relative à la théorie électro-chimique.

Volumes en s'unissant avec		Volumes.....		produisent
200	de gaz hydrogène..	100	de gaz oxigène....	de l'eau.
300	idem.....	100	de gaz azote.....	200 de gaz ammoniac.
100	idem.....	100	de chlore.....	200 de gaz hydro-chlorique.
100	de gaz azote.....	50	de gaz oxigène....	100 de protoxide d'azote.
100	idem	100	idem.....	200 de deutoxide.
100	idem.....	150	idem.....	de l'acide hypo-nitreux.
100	idem.....	200	idem.....	de l'acide nitreux.
100	idem.....	250	idem.....	de l'acide nitrique.

Il est donc bien prouvé, par cette belle découverte de M. Gay-Lussac, que les éléments se combinent entre eux dans des proportions fixes et multiples, relativement à leurs volumes lorsqu'ils sont à l'état de gaz, de même que ces éléments relativement à leurs poids. Dès lors les lois des combinaisons gazéiformes doivent être les mêmes que celles qui président aux combinaisons des substances solides ou liquides. Or on remarque que dans les gaz, soit simples, soit composés, les particules sont séparées et écartées les unes des autres par la force expansive de la chaleur, à des distances beaucoup plus grandes que celles où les forces d'affinité et de cohésion exercent leur action; il en résulte que ces distances ne dépendent que de la température et de la pression que supportent les gaz. La pression et la température devenant égales, les particules de tous les gaz doivent être placées toutes à la même distance et se trouver en même nombre sous le même volume, quelle que soit leur nature. Les phénomènes de proportions chimiques conduisent à la même conséquence; s'il en était autrement, la théorie corpusculaire et celle des volumes ne donneraient pas les mêmes résultats.

578. Dans la théorie qui nous occupe, les atomes sont, comme nous l'avons déja dit, les dernières molécules auxquelles on puisse parvenir idéalement par la division mécanique. Quoique nous ne puissions connaître leur forme et leur grandeur, néanmoins tout porte à croire qu'ils sont sphériques, puisque c'est la forme

que la matière affecte quand elle n'est pas soumise à l'influence d'une force étrangère.

La combinaison s'effectue entre les atomes hétérogènes par juxtaposition, en raison d'une attraction réciproque; quand cette force s'exerce entre les molécules homogènes, elle produit la cohésion mécanique. Si l'on n'a aucun moyen de déterminer leurs formes, il n'en est pas de même de leurs poids relatifs. En effet, un atome d'un élément peut se combiner, avons-nous dit, avec un, deux, trois atomes d'un autre élément, etc.; mais on ignore la limite du nombre d'atomes avec lequel il puisse se combiner. Nous savons cependant que dans quelques combinaisons, telles que celle de l'oxigène et du soufre, on ne trouve qu'un atome de radical pour quatre atomes d'oxigène, et qu'en général les combinaisons de ce genre sont rares dans la nature inorganique; car elles s'effectuent assez ordinairement entre un atome de l'élément électro-positif et les multiples de l'élément électro-négatif; souvent aussi deux atomes du premier se combinent avec 3, 5, 7 atomes du second.

Les atomes composés suivent les mêmes lois dans leurs combinaisons que celles qui régissent les combinaisons des corps simples; seulement elles ne s'effectuent pas dans un aussi grand nombre de proportions. Il n'est nullement question ici de la composition des corps organiques, dont nous n'avons pas à nous occuper pour l'instant.

579. Disons deux mots de la méthode employée pour déterminer les poids relatifs des atomes.

On sait qu'il existe trois oxides de plomb, dans lesquels les quantités d'oxigène qu'ils renferment sont entre elles en poids pour la même quantité de métal, comme les nombres 2, 3, 4. On en conclut alors que ces trois oxides résultent de la combinaison d'un atome de plomb avec 2, 3, 4 atomes d'oxigène. Les trois oxides de cuivre renfermant des quantités d'oxigène qui sont comme les nombres 1, 2, 4, on peut dire également qu'ils sont le résultat de la combinaison d'un atome de cuivre

avec 1, 2, 4 atomes d'oxigène; mais on peut les considérer aussi comme formés : le deutoxide, de 1 atome de métal et 1 atome d'oxigène; le protoxide, de 2 atomes de métal et 1 atome d'oxigène; et le tritoxide, de 1 atome de métal et de 2 atomes d'oxigène. On voit par là qu'il existe toujours quelque chose d'arbitraire dans la détermination du nombre réel d'atomes de chaque espèce qui entrent dans une combinaison.

Mais comme on n'a à choisir ordinairement qu'entre peu de nombres, et que l'on a presque toujours des faits qui viennent guider dans le choix que l'on doit faire, il en résulte qu'il y a peu de chances pour ne pas adopter le véritable nombre.

Quand on connaît le nombre d'atomes qui entrent dans une combinaison, rien n'est plus simple que de déterminer leurs poids relatifs. Supposons, par exemple, que la combinaison de deux corps soit le résultat de l'union d'un atome de l'un avec un atome de l'autre, il est bien clair que le rapport du poids des atomes sera le même que celui du poids des deux corps. En prenant l'un des poids pour unité, l'autre exprimera le poids d'un atome en fonction de celui de l'autre. Il sera facile, par ce moyen, en comparant ensemble diverses combinaisons dans lesquelles se trouvent les mêmes corps, de former une table des poids atomiques de tous les corps. L'eau, par exemple, est formée de deux volumes d'hydrogène et d'un volume d'oxigène; on en a conclu qu'un atome d'eau renfermait deux atomes de l'un et un atome de l'autre; or l'analyse donne en poids, suivant MM. Dulong et Berzelius, 1,026 d'oxigène et 0,1376 d'hydrogène. Si donc nous représentons par 1,026 le poids de l'atome de l'oxigène, celui de l'hydrogène sera égal à $0,\frac{1376}{2}$ ou 0,0688; ou bien en représentant le premier par 100, le second le sera également par 6,2398. Dans l'impossibilité où nous sommes ici de donner tous les développements relatifs à la détermination du poids atomique de chaque corps, nous rapportons néanmoins la table des poids atomiques des corps simples, qui a été

formée par M. Berzelius, et dont on a le plus besoin en électro-chimie :

NOMS DES SUBSTANCES.	POIDS DE L'ATOME, celui de l'oxigène = 100.	NOMS DES SUBSTANCES.	POIDS DE L'ATOME, celui de l'oxigène = 100.
Oxigène	100,00	Argent	1351,607
Hydrogène	6,2898	Mercure	1265,823
Azote	88,5185	Cuivre	395,695
Soufre	201,165	Urane	2711,358
Phosphore	196,143	Bismuth	1338,377
Chlore	221,326	Étain	735,294
Iode	789,750	Plomb	1294,498
Brome	489,153	Cadmium	696,767
Fluor	116,900	Zinc	403,226
Carbone	76,438	Nickel	369,675
Bore	136,204	Cobalt	368,991
Silicium	277,312	Fer	339,205
Sélénium	494,583	Manganèse	345,887
Arsenic	470,042	Cérium	574,696
Chrome	351,815	Thorium	844,900
Vanadium	855,840	Zirconium	420,201
Molybdène	598,520	Yttrium	402,514
Tungstène	1183,900	Glucium	331,261
Antimoine	806,452	Aluminium	171,166
Tellure	806,452	Magnésium	158,352
Tantale	1153,715	Calcium	256,019
Titane	303,662	Strontium	547,285
Or	1243,013	Barium	856,880
Osmium	1244,487	Ammonium	113,477
Iridium	1233,499	Lithium	80,375
Platine	1233,499	Sodium	290,897
Palladium	665,899	Potassium	489,794
Rhodium	651,387		

A part quelques idées systématiques jetées en avant par le docteur Wollaston, nous n'avons parlé encore que de la combinaison des atomes, et des lois qui s'y rapportent, et nullement de leur mode de groupement, en s'appuyant sur ces mêmes lois; c'est cette lacune dans la science que M. Ampère a essayé de remplir.

§ III. *Théorie cristallo-atomique de M. Ampère.*

580. Les proportions simples que l'on observe dans les combinaisons, entre le volume d'un gaz composé et ceux des gaz composants, ont fait naître l'idée à M. Ampère d'une théorie (1) ingénieuse pour expliquer les formes

(1) Ann. de Chimie, t. xc, p. 43.

cristallines des corps, et faire connaître, en raison des conditions auxquelles sont assujéties ces formes, si une combinaison est possible ou non. On admet généralement que les dernières particules des corps sont tenues, par des forces attractives et répulsives qui leur sont propres, à des distances infiniment grandes relativement à leurs dimensions; dès lors leurs formes ne peuvent avoir aucune influence sur les propriétés de ces corps, lesquelles doivent dépendre du nombre et du groupement des molécules. M. Ampère admet en outre que les particules sont formées chacune de plusieurs molécules; que l'assemblage d'un nombre déterminé de molécules, dans une situation aussi déterminée, renfermant entre elles un espace incomparablement plus grand que le volume des molécules, et tout espace ayant nécessairement trois dimensions, il est nécessaire que chaque particule soit formée au moins de quatre molécules; car on ne peut renfermer un espace avec moins de quatre plans, passant chacun par les centres de gravité de trois de ces molécules. Si les particules renferment un plus grand nombre d'atomes, les plans qui limitent leur volume passent chacun par les centres de gravité de trois atomes, et laissent d'un même côté tous les autres atomes; on forme ainsi des polyèdres qui représentent les diverses particules des corps.

M. Ampère, pour arriver à la détermination des formes polyédriques des particules, s'appuie sur le clivage et le rapport qui existe entre le volume du gaz composé et ceux des gaz composants; il s'appuie, en outre, sur l'hypothèse que dans les gaz soit simples, soit composés, les particules sont séparées et écartées les unes des autres par la force expansive de la chaleur à des distances beaucoup plus grandes que celles où les forces d'affinité et de cohésion exercent leur action; de sorte que ces distances ne dépendent que de la température et de la pression que supportent les gaz, et qu'à des pressions et des températures égales les particules de tous les gaz sont placées à la même distance. D'après cela, le nom-

bre des particules doit être proportionnel au volume des gaz; cela posé, il suffit de connaître les volumes à l'état de gaz d'un composé et de ses parties constituantes, pour savoir combien une particule de ce composé contient de particules ou de portions de particules de ses composantes. Par exemple, un volume de gaz nitreux étant composé d'un $\frac{1}{2}$ volume d'oxigène et de $\frac{1}{2}$ volume d'azote, une particule de gaz nitreux sera donc formée d'une demi-particule d'oxigène et d'une demi-particule d'azote; de même, le gaz formé par la combinaison du chlore et de l'oxide de carbone sera formé d'une particule de chlore et d'une particule de carbone. Une particule d'eau renfermera donc une particule d'hydrogène et une demi-particule d'oxigène; une particule de gaz oxide d'azote contiendra une particule entière d'azote et une demi-particule d'oxigène; une particule de gaz ammoniac une $\frac{1}{2}$ particule d'azote et une particule et demie d'hydrogène. Mais comme les atomes sont indivisibles, pour éviter d'avoir des demi-particules, M. Ampère suppose que les particules des gaz simples, tels que l'oxigène, l'hydrogène, l'azote, etc., sont composées d'un nombre pair d'atomes suffisant pour que toutes les combinaisons connues satisfassent à cette condition. La supposition la plus simple est d'admettre que les particules de ces gaz sont composées de quatre molécules; d'après cela, la particule de gaz nitreux sera formée de quatre molécules, deux d'oxigène et deux d'azote; celle de gaz oxide d'azote, de six molécules, quatre d'azote et deux d'oxigène; celle de la vapeur d'eau, de six molécules, quatre d'hydrogène et deux d'oxigène; et celle du gaz ammoniacal, de huit molécules, six d'hydrogène et deux d'azote.

Quant à la particule du chlore, pour rendre raison des phénomènes que présentent ses combinaisons, il faut admettre qu'elle soit composée de huit molécules. En partant de ce principe, il montre comment le tétraèdre, l'octaèdre, le parallélipipède, le prisme, l'octaèdre et le dodécaèdre rhomboïdal peuvent être formés avec 4, 6,

8, 12 et 14 atomes. Prenons d'abord deux atomes réunis par une même ligne et deux autres atomes disposés de la même manière, dans le même plan, de manière que les deux lignes se coupent en deux parties égales à angles droits; si l'on écarte ces deux lignes, en les tenant toujours dans une position parallèle, on aura un tétraèdre régulier quand, les deux lignes étant égales, on les aura écartées l'une de l'autre à une distance qui soit à la longueur $:: 1 : \sqrt{2}$.

Si l'on conçoit maintenant trois atomes joints par des lignes formant un triangle quelconque, et qu'on place dans le même plan un autre triangle égal au premier, et dont la situation soit telle que les deux triangles aient leur centre de gravité au même point et leurs côtés égaux respectivement parallèles, en écartant ces deux triangles de manière que les côtés restent constamment parallèles à leur position primitive, on obtient les six sommets d'un octaèdre, qui ne sera régulier que dans le cas où les triangles seront équilatéraux, et qu'on les aura écartés perpendiculairement à leur plan d'une quantité qui soit à leur côté $:: \sqrt{2} : \sqrt{3}$.

581. En suivant la même marche, M. Ampère a montré qu'un parallélipipède est formé de la réunion de deux tétraèdres; si ceux-ci sont réguliers, le parallélipipède devient un cube; qu'un prisme hexaèdre peut provenir de la réunion de deux octaèdres, et qu'en combinant ensemble deux tétraèdres et un octaèdre, on obtient un dodécaèdre, etc. En combinant ainsi plusieurs formes ensemble, il est parvenu aux résultats suivants: l'octaèdre réuni d'une certaine manière avec le tétraèdre donne un hexadécaèdre formé de quatre faces triangulaires équilatérales et douze isocèles; deux octaèdres réunis en prisme hexaèdre peuvent se joindre à deux tétraèdres formant un cube, et donner un polyèdre à vingt sommets, composé de trente faces, savoir six parallélogrammes rectangles et vingt-quatre triangles isocèles; ainsi de suite. M. Ampère, en continuant ce mode de combinaison, est parvenu à obtenir pour formes

primitives des molécules, des polyèdres de cinquante-quatre, de soixante-six et de quatre-vingts faces, qui représentent par conséquent les divers arrangements des atomes de tous les corps, dont le nombre est déterminé par l'expérience. Bien entendu que, suivant cette théorie, une combinaison n'est possible entre deux corps qu'autant que leurs particules en se réunissant forment un polyèdre symétrique ou régulier, compris dans le tableau annexé au Mémoire, dans lequel se trouvent développées les considérations que nous présentons ici. M. Ampère ne s'est pas borné à jeter en avant des idées théoriques; il a montré dans plusieurs cas, que les résultats de l'expérience s'accordaient parfaitement avec la manière dont il conçoit l'arrangement des atomes dans les combinaisons. Nous renvoyons à son Mémoire rempli d'aperçus ingénieux pour toutes les applications relatives à sa théorie.

§ IV. *Idées de M. Gaudin sur la structure intime des corps inorganiques.*

582. M. Gaudin, guidé par la considération mise en avant par M. Ampère et d'autres physiciens, que la plupart des propriétés physiques des corps dépendent seulement du nombre et du groupement de leurs atomes, a cherché à vérifier cette conjecture dans un grand nombre de cas, mais il a cru convenable de s'occuper d'abord de la forme des molécules des corps auxquelles M. Ampère a donné le nom de particules et qui sont formées de la réunion de plusieurs atomes. En conséquence, il s'est attaché à voir s'il n'était pas possible de représenter cette forme par des polyèdres moins compliqués que ceux qui ont été attribués par M. Ampère à ces mêmes particules, tout en évitant les demi-atomes. Suivant lui, les atomes sont sphériques; ils ne se tiennent jamais en contact, et la distance qui les sépare varie en raison des oscillations qu'ils ne cessent de faire. Quand ils se groupent, ils se mettent tous en commun, de manière à satisfaire à la loi de symétrie.

Il y a combinaison quand les molécules se pénètrent, et cristallisation lorsqu'il y a seulement juxtaposition. Dans le groupement, les atomes les plus pesants, en raison de la pesanteur, occupent le centre; mais cette force est dominée par une autre, l'affinité, sur laquelle il ne s'explique pas.

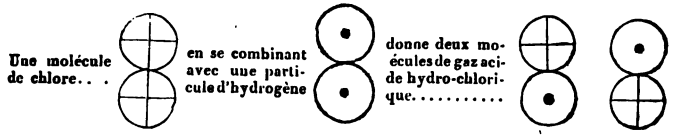
Un volume de chlore, en se combinant avec un volume d'hydrogène, donnant deux volumes de gaz acide hydro-chlorique, il faut donc qu'un atome, ou une particule de chlore, en se combinant avec un atome ou une particule d'hydrogène, produise deux atomes ou deux particules de gaz acide hydro-chlorique; or, cette combinaison ne peut s'effectuer qu'en admettant, ou que les atomes sont susceptibles de se diviser en deux, ou que cette propriété appartient aux particules; or, comme l'atome est indivisible, il faut admettre, de toute nécessité, que cette propriété appartient aux particules. De là, la nécessité de la composer d'un nombre pair d'atomes: M. Gaudin a fixé ce nombre à deux pour les particules de chlore et d'hydrogène.

De même, un volume de gaz oxigène, en se combinant avec deux volumes de gaz hydrogène, donne deux volumes de vapeur d'eau; il faut donc que chaque atome d'oxigène s'approprie deux atomes d'hydrogène: la particule d'eau sera donc composée de trois atomes, ce qui exige que la particule d'oxigène soit biatomique. C'est par des considérations du même genre que M. Gaudin a trouvé que les particules du carbone et des métaux sont atomiques; celles du phosphore à l'état de vapeur tétratomiques au moins, et celles du soufre hexatomiques. Nous ne pouvons nous étendre davantage sur cette théori sans nous écarter du plan que nous avons suivi jusqu'ic Nous ferons seulement observer que le groupement im giné par M. Gaudin satisfait à la loi de symétrie et à composition atomique des corps; considérations qui d vent être mises en première ligne dans de semblables vestigations.

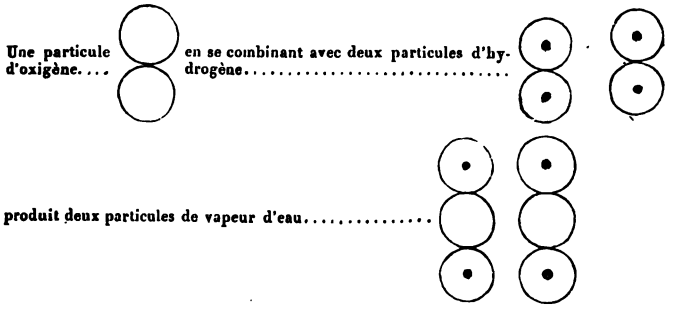
Nous allons donner ci-après quelques exemple

groupements de particules, suivant le système de M. Gaudin:

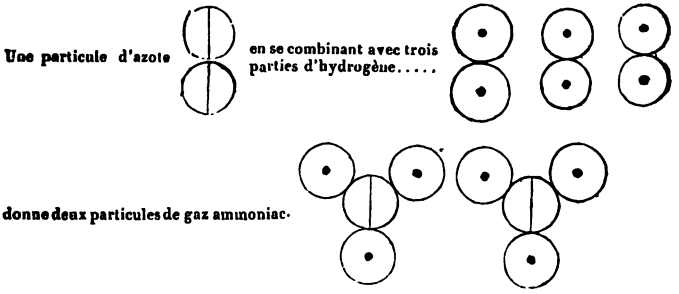
Composition du gaz acide hydro-chlorique.



Composition de la vapeur d'eau.



Composition du gaz ammoniac.



Nous ferons remarquer au lecteur qu'il n'a été nullement question jusqu'ici de la nature des forces qui constituent les affinités et l'agrégation. C'est ce dont nous allons nous occuper maintenant.

CHAPITRE II.

DES PREMIÈRES THÉORIES ÉLECTRO-CHIMIQUES.

§ 1er. *De la chaleur et de la lumière dégagées dans les actions chimiques; principes de Davy et de M. Berzelius à cet égard.*

583. On croyait jadis qu'il n'y avait production de chaleur que dans l'acte même de la combustion; mais aujourd'hui, on sait que cette production a lieu dans tous les cas où il y a combinaison chimique, comme celle du chlore ou du soufre avec les métaux en est un exemple frappant. On sait en outre que la lumière est produite dans certains cas où il n'y a pas d'action chimique, mais seulement changement dans la constitution des molécules, comme la zircone, l'oxide de chrome et d'autres corps le prouvent, lorsqu'on les expose à une forte température. Quand ce phénomène se produit, ces corps perdent momentanément la faculté de former des combinaisons avec les acides. Nous reviendrons sur ce sujet en traitant de la phosphorescence. Au surplus, la lumière et la chaleur, quelle que soit la théorie que l'on adopte, proviennent de la même cause. Quelle est la nature de cette cause? Tout porte à croire qu'elle est électrique, comme les développements que nous allons présenter, dans ce Chapitre et surtout dans les Chapitres suivants, tendent à le prouver.

584. Davy est le premier qui ait entrepris une série d'expériences pour prouver l'origine électrique de la chaleur dans les combinaisons. Quoiqu'il ait méconnu les effets électriques qui ont lieu dans les actions chimiques

et qu'il s'en soit tenu à la théorie du contact, néanmoins les conséquences qu'il a tirées de ses observations, relativement à l'origine électrique de la chaleur, conséquences qui avaient été entrevues depuis long-temps par d'autres physiciens, ne peuvent manquer de servir de base à toute théorie électro-chimique.

Suivant Davy, parmi les substances qui se combinent chimiquement, toutes celles dont les énergies électriques sont bien connues, manifestent des états électriques opposés par leur contact mutuel; ainsi le cuivre et le zinc, l'or et le mercure, le soufre et les métaux, les substances acides et alcalines, donnent des résultats conformes à ce principe. Les substances acides, ou qui se comportent comme telles dans les combinaisons, prennent l'électricité négative, et les substances alcalines l'électricité positive. Enfin, l'état électrique de tension augmentant avec la température, si l'on suppose deux corps dont les molécules se trouvent dans deux états électriques différents, qui soient assez exaltés pour leur donner une force attractive supérieure au pouvoir de l'agrégation, il éclate du feu par suite de la réunion des deux électricités, comme dans la décharge de la bouteille de Leyde, et il se forme alors une combinaison. Suivant cette manière de voir, tous les signes d'électricité cessent aussitôt que les actions chimiques commencent. On ne voit pas quelle est la cause qui retient unies les unes aux autres les molécules dans les combinaisons.

585. M. Berzelius a repris cette théorie, lui a donné de nouveaux développements et en a fait la base de la chimie moderne. Comme Davy, il attribue la chaleur produite dans les combinaisons, à la réunion des deux électricités dégagées dans le contact. Il a cherché ensuite à classer les corps, en corps électro-positifs et corps électro-négatifs, mais cette classification est fondée plutôt sur des considérations chimiques que sur des résultats électro-chimiques.

Nous ne connaissons, en électro-chimie, que deux moyens de constater, dans une combinaison de deux corps, lequel des deux joue le rôle d'acide par rapport à l'autre; c'est de voir, quand ils réagissent l'un sur l'autre à l'état liquide, quel est celui qui prend l'électricité positive. Si, en soumettant ensuite la combinaison à l'action d'une pile, le même corps se rend au pôle positif, on sera certain alors qu'il est bien l'élément électro-négatif.

Quoi qu'il en soit, nous donnons ici la table telle qu'elle a été arrêtée par M. Berzelius. Les corps les plus électro-négatifs sont en tête, et les corps les plus électro-positifs viennent ensuite.

Première série. Oxigène, soufre, nitrogène, fluor, chlore, brome, iode, sélénium, phosphore, arsenic, chrome, molybdène, tunsgtène, bore, carbone, antimoine, tellure, tantale, titane, silicium, hydrogène.

Deuxième série. Or, osmium, iridium, platine, rhodium, palladium, mercure, argent, cuivre, urane, bismuth, étain, plomb, cadmium, cobalt, nickel, fer, zinc, manganèse, cérium, thorium, zirconium, aluminium, ytrium, glucium, magnésium, calcium, strontium, barium, lithium, sodium, potassium.

586. M. Berzelius a discuté ensuite ces deux points: comment l'électricité se trouve-t-elle dans les corps? comment un corps est-il électro-positif ou électro-négatif, ou tantôt l'un et tantôt l'autre? Un corps, suivant ce grand chimiste, ne devient jamais électrique sans que les deux principes électriques se manifestent, soit dans différentes parties du corps, soit du moins dans sa sphère.

Quand les deux électricités se montrent séparément dans un corps où il y a continuité, elles se trouvent toujours placées dans deux points opposés, comme la tourmaline et quelques autres cristaux nous en offrent l'exemple. Mais comme les moindres parties d'un corps possèdent les mêmes propriétés de ce corps, il est con-

duit par là à admettre que les corps sont composés d'atomes qui possèdent chacun une polarité électrique telle, que chaque pôle n'a pas la même intensité d'action. C'est de cette polarité que dépendent, selon lui, les phénomènes chimiques, et dont l'inégale intensité est la cause de la différence de force avec laquelle s'exercent les affinités. Suivant cette manière de concevoir les phénomènes chimiques, les corps sont électro-positifs ou électro-négatifs, selon que l'un ou l'autre pôle est prédominant. Nous verrons plus loin qu'il ne peut pas en être ainsi.

M. Berzelius fait observer que le degré de polarité doit dépendre beaucoup de la température, qui accroît son intensité et dont les modifications lui font subir des changements. Ainsi, un grand nombre de corps, qui paraissent n'avoir qu'une très-faible polarité à la température ordinaire de l'atmosphère, en acquièrent une très-forte au degré de la chaleur rouge, comme le charbon en est un exemple. Cette propriété n'est pas générale, car il y a des corps qui la perdent à une température élevée. Une combinaison ne peut s'effectuer qu'autant que les particules polarisées d'un des corps ou des deux corps se meuvent avec assez de facilité pour qu'elles tournent leurs pôles opposés; ce qui exige qu'un des corps au moins soit à l'état liquide ou fluide. Cette condition, comme on sait, est indispensable pour que la combinaison ait lieu.

587. M. Berzelius ne dit que peu de mots sur la force de cohésion, de cette force qui retient en contact les molécules similaires des corps; c'est là, il faut l'avouer, la pierre d'achoppement des théories électro-chimiques qui ont été imaginées jusqu'à ce jour. Il avance cependant comme une chose probable, que les atomes des corps, conservant après leur combinaison un certain degré de polarité, cherchent à se rejoindre par leurs pôles opposés; il compare la cohésion à ce qui se passe quand le plateau de l'électrophore électrisé po-

seule manière de répondre à l'objection précédente; c'est d'admettre qu'il n'existe qu'un seul fluide. Si l'on prend effectivement pour unité l'électricité de la terre à sa surface, on pourrait avoir des molécules électrisées au-dessus ou au-dessous de cette électricité : il résulterait de là qu'une molécule à moitié électrisée pourrait être positive, par rapport à celle qui le serait au quart, etc.; mais cette manière de voir ne peut être admise dans l'état actuel de la science. M. Dumas a signalé une autre difficulté, qu'il a résolue d'une manière satisfaisante : le chlore et l'oxigène, comme on sait, sont négatifs par rapport au calcium; de plus, relativement à ce corps, l'oxigène doit être plus négatif que le chlore, et cependant on sait que le chlore chasse l'oxigène de l'oxide de calcium : les affinités n'en rendent pas raison non plus; suivant lui, on peut remonter à la cause de ces effets, en prenant en considération le nombre des molécules, ou les quantités absolues d'électricité qu'elles renferment. Voici l'exemple qu'il cite:

« 1 molécule de chlore est positive à l'égard de « 2, 2 $\frac{1}{2}$, 3 $\frac{1}{2}$ molécules d'oxigène;

« 2 molécules de chlore sont négatives à l'égard « d'une molécule d'oxigène.

« En effet, dans l'oxide du chlore, l'acide chlorique « et l'acide perchlorique, chaque molécule de chlore est « combinée respectivement avec 2, 2 $\frac{1}{2}$, 3 $\frac{1}{2}$ molécules « d'oxigène, et dans la décomposition de l'oxide de cal- « cium par le chlore, chaque molécule d'oxigène est « remplacée par deux molécules de chlore. Par consé- « quent, si l'on représente par 2 l'électricité négative « de l'oxigène, et par 3 celle du chlore, on aura en « présence, dans les oxides de chlore, 3 contre 4, 5 et « 7; le chlore sera donc positif. »

Mais cette explication ne peut suffire; car le chlore ne chasse pas toujours l'oxigène, même quand deux molécules doivent en remplacer une seule, comme on le voit dans l'action du chlore sur l'alumine, la silice, etc.

Ces considérations nous montrent que les actions chimiques ne dépendent pas seulement des rapports électriques des molécules, mais encore du nombre de ces molécules, de leurs positions relatives, etc.

CHAPITRE III.

THÉORIES DES DÉCOMPOSITIONS ÉLECTRO-CHIMIQUES.

§ Ier. *Théorie de Grotthuss.*

590. Grotthuss est le premier qui ait donné une théorie satisfaisante des décompositions chimiques opérées à l'aide de la pile (1). Il adopta, en principe, que l'action du courant détermine, entre les particules de l'eau ou des substances soumises à son action, une polarité électrique semblable à celle que nous présente la pile, par suite de laquelle l'hydrogène devient positif et l'oxigène négatif. Il résulte de là que le pôle négatif attire l'hydrogène et repousse l'oxigène, tandis que le pôle positif attire l'oxigène et repousse l'hydrogène; mais ces différentes actions ne peuvent avoir lieu qu'autant que les molécules élémentaires réagissent les unes sur les autres, d'une manière analogue, jusqu'à leur arrivée sur les lames décomposantes, c'est-à-dire que la molécule oxigène d'une molécule d'eau, en se rendant sur la lame positive, abandonne les deux molécules d'hydrogène avec lesquelles elle est combinée, pour se recombiner momentanément avec les deux molécules d'hydrogène de la molécule d'eau contiguë,

(1) Annales de Chimie, t. LVIII, p. 54.

située du côté positif, et ainsi de suite, jusqu'à la lame positive, où elle devient libre. Les deux molécules d'hydrogène, que nous avons considérées primitivement, éprouvent une action analogue de la molécule d'oxigène appartenant à la molécule d'eau contiguë, qui est située du côté négatif; de sorte qu'elles arrivent sur la lame négative après avoir éprouvé une suite de décompositions et de recompositions successives. Suivant cette théorie, quand le courant traverse l'eau, chacun de ses deux principes composants est sollicité par une force attractive et par une force répulsive dont les centres d'action se trouvent réciproquement opposés et qui, agissant dans le même sens, déterminent la décomposition de ce liquide. L'action exercée par chaque force sur une molécule d'eau située sur la route du courant, étant en raison inverse du carré de la distance à laquelle elle s'exerce, et la distance d'une molécule quelconque à l'un des pôles ne pouvant jamais diminuer sans que la distance à l'autre pôle croisse proportionnellement, il en résulte que chacun des deux éléments de cette molécule est sollicité par une force constante, qui est la résultante de deux forces, l'une attractive et l'autre répulsive.

Il résulte évidemment de cette théorie, qu'il n'y a que les molécules d'eau situées aux extrémités des fils conducteurs qui sont seules décomposées, tandis que les molécules intermédiaires se bornent à échanger réciproquement et alternativement leurs principes constituants.

Ce que nous venons de dire pour l'eau soumise à l'action d'un courant, s'applique à toute autre substance dissoute dans ce liquide.

Davy (1) a rapporté d'abord les effets décomposants aux attractions des pôles; plus tard, dans ses *Éléments de chimie*, il a adopté la manière de voir de Grotthuss,

(1) Trans. phil., 1807, p. 28, 29 et 30.

puisqu'il parle des grands pouvoirs attractifs des surfaces des pôles, et de la probabilité d'une succession de décompositions et de recompositions dans tout le fluide. Suivant lui, les actions attractives et répulsives peuvent être transmises de la surface métallique sur toute l'étendue du liquide soumis à l'action de la pile, d'une molécule à une autre de même genre, et diminuant d'intensité, depuis les pôles jusqu'au milieu, qui se trouve à l'état neutre.

§ II. *Théorie de M. Delarive.*

591. M. Delarive (1) fait dépendre les décompositions électro-chimiques de l'eau et de toute autre substance, d'une combinaison de leurs éléments avec les électricités partant des pôles, de manière à faire naître un jeu d'affinités entre la matière et l'électricité; le courant positif en se combinant avec l'hydrogène ou les bases qu'il rencontre, laisse en liberté l'oxigène et les acides, et emporte au pôle négatif les substances auxquelles il est uni; mais arrivée au terme de sa course, l'électricité abandonne sur la surface du métal les substances qu'elle transporte pour pénétrer elle-même dans le métal, qui ne peut leur donner passage. L'électricité du pôle négatif, qui met également en liberté l'hydrogène et les bases, se combine avec l'oxigène et les acides, les entraîne vers le pôle positif et les y dépose.

M. Delarive pense que les portions qui sont décomposées sont celles qui se trouvent contiguës aux deux pôles, et que les portions qui sont au milieu n'éprouvent aucun effet et ne servent seulement qu'à conduire l'électricité, ainsi que les éléments de la matière qui sont transportés aux pôles. Le physicien génois fait observer que les décompositions électro-chimiques ne sont pas dues à la tension électrique dans laquelle le liquide est

(1) Annales de Chimie et de Physique, t. XXVIII.

supposé se constituer, attendu qu'il n'y a aucune décomposition quand on plonge uniquement dans le liquide l'un des pôles de la pile ou les deux pôles opposés de deux piles différentes. Voici les principaux faits sur lesquels repose sa théorie:

592. Pour prouver que la masse totale du liquide ne se partage pas, comme on l'a supposé, en deux portions, l'une positive et l'autre négative, M. Delarive a opéré la décomposition dans un vase séparé en trois compartiments par des diaphragmes en vessie, qui empêchaient le mélange des solutions salines contenues dans chacun d'eux. Il a versé dans chaque compartiment une solution de chlorure de sodium colorée en bleu. Ayant plongé les deux électrodes dans les cases extrêmes, il a trouvé qu'il n'y avait que les liquides de ces cases qui eussent changé de couleur; la couleur du liquide contenu dans la case du milieu n'avait éprouvé aucune altération sensible.

M. Delarive s'est demandé quelle était la molécule d'eau décomposée; était-ce la molécule d'eau en contact avec le pôle plus, ou bien celle qui se trouvait en contact avec le pôle moins? Étaient-ce toutes les deux ou une molécule intermédiaire? Il prit un tube de verre, d'un pouce de diamètre environ, fermé à ses deux extrémités et partagé, comme ci-dessus, en trois compartiments. Dans chaque compartiment plongeait un tube vertical, d'un diamètre assez fin, servant à indiquer les différences de niveau survenues dans le liquide de chaque compartiment. Les deux électrodes ayant été placées dans les deux cases extrêmes, il obtint les résultats suivants: l'eau pure ne donna aucun résultat, à cause de l'effet observé par M. Porrett; les solutions salines présentèrent aussi un inconvénient, en raison de la différence qui existe entre le volume occupé dans la solution par la base transportée à l'un des pôles et le volume occupé par l'acide à l'autre pôle. Néanmoins, M. Delarive a déduit de ses expériences que ce sont les portions du liquide contiguës à chacun des pôles qui sont décomposées.

Il a confirmé encore ce résultat en opérant avec des conducteurs liquides hétérogènes, et mettant, par exemple, une solution d'hydrochlorate d'ammoniaque dans les cases extrêmes, et une solution de sulfate de zinc dans la case intermédiaire; dans ce cas les éléments de la solution ammoniacale ont été seuls séparés; le contraire a eu lieu en plaçant une solution de sulfate de zinc dans les cases extrêmes.

M. Delarive s'est demandé ensuite ce que devenaient l'hydrogène et l'alcali des molécules décomposées au pôle positif, l'oxigène et l'acide des molécules décomposées au pôle négatif. C'est ici où, après avoir combattu les théories qui ont été mises en avant par divers auteurs, il a senti la nécessité d'admettre l'existence de deux influences ou courants, l'un partant du pôle positif, l'autre du pôle négatif, influences qui, considérées dans leur ensemble, constituent le courant voltaïque. Le courant qui sort du pôle plus, réagit sur la molécule contiguë, s'empare de son hydrogène, si c'est de l'eau, de sa base, si c'est un sel, et laisse l'oxigène et l'acide, qui alors se dégagent. Ce courant, en se rendant au pôle négatif par une force d'impulsion, transporte avec lui, à travers le conducteur humide, comme nous l'avons dit, les molécules avec lesquelles il est combiné; mais ne pouvant traverser avec elles un conducteur solide, il les abandonne en entrant dans le pôle positif. Le courant négatif agit de la même manière sur l'oxigène et l'acide de la molécule qu'il rencontre en sortant du pôle négatif.

D'après cet exposé, M. Delarive fait donc dépendre les phénomènes de décomposition et de transport par la pile, d'un jeu d'affinité entre les éléments des corps e les courants électriques.

Il s'est demandé ensuite en vertu de quelle for peut avoir lieu cette attraction des courants pour l molécules; mais il n'a pas cherché à résoudre ce question faute de documents convenables.

CHAPITRE IV.

DOCTRINE ÉLECTRO-CHIMIQUE DE M. FARADAY.

§ Ier. *Sur la quantité d'électricité que l'on suppose unie aux atomes de la matière.*

593. Nous ignorons ce que c'est qu'un atome et en quoi consiste l'affinité chimique; cependant un grand nombre de faits nous montrent que les forces qui la constituent ont des rapports intimes avec les pouvoirs électriques qui se manifestent à l'instant où elles s'exercent. C'est à la recherche de ces rapports que nous devons nous attacher, si nous voulons arriver à la connaissance des affinités. Ce qui tend encore à assimiler leurs actions à celles des forces électriques, c'est le fait bien constaté que les pouvoirs chimiques sont définis comme l'action chimique de l'électricité.

M. Faraday a cherché si l'on ne pourrait pas déterminer la quantité d'électricité que l'on suppose unie aux atomes de la matière; pour y arriver, il fait observer qu'une quantité considérable d'électricité, sous forme de courant, ne décompose que peu d'éléments; par exemple, un grain d'eau acidulée exige, pour sa décomposition, un courant électrique continu pendant 3 minutes 45 secondes, lequel est suffisant pour maintenir à la chaleur rouge, dans l'air, pendant le même temps, un fil de platine de $\frac{1}{104}$ de pouce de diamètre. Quelle prodigieuse quantité d'électricité mise en mouvement pendant ce temps, quand on songe à

son excessive vitesse! Si l'on considère, d'un autre côté, suivant M. Faraday, que le rapport entre la conduction de l'électricité et la décomposition de l'eau est si intime, que l'une ne peut avoir lieu sans l'autre; que pour une quantité définie donnée d'électricité qui passe, il y a également une quantité définie et constante d'eau ou de toute autre matière de décomposée, et que l'agent électrique est employé seulement à vaincre les pouvoirs électrochimiques dans les corps soumis à son action (ce qui permet de tirer la conséquence que la quantité qui passe est au moins égale à celle que possèdent les molécules séparées; c'est-à-dire que si le pouvoir électrique qui tient combinés les éléments d'un grain d'eau pouvait devenir un courant, il serait égal au courant qui est nécessaire pour séparer les éléments du grain d'eau), n'est-on pas en droit de conclure de toutes ces considérations que le pouvoir électrique, qui appartient naturellement aux particules de la matière, est tellement intense, que l'esprit ne peut s'en faire une idée nette?

594. En supputant la quantité d'électricité libre qui correspond à celle qui est fournie par un courant dans un temps donné, M. Faraday (1) pense, d'après les expériences qu'il a faites, qu'il serait nécessaire d'employer 800,000 charges d'une batterie électrique, composée de 8 jarres égales, de 8 pouces de hauteur et de 23 pouces de circonférence, et chargée avec trente tours d'un plateau d'une puissante machine électrique, pour remplacer la quantité d'électricité qu'il faudrait pour décomposer une simple molécule d'eau, c'est-à-dire pour égaler celle qui est naturellement associée aux éléments de cette molécule d'eau, et qui constitue leur mutuelle affinité chimique. Nous reviendrons sur cette évaluation, en parlant de la vitesse de l'électricité dans la décharge de la pile. L'expérience suivante tend à prouver la haute condition électrique des molécules de la matière, et

(1) Transact. phil., 1834, p. 119.

l'identité de leur quantité d'électricité avec celle qui est nécessaire pour leur séparation.

M. Faraday prit deux plaques de zinc amalgamées bien sèches : l'une, que nous appellerons A, pesait 163,1 grains; l'autre B, 148,3 grains. Elles avaient 5 pouces de long environ et 0,4 pouce de largeur. Une cuve pneumato-chimique ayant été remplie d'eau contenant $\frac{1}{20}$ d'acide sulfurique, ainsi qu'une éprouvette à gaz qui fut renversée dedans, une plaque de platine, à peu près de la même longueur, mais trois fois aussi large que les plaques de zinc, fut placée dans l'éprouvette; la plaque de zinc fut aussi introduite dedans et mise en contact avec le platine; et dans le même instant la plaque B fut placée dans l'eau acidulée de la cuve, hors de tout contact métallique.

Il se manifesta une forte action dans l'éprouvette, par suite du contact des plaques de zinc et de platine; du gaz hydrogène s'éleva du platine dans la partie supérieure de l'éprouvette, et l'on ne remarqua aucun dégagement de gaz sur la plaque de zinc amalgamée : au bout de 10 minutes, l'expérience fut interrompue. Les plaques furent lavées, séchées, et pesées de nouveau : la plaque B pesait le même poids qu'au commencement de l'expérience; tandis que la plaque A ne pesait plus que 154,65 grains, 8,459 de zinc ayant été dissous pendant l'expérience. Le volume du gaz hydrogène était de 12,5 pouces cubiques, la température étant de 52,0 Fahr. et le baromètre marquant 29,2 pouces. Ce volume, ramené à une température et une pression moyennes, était de 12,1453 pouces cubiques; en ajoutant à ce nombre sa moitié pour l'oxigène qui y correspond dans l'eau décomposée, on a pour la quantité d'oxigène et d'hydrogène développée dans la décomposition de l'eau par le courant électrique 18,232 pouces. Ce volume correspond à 2,3535556 grains d'eau décomposée; si l'on compare ce nombre à la quantité de zinc qui a été oxidée, laquelle est de 8,45, on a le rapport 9 : 32,31. Si donc 9 est le nombre équivalent de l'eau, celui du

zinc sera 32,5. Ce résultat indique donc qu'un équivalent de zinc oxidé correspond à un équivalent d'eau décomposée.

Dans cette expérience l'eau a été décomposée voltaïquement, et non à la manière des décompositions chimiques, attendu que l'oxigène et l'hydrogène ont été transportés à leurs pôles respectifs, et que la plaque B, considérée isolément, n'a éprouvé aucune altération dans l'eau acidulée. La conséquence qu'en tire M. Faraday est que l'action chimique sur un équivalent du zinc, dans un simple cercle voltaïque, est capable de développer une quantité suffisante d'électricité, sous forme de courant à travers l'eau, pour décomposer un équivalent de cette substance; ces résultats prouvent encore que la quantité d'électricité qui est associée aux particules de la matière et leur donne le pouvoir de se combiner, est capable, lorsqu'elle est sous forme de courant, de séparer ces particules de leur état de combinaison, c'est-à-dire, *que l'électricité qui décompose et celle qui est développée par la décomposition d'un certain volume de matière*, sont semblables.

D'après l'accord que nous reconnaissons entre la théorie des proportions définies et celle de l'affinité électrochimique, on doit considérer les parties équivalentes des corps, comme des volumes qui contiennent d'égales quantités d'électricité, ou qui ont des pouvoirs électriques égaux. Ainsi donc les atomes des corps qui sont équivalents l'un à l'autre dans leur action chimique ordinaire, possèdent des quantités égales d'électricité unies avec eux.

Nous devons ajouter à ce que nous venons de dire que M. Faraday considère, comme Davy et M. Berzelius, que la chaleur et la lumière développées pendant une combinaison puissante, sont la conséquence de la décharge électrique qui a lieu dans cette action. Ce fait est vrai; mais la manifestation de la chaleur et de la lumière est soumise à certaines conditions dont nous parlerons bientôt.

§ II. *Opinion de M. Faraday sur l'électricité produite dans les actions chimiques, et sur les effets du courant métallique.*

595. Le lecteur a pu apprécier déja les services importants que M. Faraday a rendus à l'électricité, d'après l'exposé consciencieux et fidèle que nous avons fait de ses travaux. Nous allons présenter actuellement les résultats qu'il a publiés récemment sur le même sujet (1), parce qu'ils servent de base à la théorie qu'il a donnée des phénomènes électro-chimiques; mais ici nous ne serons plus d'accord avec lui, surtout en ce qui concerne le dégagement de l'électricité, question que nous croyons avoir traitée aussi complétement qu'il était possible de le faire dans l'état actuel de la science (2). La haute estime qu'on accorde justement aux travaux de M. Faraday nous impose l'obligation de n'en omettre aucun, même quand nous ne partageons pas sa manière de voir sur quelques-uns d'entre eux.

M. Faraday admet, comme beaucoup de physiciens, une identité entre la force qui constitue le courant voltaïque et celle qui unit ensemble les éléments des électrolytes. Il partage aussi l'opinion de ceux qui attribuent une origine chimique à la charge de la pile. En cela nous sommes parfaitement d'accord; mais il a voulu appuyer son opinion d'expériences capables de dissiper tous les doutes, sans examiner si de semblables expériences n'avaient pas été faites depuis long-temps, avant qu'il s'occupât de cette question.

596. Cet habile et ingénieux physicien ayant pris deux plaques, l'une de platine et l'autre de zinc amalgamé, il souda un fil de platine *f* à la lame de platine (fig. 126), laquelle fut plongée ainsi que l'autre lame dans le vase

---

(1) Trans. phil., 2e partie, 1834, p. 425.
(2) Tome II, p. 17 à 90.

C, qui renfermait de l'eau acidulée par l'acide sulfurique et l'acide nitrique. Un morceau de papier tournesol, humecté d'une solution d'iodure de potassium, fut placé sur la lame de zinc en x, et le bout du fil de platine mis en contact avec le papier. L'iodure fut aussitôt décomposé par l'action seule du courant produit dans la réaction du zinc sur le liquide de C; car il n'existait dans l'appareil aucun contact métallique, le platine et le zinc ne communiquant ensemble que par l'intermédiaire d'une bande de papier à réactif. En remplaçant le liquide du vase C par une solution de potasse caustique, les résultats furent les mêmes. Ayant introduit dans le circuit un multiplicateur, l'aiguille fut déviée immédiatement.

597. Nous prendrons la liberté de faire remarquer à M. Faraday que l'expérience relative à la production d'un courant électrique par la réaction d'un acide sur un métal, indépendamment de tout contact métallique, a été faite pour la première fois en 1823, d'une manière non moins décisive (1). Une cuiller de platine, remplie d'acide nitrique très-pur, ayant été fixée à l'un des bouts du fil d'un multiplicateur, et une pince également en platine à l'autre bout, on expérimenta de la manière suivante : « Plaçons entre les branches de la pince une lame « d'or parfaitement pur et enveloppée à moitié d'une « bande de papier pour empêcher le contact des deux « métaux; plongeons cette lame dans l'acide nitrique « privé de gaz nitreux, afin que l'or ne soit pas attaqué, « et faisons l'immersion de manière que le papier touche « aussi à l'acide. L'aiguille aimantée n'est pas déviée « de sa position ordinaire d'équilibre; mais quand l'acide « nitrique renferme du gaz nitreux, le multiplicateur ac- « cuse aussitôt un courant qui provient de la réaction « de l'acide sur l'or. »

Dans un autre mémoire (2) nous nous exprimâmes d'une

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXIV, p. 346.
(2) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXVI, p. 177.

manière non moins explicite : « Une lame d'or, envelop-
« pée d'une bande de papier joseph, sera fixée entre les
« deux branches d'une pince de platine adaptée à l'un des
« bouts du fil d'un galvanomètre; on plongera le tout
« dans une capsule de porcelaine remplie d'acide nitri-
« que, et l'on fera communiquer l'autre bout du fil aussi
« en platine avec le même acide; les effets électriques
« seront nuls.....
« mais si l'on ajoute une seule goutte d'acide hydrochlo-
« rique, l'or au même instant est attaqué, et l'aiguille
« aimantée, par sa déviation, annonce que l'acide a pris
« l'électricité positive, et l'or l'électricité négative. » Cette expérience, comme on le voit, était décisive et prouvait bien que le contact métallique n'était pas nécessaire pour la production du courant, puisqu'on voit naître celui-ci quand l'action chimique commence.

M. Faraday ayant placé parallèlement l'une à l'autre deux plaques, l'une de zinc amalgamé, et l'autre de platine (fig. 127), introduisit une goutte d'une dissolution d'acide sulfurique entre deux des extrémités de ces plaques. Il n'y eut d'action chimique à cet endroit qu'autant que les deux plaques étaient réunies, par un corps conducteur, en deux points quelconques.

En enlevant l'acide et introduisant une goutte de solution d'iodure de potassium en x (fig. 128), il obtint la même série d'effets; seulement le courant eut lieu dans une direction opposée. Dans ce cas, suivant M. Faraday, les deux solutions employées sont conductrices; mais le pouvoir conducteur de chacune d'elles est essentiellement lié au pouvoir de décomposition dans un ordre contraire, et par conséquent l'apparition des éléments dans une certaine place montre dans quelle direction a passé le courant. En plaçant les deux solutions aux bouts opposés des plaques, comme dans les deux dernières expériences, le contact métallique ayant lieu en d'autres points, les courants cheminèrent dans des directions opposées : cette disposition permet d'opposer les actions des deux

§ IV. *De l'intensité du courant.*

604. M. Faraday a cherché à appliquer à l'intensité du courant les principes que nous venons d'exposer; en raison de l'action définie de l'électricité, il regarde comme évident que la quantité d'électricité dans le courant ne peut augmenter quand la quantité de métal oxidé et dissous s'accroît là où a lieu l'action chimique. Ainsi une seule paire de plaques de zinc et de platine donne autant d'électricité sous forme de courant, par l'oxidation d'une certaine quantité de zinc, qu'en donnerait l'altération de mille fois cette quantité à la surface de mille plaques de zinc dans une pile voltaïque. Pour le prouver, M. Faraday a disposé, en forme de batterie, dix plaques de zinc amalgamé et de platine, avec la dissolution d'acide sulfurique. Le circuit ayant été fermé, il recueillit l'hydrogène dégagé à la surface de chaque plaque de platine, et trouva que la quantité sur chacune d'elles était en proportion avec la quantité de métal dissoute de chaque plaque de zinc, et la même que celle qu'il avait obtenue avec une seule paire. Il est démontré par là qu'il a passé autant d'électricité à travers une série de dix plaques que dans une seule, quoique la quantité de zinc dissoute ait été dix fois plus grande. Ce fait avait déja été constaté depuis long-temps au moyen du multiplicateur.

Pour expliquer l'accroissement de l'intensité du courant, à mesure que l'on augmente le nombre des couples, M. Faraday suppose que le degré d'intensité du courant, développé par le premier élément, s'augmente quand ce courant est soumis à l'action d'un second élément agissant de concert, et possédant un pouvoir égal au premier; M. Peltier a envisagé la question sous le même point de vue. Les décompositions étant simplement des actions opposées, qui sont exactement du même genre que celles qui engendrent le courant, il en résulte que l'affinité qui résiste à la force d'une

action décomposante, doit céder à l'énergie de plusieurs actions décomposantes.

§ V. *Considérations générales sur les décompositions électro-chimiques.*

605. M. Faraday ne s'est pas borné seulement à observer des faits isolés, il a cherché encore à les rattacher à une théorie générale qui pût embrasser tous les phénomènes relatifs à l'électricité et aux affinités chimiques; mais, quoiqu'il ait ajouté beaucoup d'observations importantes à celles de ses prédécesseurs, nous ne pensons pas qu'il ait encore atteint le but qu'il s'est proposé. En attendant, les théories se succèdent, de nouveaux faits viennent nous révéler de nouveaux rapports entre les affinités et les forces électriques, la science marche, et c'est tout ce que la philosophie peut espérer pour l'instant. Le lecteur va juger par lui-même des nouveaux efforts de M. Faraday pour tâcher d'expliquer les décompositions électro-chimiques.

Suivant lui, les décompositions électro-chimiques, comme l'ont pensé quelques physiciens, ne dépendent d'aucune répulsion ou attraction directe des pôles, ou des lames métalliques en communication avec les appareils électriques et les dissolutions, ni des éléments en contact avec ces lames, ou près d'elles; il se fonde à cet égard sur les expériences de décomposition faites dans l'air. Dans ce cas, les éléments séparés ne se rendent vers aucun pôle, mais ils sont chassés aux extrémités de la substance soumise à l'action décomposante de la pile.

Pour prouver que les portions environnantes de l'air ne sont pas des surfaces d'attraction et de répulsion analogues à celles des plaques de métal, M. Faraday a construit un appareil à l'aide duquel il est parvenu à décomposer un corps aussi bien sur une surface d'eau que dans l'air. Ayant pris un bocal de verre de quatre pouces de diamètre et de quatre pouces de profondeur (fig. 134), une lame de mica *a* fut fixée à la partie

teur décomposant, la somme totale de l'action électro chimique est aussi une quantité constante, c'est-à-dire qu'elle doit toujours être équivalente à la nature des effets chimiques ordinaires. Nous partageons complétement son opinion à cet égard.

M. Faraday, en cherchant parmi les expériences relatives aux décompositions électro-chimiques et aux phénomènes électro-dynamiques, que l'on a citées à l'appui des vues de Grotthus et de M. Delarive, celles qui peuvent être regardées comme propres à soutenir la théorie des deux électricités plutôt que celle d'un seul fluide, n'a pu trouver un seul fait qu'on pût mettre en avant pour appuyer la dernière. Quant à la première, il n'a pas observé non plus le plus petit fait qui puisse faire croire que le courant positif soit plus puissant que le courant négatif, ou que l'un puisse être présent sans l'autre, ou varier sans que l'autre soit affecté. Par conséquent, il n'y a donc, suivant lui, aucune raison pour considérer le courant électrique comme un composé de deux autres courants, l'un formé par l'électricité positive, et l'autre par l'électricité négative. Cette égalité d'intensité dans l'action de chacun des deux fluides ne nous paraît pas aussi exclusive qu'à M. Faraday; car il existe plusieurs faits sur l'exactitude desquels on ne peut élever aucun doute qui prouvent que réellement chacun des deux fluides, indépendamment de son action chimique, ne jouit pas toujours des mêmes propriétés physiques. Nous reviendrons sur cette observation, quand nous exposerons nos vues particulières sur la théorie électro-chimique.

607. La théorie que donne M. Faraday des décompositions électro-chimiques nous paraissant un peu abstraite, nous allons rapporter le passage où il en résume lui-même les bases:

« La décomposition est produite par *une action cor-* « *pusculaire interne*, qui se développe dans la direc- « tion du courant électrique, et qui est due à une force « surajoutée aux affinités chimiques ordinaires des

« corps presents, ou qui imprime une direction à ces « affinités. Le corps décomposant peut être considéré « comme une masse de particules agissantes, celles qui « se trouvent sur la route du courant électrique contri- « buant à l'effet final (1); et c'est parce que l'affinité « chimique ordinaire est allégée, affaiblie, ou en partie « neutralisée par l'influence du courant électrique dans « une direction parallèle à celle qu'il suit, et renforcée « ou augmentée dans une direction opposée, que les « particules combinées ont une tendance à se diriger « dans une route opposée.

« L'effet produit doit donc être regardé comme essen- « tiellement dépendant de l'affinité chimique mutuelle « des particules de nature opposée. Les particules *aa* « (fig. 134 *bis*) ne pourraient être transportées, ou voyager « du pôle N au pôle P, sans rencontrer les particules « d'une nature opposée *bb*, prêtes à passer dans une di- « rection contraire; car si elles sont poussées en avant, « c'est en vertu de leur affinité croissante pour ces par- « ticules, combinée avec l'affinité moindre pour celles « qui, dans leur cours, se trouvent derrière elles. Dès « l'instant qu'une particule *a* (fig. 134 *ter*) arrive au pôle, « elle est écartée ou mise en liberté, parce que la parti- « cule *b*, d'une nature opposée, avec laquelle elle était « combinée le moment d'avant, a, sous l'influence en- « traînante du courant, une plus grande attraction pour « la particule *a'* qui est devant elle sur la route, que « pour la particule *a*, pour laquelle son affinité a été « affaiblie. »

En décrivant toutes les circonstances des décompositions électro-chimiques, M. Faraday ajoute :

Que les actions décomposantes se montrent fréquemment dans des directions obliques, puisque, lorsqu'on emploie des fils qui plongent dans un vase rempli d'une solution, les décompositions et recompositions se pré-

(1) Transact. philos., 1833, p. 696.

sentent à droite ou à gauche de la ligne droite entre les pôles, et partout où s'étendent les courants, et doivent se montrer par conséquent entre des particules obliquement placées par rapport au courant lui-même. Il admet donc que dans un corps composé, capable de décomposition électro-chimique, les particules élémentaires ont une relation mutuelle et une influence l'une sur l'autre qui s'étendent au-delà de celles avec lesquelles elles sont combinées. Il fait observer à cet égard que le rapport général des particules déja combinées avec les autres particules auxquelles elles ne sont pas combinées, est constaté par de nombreux résultats chimiques, et par les expériences de Berthollet sur l'influence des masses dans les affinités. Il fait remarquer que, dans les gaz et dans les vapeurs, là où l'attraction d'agrégation cesse, les pouvoirs décomposants de l'électricité paraissent cesser aussi, et l'influence de la quantité ne se manifeste plus. Cette assertion est vraie, suivant nous, quand il s'agit de l'électricité voltaïque; mais elle ne l'est pas quand on opère avec l'électricité ordinaire, puisque l'on parvient, au moyen de son action, à décomposer les gaz. Le savant anglais attribue donc les décompositions électro-chimiques à une modification dans l'affinité chimique des particules au travers desquelles passe le courant électrique, laquelle modification leur donne la faculté d'agir plus efficacement dans une direction que dans l'autre, en les faisant passer conséquemment par une série de décompositions et de recompositions successives dans des directions opposées, et les chassant vers les limites du corps décomposé dans la direction du courant, en plus ou moins grande quantité, selon que le courant est plus ou moins puissant. D'où il suit qu'un corps soumis à la décomposition se trouve en rapport plutôt avec le courant qui le traverse qu'avec les pôles, et qu'une susbtance ne peut être transportée par le courant au-delà du point où elle cesse de traverser des particules avec lesquelles elles forment des combinaisons; nous ajouterons avec lesquelles

elles peuvent former une combinaison soluble, comme Davy et nous l'avons montré.

608. Pour prouver que la décomposition et le transport des éléments dépendent réellement de l'affinité chimique des substances sur lesquelles on agit, M. Faraday a pris de l'acide sulfurique étendu d'eau, d'une pesanteur spécifique égale à 1021,2, et une solution de sulfate de soude, telle qu'une mesure contenait autant d'acide sulfurique qu'une même mesure de cet acide étendu; puis une solution de soude pure et une autre d'ammoniaque, également pure, préparées de manière qu'une mesure de chacune d'elles était neutralisée par une mesure de l'acide sulfurique.

Quatre coupes de verre furent disposées comme l'indique la fig. 135; 70 mesures d'acide sulfurique furent versées dans chacun des vases *a* et *b*, et 70 mesures de solution de sulfate de soude dans chacun des vases A et B; *a* et *b*, A et B furent mis en communication avec de l'asbeste, préalablement lavé dans de l'eau acidulée, puis séché. En outre, *b* et A furent mis en communication au moyen de deux plaques de platine, et l'on plongea dans les vases *a* et B des lames de platine en relation avec une batterie voltaïque de 40 éléments. Le courant qui passait de *a* en *b* était le même que celui qui allait de A en B de chaque côté, et la même quantité d'acide avait été soumise à son action : seulement, d'un côté, l'acide était dissous dans l'eau, et de l'autre il était également dissous, mais combiné avec un alcali. L'action ayant été interrompue, les mèches d'asbeste furent lavées, et les eaux de lavage versées chacune dans leurs vases respectifs.

Ayant comparé les quantités d'acide contenues dans *a* et *b*, on trouva que le vase négatif *a* exigeait 15 parties de solution de soude, et celles du vase positif *b* 16,3 parties. En prenant la moyenne 15,65, la 24e partie de l'acide qui se trouvait d'abord dans le vase *a*, aurait donc passé, à l'aide du courant électrique, de *a* en *b*. Quant aux vases A et B, on trouva que la solu-

tion en A, qui était alcaline, exigeait 2 mesures de l'acide préparé pour être neutralisé, et la solution acide en B la même quantité de solution de soude. Il résulte de là qu'un 10e de l'acide, qui se trouvait d'abord dans le vase A, a été transporté en B pendant la durée de l'expérience. M. Faraday a conclu de ces expériences, et d'autres que nous ne rapportons pas, que le transport dépend particulièrement de l'action mutuelle des particules des corps décomposés, puisque, dans les capsules *a* et *b* l'acide n'avait qu'une faible affinité pour l'eau, tandis qu'il en avait une plus forte, dans les vases A et B, pour la soude.

609. M. Faraday, intimement convaincu qu'une substance ne peut être transportée ou passer d'un pôle à un autre, qu'autant qu'elle est en rapport chimique avec quelque autre élément ou substance tendant à passer dans une direction opposée, cite, en faveur de cette opinion, que l'on n'a encore observé aucune tendance vers les pôles, de la part de substances qui se trouvent à l'état de simple mélange dans un liquide, comme le charbon de bois pulvérisé répandu dans de l'acide sulfurique étendu d'eau et soumis à l'action d'une pile voltaïque, comme le soufre sublimé répandu dans de l'acide sulfurique. Je ferai encore remarquer que cet effet, dont M. Faraday ne reconnaît pas encore l'existence et qui est jusqu'à un certain point indépendant de l'effet chimique, a été constaté par divers physiciens et, entre autres, par nous. Nous avons bien reconnu que l'électricité positive, en parcourant les liquides, a la faculté de chasser devant elle les corps légers qui s'opposent à son passage, tandis que l'électricité négative ne paraît pas jouir de cette propriété au même degré. Au surplus, nous pensons, avec M. Faraday, qu'on peut dire que les substances, immédiatement après leur séparation, deviennent indifférentes à l'action du courant, et qu'en général, plus les corps sont directement opposés l'un à l'autre, sous le rapport de l'action chimique, plus ils sont disposés à se séparer l'un de l'autre, pourvu cependant

que l'insolubilité, le manque de pouvoir conducteur et les proportions ne s'y opposent pas. On voit par là pourquoi, dans les décompositions électro-chimiques opérées avec des courants qui ont une certaine énergie, les acides passent à travers les alcalis, et les alcalis ou les terres à travers les acides; attendu que plus il y a d'alcali sur la route d'un acide, plus le transport de l'acide d'un pôle à l'autre est facile.

CHAPITRE V.

THÉORIE CHIMIQUE DE L'AUTEUR.

610. Si nous connaissions la nature du principe électrique et celle des atomes des corps, la théorie électro-chimique ne présenterait plus de difficultés, puisqu'elle nous donnerait immédiatement tous les rapports qui lient les forces électriques et les affinités; mais nous n'en sommes pas encore là. Aussi les physiciens sont-ils forcés de multiplier les expériences pour lier ensemble les phénomènes électriques et les phénomènes chimiques. Que de faits souvent difficiles à interpréter et à rattacher à d'autres faits n'a-t-on pas accumulés, depuis plus de trente ans, dans l'arsenal de la science, pour tâcher d'expliquer les phénomènes électro-chimiques et une foule d'effets naturels qui se produisent sur notre globe et dans les espaces célestes! car, partout où il existe de la matière, le principe électrique s'y trouve aussi et peut y être mis en mouvement par un grand nombre de causes dont nous avons fait connaître les plus importantes. Ce principe préside aux actions chimiques, aux phénomènes de la chaleur et de la lumière, aux effets magnétiques et peut-être aussi à l'attraction générale. Il a donc tous les caractères d'un agent universel, puisqu'il apparaît quand un de ces phénomènes se produit. Bien que nous soyons disposés à lui faire jouer un grand rôle dans la nature, le lecteur a pu voir cependant dans le cours de cet ouvrage avec quelle circonspection nous avons hasardé des conjec-

tures à cet égard. Nous les avons toujours présentées comme des conséquences probables de faits bien constatés. Fidèles à cette manière de procéder, nous allons exposer la théorie électro-chimique, telle que nous l'envisageons, et en nous entourant de tous les documents dont la science nous permet de disposer.

Qu'est-ce que c'est que l'électricité? est-ce un fluide ou le résultat d'un mouvement produit dans une matière éthérée? Nous l'ignorons. Ce que nous savons, c'est qu'il y a une différence immense entre l'électricité libre et l'électricité en mouvement; la première possède tous les caractères d'un fluide, puisqu'on la recueille, on la condense et on la garde, tandis que l'électricité en mouvement ne possède aucune de ces propriétés et jouit au contraire de celles qui caractérisent une matière éthérée se propageant dans les corps avec une vitesse dont l'imagination ne peut se faire que difficilement une idée. Il en résulte, comme l'a très-bien fait observer M. Peltier, que l'augmentation ou la diminution d'action dans la première est due à un changement dans la densité, et dans la seconde à un accroissement ou à une diminution dans l'intensité du mouvement, c'est-à-dire dans sa rapidité.

Un caractère propre à l'électricité en mouvement et qui la distingue de l'autre, c'est que l'on n'augmente pas son intensité en augmentant la quantité d'électricité destinée à produire le mouvement, pourvu que cette électricité soit animée de la même vitesse, ce qui n'a pas lieu pour l'autre, dont la densité augmente dans les mêmes rapports. On peut donc considérer le courant électrique comme le résultat d'un mouvement oscillatoire produit dans une substance éthérée, dont l'intensité augmente par une impulsion nouvelle imprimée aux oscillations. Cette substance éthérée est très-probablement celle qui remplit l'univers, et par conséquent les espaces interstitiels des corps, et dont les oscillations produisent la lumière et même la chaleur, quand les

vons donc aucun motif pour admettre la polarité électrique.

D'un autre côté, un grand nombre d'expériences prouvent que, lorsque les molécules des corps sont en repos, il ne se manifeste à l'extérieur ou à l'intérieur de ces corps aucun phénomène électrique appréciable, et qu'il n'en est plus de même, dès l'instant que leur position naturelle d'équilibre est troublée par une cause quelconque; on obtient alors des effets électriques dépendants de la nature de cette cause. Ces effets devant servir de base à toute théorie électro-chimique, nous allons les résumer ici le plus succinctement qu'il nous sera possible.

612. Lorsqu'on clive un cristal d'une substance quelconque rangée dans la classe des mauvais conducteurs, chaque face séparée emporte avec elle un excès d'électricité contraire, dont la nature, pour chacune d'elles, ne dépend pas de sa position par rapport à l'autre, et dont l'intensité croît avec la vitesse avec laquelle on a séparé les deux lames. Si ce phénomène, qui est toujours accompagné d'une lueur semblable à celle que l'on observe dans la décharge d'un corps faiblement électrisé, n'offre, dans sa production, aucune apparence de régularité, il prouve du moins que l'électricité, qui devient libre quand on détruit l'attraction moléculaire, joue dans cette attraction un certain rôle dont il nous est impossible d'apprécier encore l'importance.

Sans que nous puissions expliquer non plus le dégagement de l'électricité dans le frottement, nous concevons cependant qu'il doit provenir d'un dérangement dans la position naturelle des molécules, soit par l'effet de l'action mécanique, soit par celui de la force attractive qui se manifeste entre les particules des surfaces frottées; celles qui sont le plus flexibles, qui peuvent se déranger le plus facilement, prenant ordinairement l'électricité négative. Ce fait nous révèle encore la présence de l'électricité dans l'acte de l'agrégation.

Si un corps conducteur est soumis à l'action par

influence d'un corps électrisé, son électricité naturelle est décomposée, de manière que les deux fluides contraires dont elle est formée occupent sur la surface deux plages opposées. Ces deux fluides existaient donc primitivement dans les interstices moléculaires ; et comme leur tension augmente en même temps que celle de l'électricité du corps présenté, même quand celle-ci est très-intense, il en résulte qu'elle peut devenir excessive et même suffisante pour détruire la force d'agrégation du corps soumis à l'action par influence ; car nous savons que l'on désagrége et que l'on décompose même un corps conducteur, quand il est traversé par une décharge électrique suffisamment énergique. Il résulte de ces observations la preuve non-seulement que l'électricité existe en grande quantité dans les espaces moléculaires des corps, mais qu'elle est tellement identifiée avec le pouvoir d'agrégation, que l'on détruit celui-ci quand on enlève toute l'électricité qui se trouve placée entre les molécules. Si donc elle ne constitue pas la force d'agrégation, elle est du moins indispensable à son existence. Cette conséquence est rigoureuse, mais l'expérience ne permet pas d'aller au-delà.

Voyons les rapports que l'expérience établit entre la chaleur et l'électricité ; c'est là où nous commencerons à trouver le lien commun entre les affinités et les forces chimiques. Quand la chaleur se propage dans un corps conducteur de l'électricité formant un circuit fermé, si elle rencontre sur son passage un obstacle qui s'oppose à sa propagation, là où est l'obstacle il y a séparation des deux électricités ; l'électricité positive le franchit aussitôt. En général, plusieurs expériences prouvent que cette espèce d'électricité jouit de la propriété de se mouvoir plus librement que l'autre dans les milieux résistants. Réciproquement, quand le fluide électrique chemine dans un conducteur, si sa vitesse est diminuée en un point quelconque, il y a dégagement de chaleur là où est l'obstacle qui ralentit sa vitesse. Nous ne con-

naissons encore qu'un seul cas d'exception à cette règle, c'est celui qui a été observé par M. Peltier dans un circuit bismuth antimoine.

D'un autre côté, la chaleur, dilatant les molécules des corps, doit produire des effets électriques analogues à ceux du clivage, c'est-à-dire qu'en les écartant elles éprouvent un commencement de clivage, qui met en liberté une certaine portion des deux électricités, lesquelles se combinent aussitôt; l'abaissement de température doit produire des effets électriques inverses.

On ne peut, à la vérité, observer les uns et les autres que dans des cas très-restreints, attendu que la recomposition s'effectue ordinairement sur les surfaces mêmes du contact; mais il faut en excepter quelques corps régulièrement cristallisés, tels que la tourmaline, la topaze et autres, dont la conductibilité et le groupement des molécules les assimilent, jusqu'à un certain point, aux piles électriques formées de lames de verre, et permettent aux électricités dégagées de se mouvoir avec assez de liberté pour que les deux parties opposées de ces cristaux possèdent les deux électricités contraires.

Dans ces cristaux, la présence de l'électricité libre n'a lieu qu'autant que leur température est ascendante ou descendante; car, dès l'instant qu'elle est stationnaire, tous les signes d'électricité disparaissent; leur état électrique est donc bien, comme nous l'avons annoncé, le résultat de la dilatation et de la contraction des particules. Dès lors nous ne voyons pas comment on pourrait comparer les propriétés électriques des atomes des corps aux propriétés électriques d'une tourmaline, puisque celles-ci ne sont que transitoires et fugitives. Cet exemple prouve avec quelle circonspection on doit se prononcer sur le mérite d'une théorie électro-chimique, quand elle ne repose pas sur des faits bien constatés.

La chaleur paraît se propager dans les corps par une

suite de décompositions et de recompositions du fluide électrique, tellement dirigées que la particule qui s'échauffe la première prend au foyer de chaleur l'électricité positive, et repousse la négative dans la particule contiguë, laquelle, s'échauffant à son tour, s'empare de l'électricité positive et chasse la négative dans la particule suivante. C'est par un moyen analogue que la chaleur, sans avoir égard aux effets électriques, se propage dans les corps, puique la théorie admet que, dans la propagation, il se produit un rayonnement de chaleur d'une particule à une autre. Nous sommes disposés à admettre, d'après cela, que ce rayonnement s'effectue par des décompositions et recompositions de fluide électrique. Il résulte de là que, lorsqu'on élève la température d'un corps, on met en mouvement une plus grande quantité de fluide électrique; circonstance très-favorable au développement des affinités, comme nous le verrons plus loin.

Les phénomènes thermo-électriques nous révèlent aussi de nouveaux rapports entre la chaleur et l'électricité, rapports qui établissent entre ces deux agents une dépendance mutuelle, laquelle ne tend rien moins qu'à nous les montrer comme dérivant du même principe.

Considérons un circuit fermé, composé de deux fils de métal différent, soudés bout à bout. Quand la température est la même à chacune des soudures, il n'y a aucun dérangement apparent dans l'équilibre des forces électriques, puisque tout est semblable de part et d'autre; mais, dès l'instant qu'il y a une différence de température, il se produit un courant électrique, dont nous avons étudié la nature et la direction dans les circuits formés de différents métaux. Il n'y a d'exception à cette règle générale que dans quelques cas particuliers, qui ne pourront manquer de jeter du jour sur la question électro-chimique. Sans entrer dans de nouveaux développements à cet égard, nous dirons seulement que, lorsque la température d'une des soudures reste con-

stante et qu'on élève celle de l'autre, les effets thermo-électriques paraissent dépendre de la conductibilité électrique des métaux et de leur capacité pour la chaleur; mais la chaleur spécifique semble particulièrement exercer une grande influence, car la plupart des métaux qui ont le plus de chaleur spécifique, sont aussi ceux qui, dans les chaînes thermo-électriques, prennent l'électricité positive. Il est facile de concevoir, en outre, comment le pouvoir conducteur influe sur la direction du courant : lorsque le foyer de chaleur est appliqué à la surface de contact des deux métaux, la chaleur ne se propageant pas également dans chacun d'eux, il doit en résulter des effets électriques dont la différence produit un courant; si l'on y joint encore l'influence de la chaleur spécifique, on voit combien le phénomène devient composé.

D'après les considérations précédentes, nous devons considérer la chaleur comme formée de la réunion des deux électricités, mais avec cette condition essentielle que la chaleur, en général, ne produit les deux électricités, et les deux électricités de la chaleur, qu'autant que le mouvement dans les corps de l'une et des deux autres est gêné par une cause quelconque. Quand cette cause n'existe pas, la chaleur passe sans manifestation d'effets électriques et le courant sans production de chaleur. Voilà comme il faut envisager, dans l'état actuel de la science, les rapports qui lient la chaleur et l'électricité.

Il nous semble que l'on peut expliquer maintenant pourquoi les corps s'échauffent quand on les frotte ou qu'on les frappe à coups redoublés avec d'autres corps. En ébranlant leurs molécules, on met en liberté, à chaque instant, une grande quantité des deux électricités qui leur étaient associées, et qui, en se recombinant, produisent de la chaleur.

613. Nous évitons, comme on le voit, d'émettre des idées abstraites ou métaphysiques, que l'esprit ne saisit que difficilement, et qui ne jettent par conséquent que de la confusion dans la science. Abordons maintenant

les actions chimiques, en suivant toujours le même plan.

Nous savons que, lorsqu'un acide se combine avec un alcali, le premier prend de l'électricité positive, et le second de l'électricité négative; ces deux électricités, en se recombinant immédiatement dans la liqueur, reforment du fluide neutre, et produisent autant de courants partiels qu'il y a de particules agissantes. Or, cette multitude de petits courants ne pouvant traverser le liquide à la surface de contact sans éprouver une résistance proportionnée à leur nombre, il en résulte une élévation de température qui est en rapport avec l'énergie de l'action chimique.

Dans les décompositions électro-chimiques, les effets électriques sont inverses, c'est-à-dire que l'acide prend l'électricité négative, et l'alcali l'électricité positive.

De cette différence d'effets nous concluons, comme nous l'avons déjà fait pour la force d'agrégation, que si l'électricité ne constitue pas les affinités, elle est du moins indispensable à leur manifestation, puisqu'elle se montre toujours quand celles-ci s'exercent, soit dans les combinaisons, soit dans les décompositions.

Les acides, avons-nous dit, quand ils se combinent avec les alcalis, prennent de l'électricité positive, et de l'électricité négative quand ils s'en séparent. Ils se comportent donc, conformément aux idées de M. Ampère, comme des corps éminemment négatifs, entourés d'électricité positive, dont ils se débarrassent dans les combinaisons, pour la reprendre à l'éther ou aux corps environnants dans les décompositions en leur laissant l'électricité négative; d'où résultent des effets électriques contraires. Les alcalis, par la même raison, se comportent comme des corps éminemment électro-positifs. Cette explication est certainement très-séduisante, et elle a beaucoup de faits en sa faveur. Elle nous permet aussi de concevoir comment les atomes peuvent rester en contact dans les combinaisons, puisque cette permanence dans le contact ne serait que le résultat des actions

contraires exercées par les deux atomes ne possédant pas chacun la même espèce d'électricité; mais nous lui opposerons une observation qui ne s'accorde pas avec cette électricité inhérente aux atomes; observation déja ancienne, que M. Faraday a si bien développée, savoir, que l'énergie de l'action décomposante de la pile est en rapport direct avec l'affinité chimique des substances sur lesquelles elle agit, c'est-à-dire qu'une substance ne peut être transportée, ou passer d'un pôle à l'autre, qu'autant qu'elle est en rapport avec quelque autre élément tendant à passer dans une direction opposée. Ce fait, qui est incontestable, prouve, suivant nous, que l'état électrique des atomes dans les composés, que nous avons reconnu être essentiel à leur existence, dépend uniquement des affinités en vertu desquelles leurs parties constituantes se sont réunies, de sorte qu'une de ces parties, considérée isolément, ne saurait être influencée par un courant. Mais, quoique la base fondamentale de la théorie de M. Ampère ne puisse être admise, c'est-à-dire l'état électrique permanent des atomes, lequel est dissimulé par la présence d'atmosphères d'électricité contraire, nous sommes cependant forcés d'adopter quelques-unes de ses vues ultérieures, comme on va le voir; en effet, tous les faits observés jusqu'ici tendent à prouver qu'à l'instant où l'action chimique s'exerce entre un acide et un alcali, les particules acides, qui sont toujours environnées d'une certaine quantité de fluide naturel dépendante de leur nature, perdent leur électricité positive et conservent leur électricité négative, qui fait corps avec elles tant que dure la combinaison, tandis que dans la décomposition, les mêmes particules recouvrent leur électricité naturelle en prenant aux corps environnants l'électricité positive dont elles ont besoin pour neutraliser l'électricité négative qui constituait leur état de combinaison. C'est par un motif semblable que les particules alcalines, à l'instant de leur combinaison avec les acides, s'entourent d'atmos-

phères d'électricité positive, dont l'intensité est égale à celle des atmosphères d'électricité négative des particules acides. Quand la combinaison est effectuée, l'action de ces atmosphères se trouve naturellement neutralisée par leur attraction réciproque, qui maintient le contact. D'après cela, l'électricité n'est donc qu'un effet résultant de l'action des affinités; mais un effet qui est indispensable à la permanence des combinaisons, puisqu'en enlevant cette électricité on détruit celles-ci. Les phénomènes relatifs aux décompositions électro-chimiques viennent confirmer cette manière de voir.

Si l'on avait un moyen rigoureux de mesurer l'intensité on ne changera rien, on pourrait comparer ensemble les affinités chimiques des corps; les découvertes récentes de MM. Faraday et Wheatstone laissent entrevoir l'époque où l'on opérera cette détermination.

L'enchaînement est tel entre les forces électriques et les affinités, que, lorsqu'on affaiblit l'action des premières, on diminue dans le même rapport l'action des secondes, et qu'en anéantissant celles-là, on détruit également les dernières. Il existe donc entre elles un rapport tel que l'une ne peut exister sans l'autre.

Si les particules des corps acides ou alcalins étaient aussi fortement électro-négatives ou électro-positives que le pense M. Ampère, un acide ou un alcali dissous dans l'eau devrait montrer une certaine aptitude à se rendre au pôle positif ou au pôle négatif, en raison de son électricité propre; mais l'expérience prouve que la tendance de l'un ou de l'autre pour se rendre à l'un des pôles est inappréciable. Cette remarque n'est nullement favorable à l'opinion du physicien français. Nous concevons actuellement comment la chaleur peut exalter les propriétés chimiques des corps; en mettant en mouvement l'électricité, elle peut, jusqu'à un certain point, augmenter l'intensité des atmosphères, et par suite l'attraction des molécules qui en est dépendante. Jusqu'ici il n'a nullement été question de ce qui se passe dans le contact de deux corps, non suivi d'une combinaison.

Nous voilà ramenés naturellement aux effets électriques de contact dont l'existence a été combattue par tous les partisans de la doctrine électro-chimique. Quant à nous, le lecteur a pu voir que nous nous sommes rangés sous la bannière de ces derniers; mais nous ajouterons cependant que nous pensons qu'il peut très-bien se faire que lorsque deux corps sont en contact, les affinités commencent à exercer leur action, avant qu'il y ait combinaison, et qu'il en résulte des effets électriques par suite du trouble qui survient dans la position d'équilibre des molécules; nous jetons seulement cette idée en avant.

Dans les composés chimiques, avons-nous dit, les atomes hétérogènes sont entourés d'atmosphères électriques dont la nature dépend de celle de ces atomes et qui sont essentielles à l'existence de ces composés, puisque ce sont elles qui paraissent maintenir leur contact. Nous pouvons expliquer maintenant l'action décomposante de la pile; mais comme les effets de chaleur doivent toujours être pris en considération dans l'explication des phénomènes électro-chimiques, nous devons rappeler d'abord, en raison de ses conséquences, une expérience intéressante de Davy (438), qui prouve que, dans les décompositions opérées avec la pile, la chaleur dégagée dépend moins du pouvoir conducteur de la solution que de l'énergie avec laquelle s'effectuent ces décompositions. Ce fait nous indique, conformément aux idées énoncées précédemment sur la chaleur, que plus l'action chimique est active, plus il y a d'électricité mise en liberté, et plus aussi il y a de fluide neutre de réformé et par conséquent de chaleur dégagée.

614. Avant de donner la théorie des décompositions électro-chimiques, nous croyons devoir présenter encore quelques considérations sur les causes d'où elles peuvent dépendre; ne perdons pas de vue d'abord que les particules acides sont entourées d'atmosphères d'électricité négative, qui exercent une action attractive et neutralisante sur les atmosphères d'électricité positive, propres aux particules alcalines. Cette

neutralisation, qui est analogue à celle que l'on observe dans deux corps mauvais conducteurs en contact, chargés d'électricité contraire, n'empêche pas que les particules, quand on les sépare, ne reprennent, les unes et les autres, aux milieux environnants, les électricités contraires, dont elles ont besoin pour recomposer l'électricité naturelle propre à chacune d'elles. D'un autre côté, les expériences de M. Nobili, sur les apparences électro-chimiques, nous apprennent que ces apparences se refoulent, comme si les anneaux dont elles sont formées étaient forcés de reculer les uns sur les autres. Or, nous savons par les expériences de M. Ampère, que les parties successives d'un même courant se repoussent, et comme les observations de M. Nobili nous montrent aussi que les éléments transportés par ce courant participent à la même répulsion, cet effet ne peut avoir lieu qu'autant que les éléments sont, en quelque sorte, combinés avec le courant. Nous avons déja dit que, dans la décomposition d'un sel, l'acide prenait l'électricité négative, et la base l'électricité positive; il résulte de là, qu'à l'instant où la particule acide est à l'état naissant, elle est éminemment négative, attendu qu'elle n'a pas encore repris aux corps environnants l'électricité positive qui lui est nécessaire pour reformer son fluide neutre et rentrer, par conséquent, dans l'état naturel. Si donc, lorsqu'elle a repris son état naturel, on la rend négative, elle se trouve dans la même position que si elle était à l'état naissant.

615. L'électricité positive en mouvement forme-t-elle un courant dirigé dans un sens, et l'électricité négative un courant dirigé en sens contraire, lesquels courants, en raison de la différence dans leur mode d'action, constituent un courant unique? On a prétendu qu'il ne pouvait pas en être ainsi, attendu qu'on n'a jamais pu encore isoler un courant de l'autre. Nous demanderons d'abord comment on a fait pour isoler ces deux courants, et s'il y a possibilité de reconnaître si un courant a été séparé de l'autre. Nous savons, d'un autre

côté, que l'électricité positive libre traverse plus facilement les milieux résistants que l'électricité négative; que l'électricité voltaïque en mouvement jouit de la même propriété : d'après cela, n'est-on pas en droit d'admettre que l'électricité positive en mouvement jouit de propriétés qui ne sont pas identiquement les mêmes avec celles qui sont propres à l'électricité négative également en mouvement. Cette considération a été négligée jusqu'ici par les physiciens qui ont essayé de rendre compte de l'action chimique de l'électricité.

L'expérience prouve, sauf très-peu d'exceptions, que toutes les fois qu'un courant suffisamment énergique traverse une solution, il opère la séparation de ses parties constituantes. Doit-on en conclure réciproquement que, si une solution ne transmet pas un courant, c'est qu'elle ne peut être décomposée par lui : cela a lieu en général, mais cette conclusion ne paraît pas vraie dans tous les cas; en effet, parmi les corps solides, il y en a qui sont conducteurs et ne sont pas décomposés, tels que les métaux, le charbon, etc.; et d'autres qui ne sont pas conducteurs et ne sont pas par conséquent décomposés, tels que le verre, le soufre, les résines, etc. L'électricité peut donc cheminer, dans les premiers, sans avoir besoin pour cela de transporter avec elle des éléments matériels : pourquoi n'en serait-il pas de même dans les corps liquides, dont la constitution est la même, sauf l'état d'agrégation qui n'est pas semblable. S'il y a presque toujours décomposition dans ces derniers, il peut se faire que cela tienne à ce que la force d'agrégation étant très-diminuée, les affinités entre les particules sont plus facilement vaincues. Nous ne prétendons pas que le principe de M. Faraday soit faux, mais nous ne pensons pas, en bonne logique, qu'il puisse être admis sans réserve.

616. Ces préliminaires posés, nous envisageons ainsi l'action décomposante de l'électricité. Considérons d'abord l'effet produit par l'action d'un seul couple, zinc et cuivre, sur l'eau pure acidulée ou alcaline, peu importe,

attendu que l'électricité produite est due uniquement à l'oxidation du zinc et à la décomposition de l'eau. Quand le zinc plonge dans cette eau, il réagit sur elle, de manière à opérer très-lentement sa décomposition, d'où résulte un dégagement d'électricité; l'oxigène, en se séparant de l'hydrogène pour se combiner avec le métal, emporte avec lui son atmosphère d'électricité négative; mais la particule zinc ayant besoin d'une atmosphère d'électricité positive pour constituer sa combinaison avec l'oxigène, chasse dans les corps environnants son électricité négative, qui est égale en intensité à celle de l'oxigène, laquelle se rend dans le cuivre aussitôt que le contact avec l'autre métal est établi, et débouche ensuite dans le liquide. Mais l'hydrogène à l'état naissant, se trouvant enveloppé d'électricité positive, est transporté par l'effet du courant jusqu'au cuivre, où il reprend l'électricité négative, dont il a besoin pour reformer son électricité naturelle. Sans le contact du cuivre, l'action est faible et lente, attendu que l'affinité de l'oxigène pour le zinc est contre-balancée par son action sur l'hydrogène; avec le contact, elle est au contraire énergique et rapide, parce que les deux forces électriques, qui servaient à maintenir la combinaison de l'oxigène avec l'hydrogène, devenant libres et agissant dans un sens opposé à celui de leur action primitive, sont employées à détruire cette même combinaison.

Passons au cas où le courant est produit par une pile voltaïque; l'explication de la décomposition ne présente non plus aucune difficulté, si nous admettons que ce courant est le résultat d'un mouvement ondulatoire imprimé au fluide que nous appelons électricité naturelle; en effet, aussitôt que l'électricité positive débouche dans la solution, elle doit imprimer également à l'électricité positive inter-moléculaire du composé une impulsion semblable à celle qui l'anime. Or l'électricité positive ne peut être déplacée qu'autant qu'elle emporte avec elle les molécules d'hydrogène dont elle constitue l'atmosphère. Ces molécules seront donc forcées de voyager du pôle po-

sitif au pôle négatif, ou elles seront arrêtées parce qu'elles ne pourront traverser la lame de métal comme l'électricité positive; de même l'électricité négative qui est en mouvement emporte avec elle les molécules d'oxigène qui sont transportées par le courant jusqu'à la lame positive, où elles deviennent libres. Bien entendu que les deux molécules d'hydrogène, en quittant la molécule d'oxigène, pour se rendre au pôle négatif, se combinent momentanément avec la molécule d'oxigène, qui est elle-même emportée vers le pôle positif par l'électricité négative; ainsi de suite.

Il résulte de ce mode d'actions une suite de décompositions et de recompositions chimiques de molécule à molécule jusqu'aux lames métalliques, où la décomposition devient définitive.

Aussi les portions de la solution qui sont contiguës aux lames décomposantes doivent-elles éprouver les premières les effets de la décomposition, comme l'a observé M. Delarive.

617. Toutes les considérations que nous venons de présenter montrent bien qu'il existe une identité complète entre les affinités et les forces électriques, en ce sens que l'électricité, qui est associée aux particules d'un composé chimique, maintient l'action des affinités et représente par conséquent la force qui tient unies ensemble les particules, de telle sorte que, pour vaincre ces affinités et séparer ces particules, il faut employer un courant électrique au moins égal à celui que produiraient les deux électricités qui leur sont associées, si elles devenaient libres. Nous n'en concluons pas pour cela la conséquence que la cause des affinités est purement électrique, attendu que tous les faits observés jusqu'à présent prouvent seulement que les forces électriques, qui concourent au maintien des combinaisons, se développent par l'action des affinités; c'est donc un effet qui devient la cause de la permanence du contact des particules. Voilà, en général, comme il faut envisager le rôle que joue l'électricité dans les actions chimiques.

Il résulte des rapports que nous venons d'établir entre les forces électriques et les affinités, que si l'on communique à deux éléments les états électriques qu'ils doivent avoir dans leur combinaison, la combinaison s'opère alors immédiatement, parce qu'ils se trouvent alors à l'état naissant : ce principe, qui est fécond en applications, comme nous le verrons dans le volume suivant, sert à expliquer un grand nombre de phénomènes naturels, à l'origine desquels on n'a pu remonter que depuis quelques années.

Nous voyons bien que lorsque deux corps réagissent chimiquement l'un sur l'autre, ils s'entourent d'atmosphères d'électricité contraire, qui sont indispensables au maintien de la combinaison; mais comment les affinités peuvent-elles produire un semblable phénomène? C'est ce que nous ignorons tous. Les faits manquent pour pénétrer ce mystère.

Les considérations générales que nous venons de présenter permettent de rattacher les phénomènes chimiques à quelques principes généraux qui en simplifient l'étude. Nous avons voulu donner, dans ce volume, les faits qui doivent servir de base à la nouvelle théorie électro-chimique, afin de pouvoir les appliquer ensuite à l'explication d'une foule de phénomènes naturels, dont l'origine paraît être électrique; c'est alors que l'on pourra juger du rôle important que joue l'électricité dans la nature, en la considérant d'abord comme effet et ensuite comme cause.

DES PILES

THERMO-ÉLECTRIQUES

ET

DE LEURS APPLICATIONS A LA PHYSIQUE GÉNÉRALE.

LIVRE VI.

CHAPITRE PREMIER.

DE LA CONSTRUCTION DES PILES THERMO-ÉLECTRIQUES.

618. Avant de continuer l'étude des phénomènes électro-chimiques, nous croyons convenable d'entretenir le lecteur des piles thermo-électriques et de leurs applications, afin de lui faire connaître des instruments précieux, dont on peut disposer pour une foule de recherches relatives non seulement à l'électricité, mais encore à la physique générale et dont nous aurons nous-mêmes besoin plus tard. Bien des tentatives ont été faites pour former des piles thermo-électriques, à l'instar de l'admirable instrument que nous devons au génie de Volta; mais elles n'ont pas été couronnées de succès comme celles de MM. Nobili et Melloni. Ces deux physiciens ont construit en commun une pile thermo-électrique, avec laquelle ils ont fait des expériences inté-

ressantes sur la chaleur rayonnante (1); mais nous nous bornerons à décrire le même appareil perfectionné par M. Melloni.

La pile dont M. Melloni fait usage se compose de cinquante petits barreaux de bismuth et d'antimoine placés parallèlement les uns à côté des autres et formant un seul faisceau prismatique FF′ (fig. 136), dont la longueur est de 30 millimètres et la section de 96 cent. carrés. Les deux faces terminales sont noircies. Les barreaux de bismuth, qui se succèdent alternativement avec ceux d'antimoine, sont soudés à leurs extrémités et séparés dans toute leur longueur par une substance isolante. Le premier et le dernier barreau portent chacun un fil de cuivre qui vient aboutir à l'une des chevilles *c c′*, de même métal, passant à travers un morceau d'ivoire fixé sur l'anneau A A′. L'intervalle compris entre la surface intérieure de cet anneau et les éléments de la pile est rempli de matière isolante. Les extrémités libres des deux fils sont mises en commuication avec les bouts du fil d'un multiplicateur, dont les mouvements de l'aiguille indique quand la température de la face antérieure de la pile s'élève ou s'abaisse, par rapport à celle de la face postérieure.

Au moyen d'une charnière convenablement placée, l'axe de la pile peut être placé sous différentes inclinaisons. Pour garantir les faces des rayonnements latéraux, on adapte sur les deux côtés de l'anneau les tubes de métal B, B′, brillants à l'extérieur et noircis intérieurement.

Le multiplicateur est représenté fig. 137; ABC est le châssis enveloppé par le fil de cuivre, dont les bouts aboutissent aux tubes métalliques F F′. Ce châssis est fixé sur un plateau horizontal D E, qui peut tourner, dans son plan et autour de son centre, au moyen d'une roue dentelée à pignon, placée en dessous et mise en

(1) 1er volume, page 245.

mouvement par le bouton G. H M N est le support du système astatique des deux aiguilles aimantées, suspendu à un fil de cocon V L. R S est le cylindre de verre qui enveloppe l'appareil et repose sur la base K I. La fig. 138 représente la coupe de cet appareil, suivant un plan qui passe par le soutien et l'un des tubes de communication.

Le cadran n'est point fendu en losange, sur le diamètre passant par le zéro de division, comme on le fait ordinairement; mais il est percé, à sa partie centrale, d'une petite ouverture circulaire et porte une fente assez étroite, qui le coupe en deux, depuis le centre jusqu'au bord postérieur. Cette disposition a l'avantage de faire juger si le fil de suspension se trouve sur l'axe. Les figures 137 et 138 indiquent suffisamment les divers accessoires de l'appareil pour que nous nous dispensions de donner de plus amples détails à cet égard.

Quand on veut transporter le multiplicateur, on commence par abaisser les aiguilles, jusqu'à ce que l'aiguille supérieure vienne se poser sur le cadran; puis, on dévisse l'écrou Q, on retire la cloche, et, après avoir mis sur une des moitiés de l'index un large ruban de soie, de manière que les deux bouts en ressortent par les bords du cercle métallique Y Z, on remet en place la cloche et l'écrou; alors le fil de cocon ne soutenant plus aucun poids, et les aiguilles étant presque immobiles par la pression du ruban, on peut faire parcourir à l'instrument de grandes distances, sans craindre de le déranger.

619. M. Nobili a remarqué le premier que les aiguilles aimantées des multiplicateurs les plus sensibles ont deux positions d'équilibre stable, situées à la même distance, de chaque côté du diamètre qui passe par le zéro du cadran; en sorte que l'index amené sur cette ligne s'y trouve nécessairement dans un état d'équilibre instable et tombe toujours dans l'une ou l'autre des deux positions primitives. M. Melloni est parvenu à obtenir un multiplicateur qui ne présente pas cet in-

convénient, c'est-à-dire dans lequel l'aiguille garde toujours le zéro.

Les deux positions d'équilibre, dont nous venons de parler, dérivent de l'action magnétique du fil de cuivre, dont les circonvolutions supérieures sont partagées en deux masses, afin de pouvoir introduire dans l'intérieur du châssis une des aiguilles aimantées. Or, il est facile de voir que ces deux centres d'attraction constituent un inconvénient très-grave. En effet, supposons un multiplicateur très-sensible, dans lequel la force magnétique du cuivre ne soit pas nulle.

On sait que le système à aiguilles compensatrices n'éprouve pas la même action aux différentes parties du cadran, le plus faible courant d'électricité qui circule dans le fil suffit pour lui faire parcourir les premiers degrés de l'échelle, tandis que le même courant est à peine capable de le mettre en mouvement, à une déviation préexistante de 50 ou 60 degrés. La partie la plus sensible de l'échelle est dans l'arc des 15 ou 20 premiers degrés. De plus, comme nous l'avons déja dit, l'expérience prouve que, dans toute l'étendue de cet arc, les forces de déviation sont sensiblement proportionnelles au degré, lorsque le fil est uniformément distribué sur le châssis et qu'il occupe, comme dans nos multiplicateurs, toute la largeur de la corde qui s'étend à 34 ou 35 degrés de chaque côté du zéro. Maintenant, en faisant intervenir l'action magnétique du cuivre, si l'index est placé au zéro, il tombera dans l'une ou l'autre des deux positions d'équilibre stable, qui se trouvent à 4, 6, 7 et quelquefois jusqu'à 10 degrés. Mais pour l'écarter davantage, ou le ramener vers le zéro, il faut nécessairement vaincre la résultante la plus rapprochée des attractions émanées du cuivre; cette force diminuant des deux côtés, à mesure que la distance à la position d'équilibre augmente contrarie donc la série naturelle des forces motrices; car, si les deux centres d'attraction sont placés à 5 degrés, par exemple, l'effort nécessaire pour faire passer l'in-

dex de 5 degrés à 6 degrés, ou de 5 degrés à 4 degrés, sera plus grand que celui qu'il faudra employer pour le pousser de 6 degrés à 7 degrés, ou de 4 degrés à 3 degrés. Ainsi l'action magnétique du cuivre diminue non-seulement la sensibilité du multiplicateur, mais elle altère la proportionnalité qui aurait lieu naturellement entre les degrés et les forces de déviation dans les arcs rapprochés du zéro. Or, lorsque cette proportionnalité n'a pas lieu, il est impossible d'appliquer les méthodes connues pour déterminer les forces correspondantes à chaque degré du multiplicateur; il en résulte qu'alors l'instrument, au lieu de mesurer l'intensité des courants électriques, n'indique plus que leur différence. Nous avons dit que les deux positions d'équilibre stable, autour du zéro, varient dans les différents multiplicateurs; nous ajouterons qu'elles varient aussi en ajustant successivement le même système astatique sur ces divers instruments. Ce magnétisme du cuivre, qui réagit dans cette circonstance sur les aiguilles, est dû en partie au fer que renferme ce métal.

M. Melloni a reconnu que les meilleurs cuivres faisaient toujours dévier les systèmes astatiques de plusieurs degrés. Des fils d'argent furent essayés aussi par lui, et divers essais lui montrèrent que ces fils étaient plus magnétiques que ceux de cuivre. M. Gourjon (1), qui s'est associé à M. Melloni pour la construction des appareils que nous décrivons ici, est parvenu cependant à se procurer une masse de cuivre, qui, façonnée en fils, lui a permis de construire des multiplicateurs dont l'aiguille garde le zéro.

Les mêmes difficultés que l'on éprouve ordinairement pour le fil de cuivre se présentent aussi dans la cons-

---

(1) On trouve, chez M. Gourjon, à Paris, tous les appareils dont nous donnons ici la description, ainsi que la plupart de ceux avec lesquels on peut répéter nos expériences, et qui sont exécutés avec une grande précision.

truction du châssis, du plateau tournant et de la plaque métallique qui porte le cercle divisé. M. Gourjon, pour les vaincre, a été obligé de faire préparer du laiton très-pur. Pour terminer ce que nous avons à dire sur la construction du thermo-multiplicateur, nous ajouterons que les aiguilles ont 53 millimètres de longueur; que le fil de cuivre a un diamètre de $0^{mm},76$; qu'il est doublement couvert de soie, et qu'il fait 150 circonvolutions autour du châssis. Le châssis a 6 millimètres de hauteur, sur une longueur un peu plus grande que celle des aiguilles.

CHAPITRE II.

§ Ier. *Emploi de la pile thermo-électrique, pour la détermination des propriétés de la chaleur rayonnante qui traverse les corps.*

620. Nous avons déja dit que MM. Nobili et Melloni s'étaient servis avec avantage d'une pile thermo-électrique pour déterminer la chaleur propre aux insectes, celle qui est produite dans la combustion lente du phosphore, etc. (1). Ce même instrument est devenu entre les mains de M. Melloni la source de découvertes importantes, relatives à l'action de certains corps cristallisés sur la chaleur obscure. Nous en parlerons d'abord, en suivant la marche qu'il nous a indiquée lui-même, avant de donner un aperçu des travaux qu'il a exécutés en commun avec M. Nobili.

M. Melloni emploie dans ses expériences des sources calorifiques de diverses natures, des écrans et des soutiens.

Les sources de chaleur à température constante que l'on emploie dans les expériences sont fournies par la flamme de deux lampes, l'une dite de Locatelli (fig. 139),

(1) Tome Ier, page 145.

l'autre à alcool (fig. 140). Cette dernière donne deux sources différentes, au moyen d'une spirale en platine et d'une plaque de cuivre noircie portées par des tiges soudées (fig. 141), que l'on fait entrer dans un tube placé latéralement sur le support S (fig. 142). Alors la spirale enveloppe la flamme, et la plaque la couvre à la partie antérieure seulement (fig. 143). Dans le premier cas, on a une source incandescente sans flamme; dans le deuxième, on a une source de chaleur obscure, dont la température moyenne est d'environ 400° centigrades.

Les écrans diathermaux sont des morceaux ou des lames de différents corps naturels ou artificiels, polies sur les deux grandes faces parallèles, qui ont une largeur un peu plus forte que celle de l'ouverture de l'écran E′ (fig. 142). On les pose tout simplement sur la plaque horizontale S, au-devant de l'ouverture O, lorsqu'ils sont assez épais pour se soutenir d'eux-mêmes; autrement, avant de les placer ainsi, on les fixe par leur bord inférieur dans une entaille pratiquée sur une plaque de liége, inférieurement garnie de plomb pour les empêcher de tomber (fig. 144).

Quant aux écrans E, E″, ils consistent en un système de lames métalliques parallèles, parfaitement polies, portant à leur partie supérieure un bouton en ivoire, et à la partie inférieure une charnière, au moyen de laquelle on les abaisse dans un plan vertical, perpendiculaire à celui qui passe par la rainure R, R′. L'un d'eux E″ sert à intercepter ou à établir la communication calorifique entre la source et la face antérieure de la pile; l'autre est principalement destiné à abriter la seconde face de la pile, des rayonnements extérieurs, lorsque son tube est ouvert; ce que l'on doit pratiquer dans presque toutes les expériences, afin que l'air ambiant soit en contact libre avec les deux parties actives de la pile, et puisse leur faire partager à chaque instant sa propre température.

621. Étudions la marche du thermo-multiplicateur,

quand on l'expose à un rayonnement calorifique constant; supposons l'appareil monté comme dans la figure 142. Si l'on ôte les corps placés sur le support S et que l'on abaisse l'écran E'', les rayons calorifiques de la source passent par l'ouverture O et tombent sur la face antérieure de la pile. En regardant l'index du multiplicateur, on le voit aussitôt sortir de sa position d'équilibre et décrire un arc de 7 ou 8 degrés; puis rétrograder de quelques degrés, revenir vers sa direction primitive, et, après quelques oscillations de plus en plus lentes, se fixer enfin à une déviation un peu moindre que celle qu'il avait éprouvée d'abord.

M. Melloni a trouvé que pour des impulsions dans son appareil de 10°, 20°, 30°, 40°, 50°, l'index a pris à très-peu près les déviations fixes de 10°, 19°, 28°, 36°, 43°.

Un certain nombre d'observations suffisent pour construire par interpolation une table, au moyen de laquelle on détermine les déviations définitives, correspondantes aux arcs d'impulsion. Cette table est importante et abrège beaucoup le temps des observations.

Les déviations correspondantes à deux rayonnements calorifiques divers étant données, pour avoir le rapport d'intensité de ces deux rayonnements il faut reconnaître les relations existantes entre les degrés du galvanomètre et les forces de déviations dans tous les points du tableau. Nous avons déja décrit les méthodes (1) pour faire cette détermination; ainsi nous n'y reviendrons pas.

Dans les expériences que nous allons rapporter, il suffira de comparer immédiatement les arcs, pour avoir le rapport d'intensité.

Pour déterminer les intensités relatives des rayonnements calorifiques provenant de deux sources différentes, il suffit de placer successivement les deux sources de chaleur sur le plateau S, et d'observer l'action

(1) Tome Ier, p. 31.

qu'elles produisent sur le thermo-multiplicateur, lorsque l'on abaisse l'écran E″. Les expériences de transmission peuvent se faire sur des rayonnements plus ou moins forts; mais le plus convenable est celui qui maintient l'aiguille à 30°. On place, en conséquence, la lampe de Locatelli à la distance convenable pour obtenir cette déviation, en ayant soin que le support S et l'écran percé E′ se trouvent à 10 ou 15 centimètres de la pile. Si l'on place alors au-devant de l'ouverture O une plaque de verre ou de toute autre substance diaphane, l'index du multiplicateur descend vers le zéro et se fixe à une seconde position d'équilibre; supposons-la de 16 degrés. Cette déviation de 16 degrés n'est pas produite par l'échauffement du verre, mais bien par des rayons de chaleur qui le traversent immédiatement. Pour le prouver, on relève l'écran E″, et on substitue à la plaque de verre une seconde plaque de même substance et de même épaisseur, noircie sur l'une de ses faces à l'encre de Chine; puis on abaisse de nouveau l'écran E″; l'aiguille ne change pas de position, quelle que soit la durée de l'expérience.

Comme parmi les écrans diaphanes il y en a de plus minces et de meilleurs conducteurs que la plaque de verre, et que l'on pourrait attribuer une partie de la déviation produite à l'une ou à l'autre de ces deux circonstances, on prend une lame de cuivre noircie et un petit carré de papier que l'on met successivement à la place du verre. On trouve que l'index conserve toujours sa position naturelle d'équilibre, malgré l'excellente conductibilité du premier écran.

On pourrait dire que l'effet produit dans le cas de la plaque diaphane est produit par de la chaleur apportée, instantanément, par les rayons lumineux sur tous les points de la masse; mais pour détruire cette objection, il n'y a qu'à relever l'écran E″, retirer les plaques diaphanes, et les exposer latéralement, et à la même distance de S, au rayonnement de la source, puis les remettre sur le soutien, en laissant toujours inter-

quand on l'expose à un rayo
supposons l'appareil mon
Si l'on ôte les corps plac
abaisse l'écran E'', les r
passent par l'ouverture
rieure de la pile. L'
teur, on le voit aussi
et décrire un arc de
de quelques degrés,
et, après quelques
se fixer enfin à u
qu'il avait éprou

M. Melloni a
son appareil de
à très peu pr
36°, 43°.

Un certa
construire
laquelle on
pendantes
tante et

Les

qu'elles produisent sur le [illegible]. Nous voyons par là que la l'on abaisse l'écran E'. La pour la chaleur rayonnante peuvent se faire sur des [illegible]ransparence proprement dite. forts; mais le plus com[illegible]*athermanes* les substances qui l'aiguille à 30°. On plac[illegible] de chaleur, et celles qui les in- Locatelli à la distance [illegible]. Si l'on sépare maintenant le déviation, en ayant [illegible] le verre vert accouplés aux lames percé E' se trouvent [illegible]lun, on trouve que chacun d'eux, Si l'on place alors au[illegible]onnement de la lampe, donne une de verre ou de tout [illegible] 8 degrés.

du multiplicateur [illegible] montre 1° *que certains corps* seconde position [illegible] *quoique parfaitement opaques;* grés. Cette déviati[illegible]verts de l'espèce que nous venons d'in- par l'échauffem[illegible]oint athermanes par eux-mêmes, mais de chaleur qui [illegible]couplés à l'alun, qui est lui-même un prouver, on rel[illegible]

que de verre [illegible] observé que les rayons de chaleur qui de même épais[illegible] citrique se transmettent par l'alun, en cre de Chine [illegible]coup plus grande que les rayons di- l'aiguille ne [illegible]urce. En variant la nature des plaques, durée de l'[illegible] à ce principe, *que la chaleur rayon-*

Comme p[illegible]*traversant une lame diaphane, subit une* minces et [illegible]*modification qui la rend plus ou moins* verre, et [illegible]*l'être transmise par telle ou telle autre* déviation [illegible]*transparente.*

constanc[illegible] Melloni, pour expliquer ces faits, suppose que petit [illegible] contient plusieurs espèces de rayons calo- place de [illegible] et que les substances diaphanes les plus inco- sa po[illegible]les que l'alun et l'acide citrique, possèdent une conde[illegible] colorisation calorifique, en vertu de laquelle

On [illegible]rceptent cert[illegible]s rayons et en transmettent la plu[illegible]

[illegible] couleurs prop[illegible]lites ne paraissent avoir [illegible] rayons de chaleur; elles [illegible]ansmission du calorique [illegible] matières brunes sur la

[illegible] plaques d'alun, de sel

Pages

§ II. Opinion de M. Faraday sur l'électricité produite dans les actions chimiques et sur les effets du contact métallique..... 38[illegible]
§ III. De l'intensité du courant nécessaire pour opérer la décomposition électro-chimique ou l'électrolisation . 39[illegible]
§ IV. De l'intensité du courant..... 39[illegible]
§ V. Considérations générales sur les décompositions électro-chimiques..... 39[illegible]

CHAPITRE V.

THÉORIE ÉLECTRO-CHIMIQUE DE L'AUTEUR..... 40[illegible]

LIVRE VI.

DES PILES THERMO-ÉLECTRIQUES ET DE LEURS APPLICATIONS A LA PHYSIQUE GÉNÉRALE.

CHAPITRE PREMIER.

DE LA CONSTRUCTION DES PILES THERMO-ÉLECTRIQUES..... 424

CHAPITRE II.

§ I. Emploi de la pile thermo-électrique pour la détermination des propriétés de la chaleur rayonnante qui traverse les corps..... 431
§ II. Du rayonnement vers les objets éloignés et les espaces célestes..... 438

FIN DE LA TABLE.

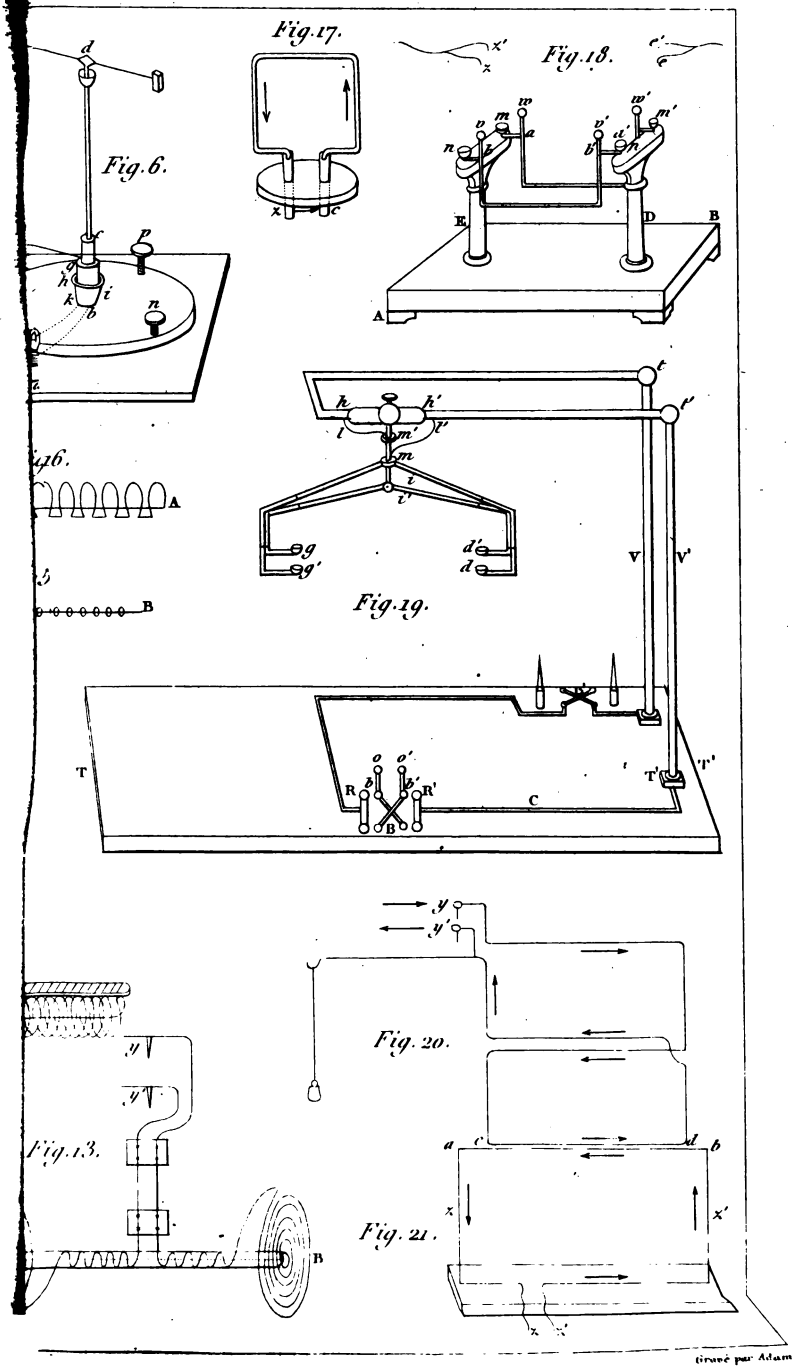
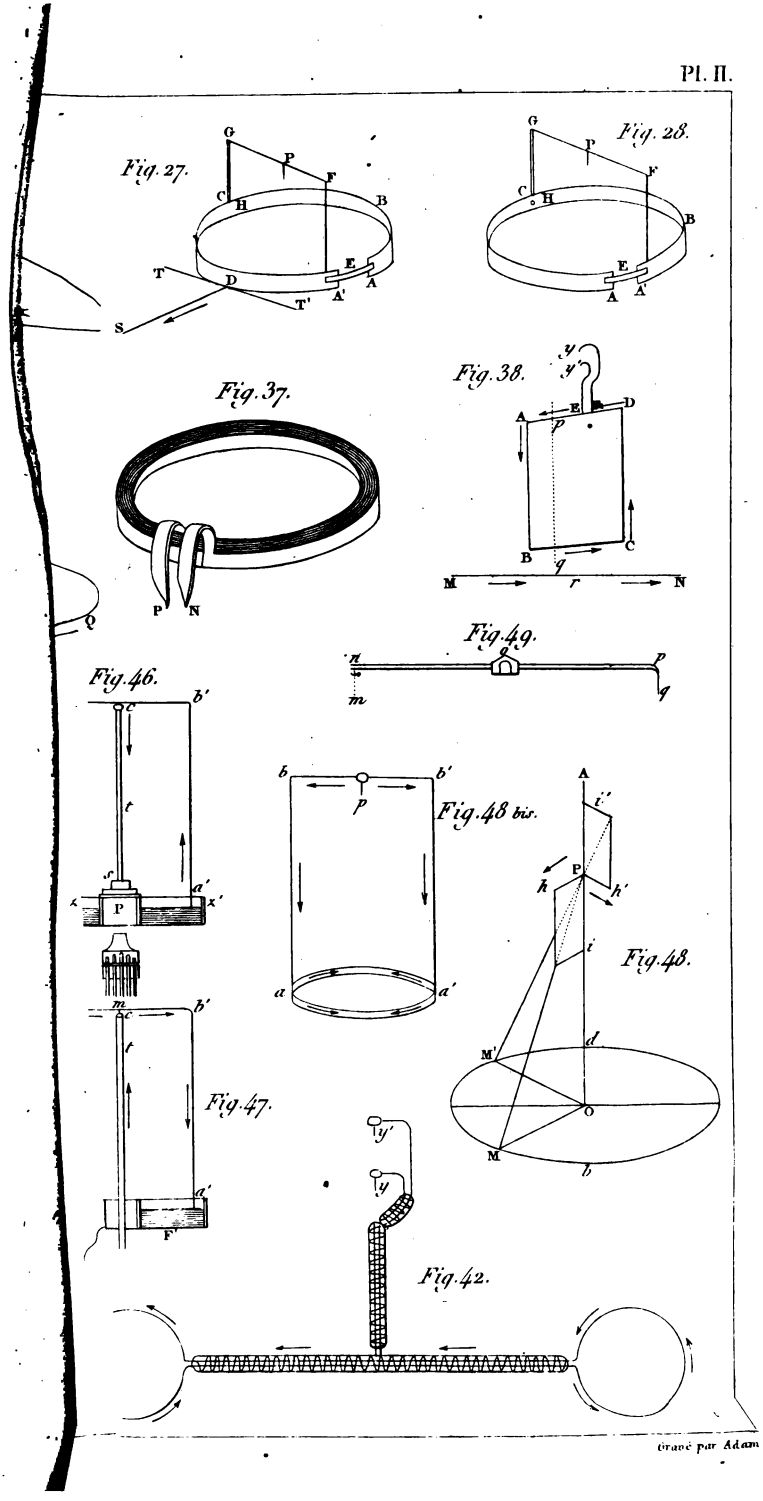
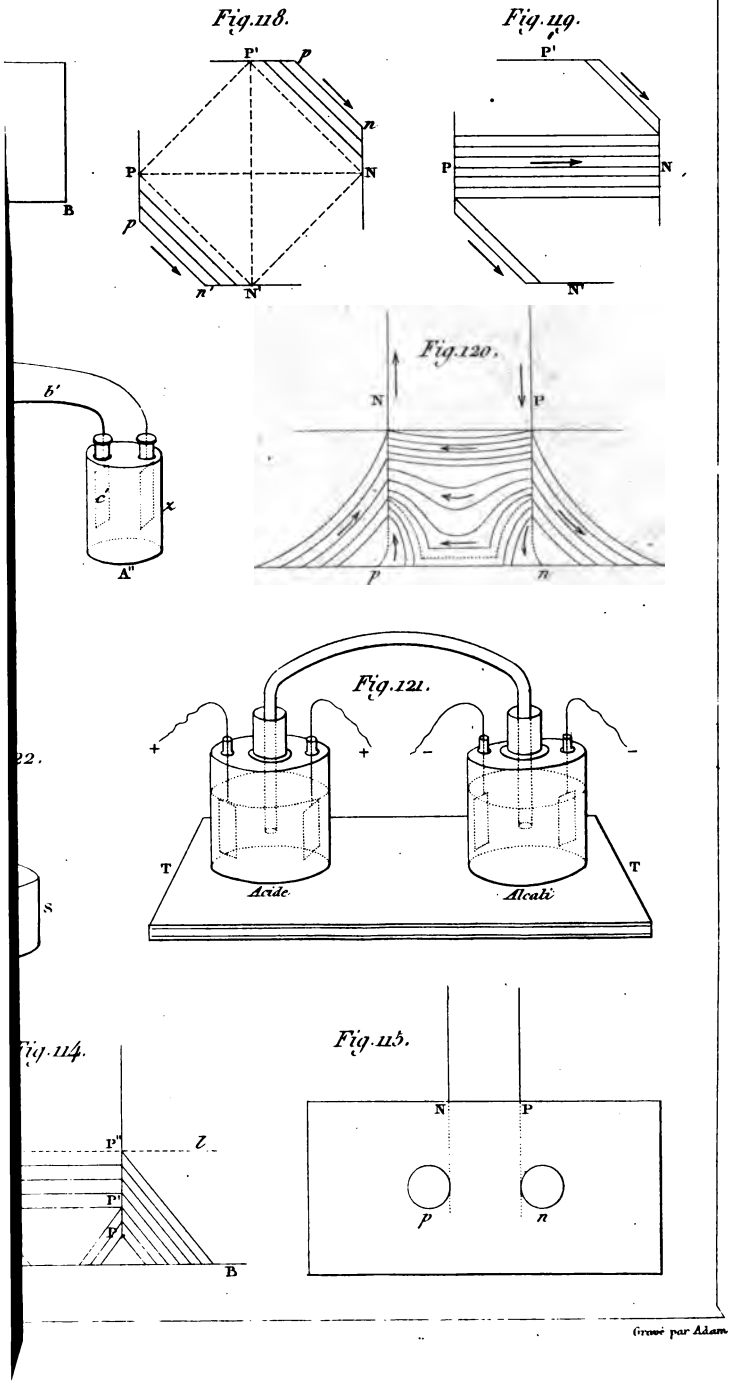


Fig. 17.
Fig. 18.
Fig. 6.
Fig. 16.
Fig. 19.
Fig. 20.
Fig. 13.
Fig. 21.
Gravé par Adam



Gravé par Adam



Gravé par Adam.

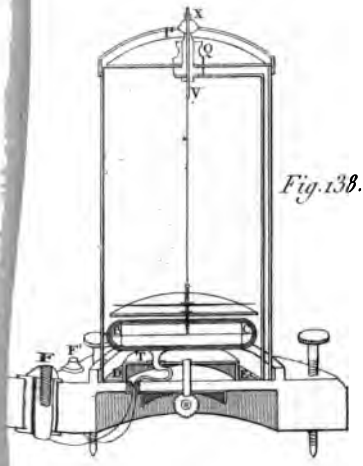


Fig. 138.

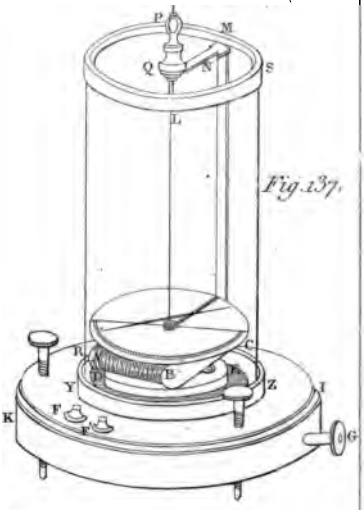


Fig. 137.

Fig. 141.

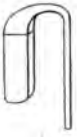


Fig. 143.

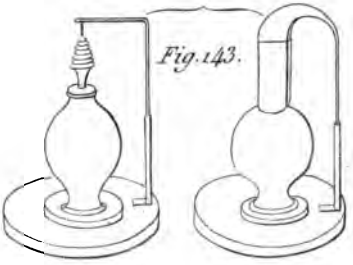
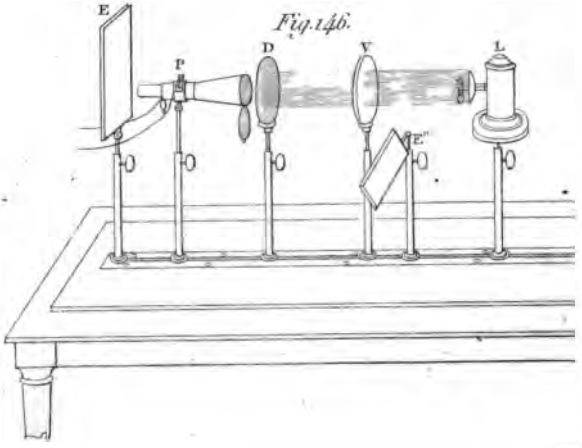


Fig. 146.



Gravé par Adam.