







BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ VAUDOISE

DES

SCIENCES NATURELLES

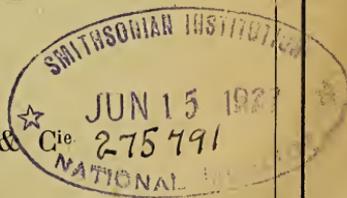
Publié sous la direction du Comité, par Dr FRÉDÉRIC JACCARD, prof.

Pl. I-II. — Prix : 10 francs.

Contenu :	Pages
L.-H. QMARLES VON UFFORD et M. YAZIDJIAN. — Du climat photochimique du Mexique	1
CH. MEYLAN. — La flore bryologique des blocs erratiques du Jura	49
H. BLANC. — Le Musée géologique de Lausanne	71
PAUL DUTOIT et MARCEL DUBOUX. — L'analyse physico-chimique des vins	125
P.-L. MERCANTON. — Rapport sur la marche de la Société pendant l'année 1911	285
Situation au 31 décembre 1911	289
PROCÈS-VERBAUX du 18 octobre 1911 au 20 décembre 1911.	

Les procès-verbaux insérés dans ce bulletin doivent être réunis à ceux du vol. XLVII.

LAUSANNE
LIBRAIRIE F. ROUGE & C^{ie}
LIBRAIRIE DE L'UNIVERSITÉ
RUE HALDIMAND



COMITÉ POUR 1912

<i>Président :</i>	MM. D ^r E. WILCZEK, professeur,	Lausanne.
<i>Vice-Président :</i>	D ^r P.-L. MERCANTON, professeur,	Lausanne.
<i>Membres :</i>	FÉLIX, directeur, Bellevaux,	Lausanne.
	D ^r LINDER, professeur,	Lausanne.
	BÜHRER, pharmacien.	Clarens.
<i>Secrétaire, Editeur du Bulletin :</i>	Frédéric JACCARD, D ^r -prof., Chalet Sans-Souci,	Pully.
<i>Archiviste-Biblioth.</i>	LADOR, Palais de Rumine,	Lausanne.
<i>Caissier :</i>	A. RAVESSOUD, Banque Chavannes & C ^{ie} ,	Lausanne.
<i>Vérificateurs :</i>	MM. J. PERRIRAZ, D ^r -prof.,	Vevey
	PORCHET, D ^r -prof., Ecole de Chimie,	Lausanne.
	E. DELESSERT-DE MOLLINS,	Lutry.

AVIS

I. Les personnes qui désirent publier des travaux dans le Bulletin sont priées de tenir compte des observations suivantes :

1° Tout manuscrit doit être adressé, **en copie lisible**, à l'*éditeur du Bulletin* et ceci **avant le 1^{er} février** pour l'insertion dans le Bulletin de mars, **avant le 1^{er} mai** pour le Bulletin de juin, **avant le 1^{er} août** pour celui de septembre, **avant le 1^{er} novembre** pour celui de décembre. **Passées ces dates, les travaux seront insérés dans le Bulletin suivant.** Le manuscrit doit contenir l'*adresse de l'auteur*, l'*indication du nombre d'exemplaires* qu'il désire comme *tirage à part*, et celle du nombre de planches ou tableaux hors texte qui accompagnent le mémoire. Les *épreuves en retour doivent également être retournées à l'éditeur.*

2° Il ne sera fait de tirage à part d'un travail que sur la demande expresse de l'auteur.

3° Les tirages d'auteurs sont remis après le tirage pour le Bulletin, sans nouvelle mise en pages et avec la même pagination, après enlèvement du texte qui précède et du texte qui suit.

Tous les changements demandés pour des tirages à part sont à la charge des auteurs.

Pour la rectification des adresses qui ne seraient pas exactes, on est prié de s'adresser au secrétaire de la Soc. Vaud. des Sc. Nat., Chalet Sans-Souci, Pully.

Etude du climat photochimique du Mexique

PAR

L.-H. QUARLES VAN UFFORD, Dr phil.

ET

M. YAZIDJIAN, ingénieur.

Au cours de l'hiver et du printemps 1910-1911 les auteurs ont eu l'occasion de faire au Mexique une série de mesures photochimiques et hygrométriques.

L'énumération et la discussion de ces mesures font l'objet de la présente communication.

Les mesures photochimiques ont été faites selon la méthode décrite par M. Wiesner dans *Der Lichtgenuss der Pflanzen*, et que lui-même et plusieurs autres physiciens et botanistes ont appliquée dans les dernières années¹.

¹ C. Rübel. (I) Untersuchungen über das photochemische Klima des Bernina-hospizes. Zürich 1908.

(II) Beiträge zur Kenntnis des photochemischen Klimas der Canaren und des Oceans. Zürich, 1909.

(III) Beiträge zur Kenntnis des photochemischen Klimas von Algerien. Zürich, 1910.

P.-F. Schwab. Ueber das photochemische Klima von Kremsmünster. Denkschr. d. k. Akad. d. Wissenschaften. Bd. 74 (1904).

J. Wiesner (I). Untersuchungen über das photochemische Klima von Wien, Kairo und Buitenzorg (Java). Denkschr. d. k. Akademie der Wissenschaften Wien. Bd. 44 (1906).

(II) Unters. ü. d. ph. Kl. im arktischen Gebiet (Bd. 67) 1898.

(III) Unters. ü. d. ph. Kl. im Yellowstone Gebiet. Bd. 80 (1906).

(IV) *Der Lichtgenuss der Pflanzen*, Leipzig, 1907.

La liste complète de la littérature se trouve dans Rübel (I) et chez Wiesner (IV).

En résumé la méthode se réduit à ceci : on détermine à l'aide d'un chronomètre, le temps qu'il faut pour qu'un échantillon de papier photographique, exposé à la lumière, prenne une teinte déterminée. Afin que les mesures faites à différentes stations et à différentes époques soient comparables entre elles, il fallait avoir un papier photographique d'une sensibilité bien déterminée et une teinte bien définie acceptée universellement.

M. Wiesner, de Vienne, a proposé l'un et l'autre ; mais, comme il est très difficile de préparer la couleur déterminée, on fait mieux de se servir d'un papier photographique plus ou moins quelconque et d'une couleur à atteindre également quelconque, puis de déterminer le facteur de réduction par comparaison avec les étalons de M. Wiesner.

M. le D^r Rübel, de Zurich, a déterminé ce facteur pour les papiers dont nous nous sommes servis au Mexique ; nous le remercions cordialement pour ce travail.

Pour nos mesures nous avons employé le photomètre de Wynne (Wynne's infallible exposure meter), bien connu des photographes. Les mesures ont été faites en tenant l'appareil horizontal. Une mesure de la *lumière totale* est obtenue en exposant le photomètre en pleine lumière et en notant le nombre de secondes écoulées, jusqu'à ce que la teinte la plus sombre, marquée sur le cadran, est atteinte.

Nous mesurons la *lumière diffuse* en protégeant l'appareil contre la lumière directe du soleil.

La différence entre ces deux valeurs nous donne une mesure de la *lumière directe*.

L'intensité de la lumière étant inversement proportionnelle au temps nécessaire pour noircir le papier, et vu l'avantage qu'il y a à obtenir des nombres plus grands, nous divisons chaque fois 1000 par le nombre de secondes trouvé¹.

¹ Après avoir multiplié ce nombre par le facteur de réduction.

Nous indiquons dans ces unités par I_t la lumière totale, par I_d la lumière diffuse et par I_s la lumière directe. Comme nous venons de le voir $I_t = I_d + I_s$.

Pour obtenir rapidement une vue d'ensemble, nous commençons par donner les résumés des mesures en ajoutant quelques considérations. A la page 23 suit le *tableau général*, donnant chronologiquement les résultats de toutes les mesures ; d'abord celles faites pendant la traversée de l'Atlantique, puis celles du Mexique et enfin une série obtenue au Grand Canyon du Colorado dans l'Arizona.

Pour indiquer l'état du ciel et la visibilité du soleil, nous utilisons les signes suivants :

Pour le soleil : S_1 à S_0 (soleil entièrement caché).

Pour le ciel : C_0 à C_{10} (ciel entièrement couvert).

Pour chaque mesure nous indiquons l'heure locale à laquelle elle a été faite et la hauteur correspondante du soleil ¹.

Nous indiquons encore l'altitude de la station et quelques remarques (humidité relative, état du ciel, etc.).

RÉSUMÉS ET DISCUSSIONS.

Comme nous l'avons dit, les trois signes I_t , I_d , I_s indiquent respectivement la lumière totale, la lumière diffuse et la lumière directe. $I_t = I_d + I_s$.

Dans certains cas où le soleil est complètement caché, la lumière totale est égale à la lumière diffuse et $I_s = 0$; nous indiquons à part la moyenne de la lumière totale tirée de ces valeurs et nous lui donnons le signe de I_t .

Les chiffres entre parenthèses font connaître le nombre d'observations qui ont servi à donner les moyennes.

La hauteur à laquelle se trouvait le soleil pendant l'observation ayant une influence considérable sur l'intensité

¹ L'heure locale, ainsi que la latitude du lieu d'observation, n'étant souvent connue qu'approximativement il en sera forcément de même pour la hauteur correspondante du soleil.

de lumière, nous divisons les observations en groupes, selon que le soleil avait une hauteur de 0° à 10° , de 10° à 20° , de 20° à 30° , etc.

Dans les tableaux nous trouvons encore la proportion $\frac{I_s}{I_d}$ indiquant par là l'intensité de la lumière directe comparée à la lumière diffuse.

Comme M. Rübel ¹, nous calculons la valeur de I_s pour $I_d = 100$.

Enfin, nous indiquons les maxima et minima des trois intensités de lumière et les moyennes des mesures d'humidité relative ².

Océan Atlantique (Boulogne-New-York).

Latitude N. 50° — 41° . 27 novembre au 5 décembre 1910.

Hauteurs du soleil	0— 10°	10— 20°	20— 30°	30— 40°
Moyennes des intensités de lumière				
I_t	208.4 (7)	421.8 (14)	493.4 (8)	
I_d	153 (7)	276 (14)	358.7 (8)	
I_s	57.3 (7)	145.9 (14)	134.6 (8)	
I_t'	70 (14)	277.2 (12)	302.6 (5)	
$I_d : I_s$	100 : 37	100 : 53	100 : 37.4	
Maxima des intensités de lumière				
I_t	385	840	750	
I_d	209	408	528	
I_s	180	432	331	
Minima des intensités de lumière				
I_t	10	79	118	
I_d	10	79	118	
I_s	0	0	0	
Moyennes des % d'humidité relative				
	80.7	83.7		

La lumière directe a atteint deux fois la même intensité

¹ E. Rübel. Untersuchungen über das photochemische Klima des Berninahospizes. Zürich, 1908.

² Nous nous sommes servis de l'instrument de Negretti et Zambra (Thermomètres à bulbes humides et sèches).

que la lumière diffuse ; la moyenne de la hauteur du soleil était de 18° .

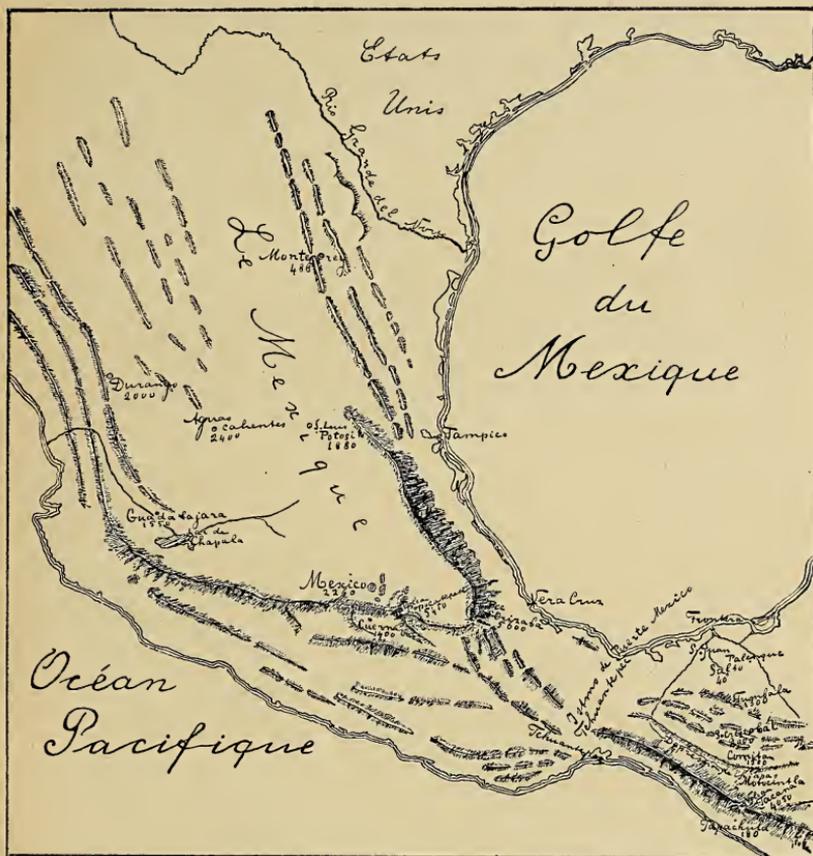


Fig. 1.

MEXIQUE.

A notre arrivée au Mexique (voir la carte ci-jointe, fig. 1), le 13 décembre, la saison des pluies n'était pas encore finie. Les vents du nord, attirés par la plus haute température du Mexique et du Golfe par rapport aux Etats-Unis, apportaient de temps en temps de fortes pluies et entouraient de

brouillards les sommets des montagnes à partir de 900 mètres d'altitude.

C'est à Monterey (Etat de Nuevo Leon) que nous passâmes quelques jours sous ce régime.

Monterey est situé à 486 mètres d'altitude dans une des vallées de la Sierra Madre orientale. Sa faible altitude et le voisinage immédiat de chaînes de montagnes élevées lui donne un climat bien différent de celui du haut plateau mexicain. Il tombe par an 325 cm. de pluie contre 62 à Mexico.

Le peu de lumière que nos mesures indiquent pour Monterey doit être mis en grande partie sur le compte du temps peu favorable.

Monterey, lat. N. 25°34', long. 102°40' (O. de Paris).

Altitude 486 mètres.

Haut. du soleil	0—10°	10—20°	20—30°	30—40°	40—50°
Moyennes des intens. de lum.					
I_t				579 (4)	582 (3)
I_d				387.5 (4)	389.7 (3)
I_s				191.7 (4)	192.7 (3)
I_t'	41 (1)	90.7 (4)	180 (4)	193 (6)	124 (1)
$I_d : I_s$				100 : 49	100 : 48
Maxima des intens. de lum.					
I_t		170	238	840	840
I_d				570	570
I_s				270	270
Minima des intens. de lum.					
I_t		54	114	136	124
I_d				136	124
I_s				0	0
Moyennes des % d'hum. relative			72.5	74	

Sur le haut plateau du Mexique la période sèche régnait déjà depuis quelques semaines.

L'altitude considérable de la capitale (2260 m.) et la sécheresse de l'air impliquaient des variations importantes de température pendant les 24 heures.

ÉTUDE DU CLIMAT PHOTOCHEMIQUE DU MEXIQUE

L'écart entre le maximum et le minimum atteignait jusqu'à 30 degrés centigrades. Les mesures de lumière nous donnent des valeurs élevées, quoique ni le maximum d'intensité de lumière mesuré au Mexique, ni le maximum du rapport $\frac{I_s}{I_d}$ n'aient été trouvés ici.

Mexico, lat. N. 19°26' long. 101°28' (Ouest de Paris).

Altitude 2260 mètres.

Série décembre-janvier.

Haut. du soleil	0—10°	10—20°	20—30°	30—40°	40—50°
Moyennes des intens. de lum.					
I_t	156.5 (10)	344.5 (17)	532.3 (18)	706.9 (29)	814 (49)
I_d	86.5 (10)	157 (17)	247.4 (18)	297.1 (29)	333.4 (49)
I_s	70. (10)	187.6 (17)	284.3 (18)	409.8 (29)	480.2 (49)
I_v	59.2 (8)	246 (4)	288 (2)	308.5 (2)	477 (1)
$I_d : I_s$	100 : 81	100 : 119	100 : 115	100 : 138	100 : 144
Maxima des ens. de lum.					
I_t	376	750	892	1020	1190
I_d	154	348	460	460	595
I_s	222	402	437	633	775
Minima des intens. de lum.					
I_t	17	81	191	220	407
I_d	17	63	124	151	168
I_s	0	0	0	0	0
Moyennes des % d'hum. relative					
	30.7	58.6	41.2		34.2

La valeur $I_d = I_s$ est atteinte à une hauteur de soleil à partir de 6°45' ;

$2 I_d = I_s$ à une hauteur moyenne de 31°.

Mexico. Série d'avril 1911.

Haut. du soleil	0—10°	10—20°	20—30°	30—40°	40—50°	50—
Moyennes des intens. de lum.						
I_t	27 (4)	203.5 (4)	357 (2)	296.3 (10)	489 (16)	762.9 (44)
I_d	19 (1)	101.5 (4)	137 (2)	132.3 (10)	168 (16)	206 (44)
I_s	8 (1)	102 (4)	221 (2)	164 (10)	321 (16)	536.9 (44)
I_v	25.5 (2)	97.7 (4)		147.5 (2)	182 (2)	555 (3)
$I_d : I_s$	100 : 42	100 : 105	100 : 164	100 : 124	100 : 191	100 : 270

Maxima des intens. de lum.						
I_t	238	477	625	775	1060	
I_d	133	168	260	238	340	
I_s	146	309	470	576	817	
Minima des intens. de lum.						
I_t	73	238	137	52	95	
I_d	73	106	58	52	95	
I_s	0	132	0	0	0	
Moyennes des % d'hum. relative						
	36.1	42	42.7	41.6	31	33.8

Nous trouvons $I_s = 2 I_d$ à une hauteur moyenne du soleil de $35^{\circ}30'$.

$I_s = 3 I_d$ à une hauteur de 53° et

$I_s = 4 I_d$ à une hauteur de $71^{\circ}40'$.

Les mesures que nous venons de résumer, faites au mois d'avril, montrent des valeurs d'intensités de lumière beaucoup plus faibles que celles faites en décembre et janvier. La raison se trouve être, qu'en avril la période sèche avait déjà duré quatre mois, pendant lesquels l'air s'était chargé de poussière et opérait comme un écran en arrêtant une forte proportion de lumière.

Outre cette différence nous voyons, en résumant séparément les valeurs d'intensité de lumière du matin et de l'après-midi, qu'en décembre-janvier la lumière, et notamment la proportion $\frac{I_s}{I_d}$ est plus forte, à même hauteur du soleil, le matin que l'après-midi, tandis qu'au mois d'avril c'est l'inverse : le facteur $\frac{I_s}{I_d}$ est plus petit l'après-midi que le matin.

		Matin.	Soir.
Décembre } Janvier	$I_d : I_s$	100 : 116	100 : 132
	$I_d : I_s$	100 : 179	100 : 145

Ces chiffres traduisent l'impression générale, qu'en décembre-janvier les *matins* sont souvent brumeux, tandis que pendant l'*après-midi* l'atmosphère est d'une grande

clarté. En avril nous avançons déjà vers la période des pluies estivales, qui tombent surtout durant l'*après-midi*, tandis que les *matins* sont clairs.

Il est intéressant de comparer le climat photochimique de Mexico avec celui de l'hospice de la Bernina, ces deux stations se trouvant presque à la même altitude (Mexico 2260 m., l'hospice de la Bernina 2300 m.), mais ayant une différence de latitude de 21 degrés.

De la Bernina nous possédons une liste de mesures extrêmement complète, faite par M. le D^r Rübel¹ au cours des années 1905, 1906 et 1907.

Vu la grande différence de latitude entre les deux stations, nous ne pouvons pas comparer les mesures de lumière des mêmes mois, les hauteurs du soleil étant trop différentes. C'est pourquoi nous comparerons la moyenne des intensités de lumière à midi pendant les mois décembre-janvier à Mexico avec les valeurs correspondantes pour la Bernina pendant les mois mars-avril et août-septembre.

La hauteur du soleil à midi se trouve être généralement entre 40° et 50°.

Moyennes d'intensités de lumière à midi de tous les jours (donc y compris ceux où $I_s = 0$) :

	I_t	I_d	I_s	$I_d : I_s$
Mexico . . .	807.2	336.6	470.6	100 : 140
Bernina . . .	723	403	322	100 : 79.6

Moyennes d'intensités de lumière à midi uniquement des jours de soleil (donc excepté ceux où $I_s = 0$) :

	I_t	I_d	I_s	$I_d : I_s$
Mexico . . .	814	333.4	480.2	100 : 144
Bernina . . .	849.2	338.2	511	100 : 151

Pour le mois d'avril à Mexico, et la moyenne d'avril, mai, juin, juillet et août à la Bernina², nous obtenons le tableau suivant :

¹ Untersuchungen über das photochemische Klima des Bernina hospizes. Zürich, 1908.

² La hauteur du soleil dépasse 50° dans les deux stations.

En tenant compte de tous les jours :

	I_t	I_d	I_s	$I_d : I_s$
<i>Mexico</i> . . .	726	204.7	521.3	100 : 254
<i>Bernina</i> . . .	866.6	468.8	397.8	100 : 85

En ne tenant compte que des jours de soleil :

	I_t	I_d	I_s	$I_d : I_s$
<i>Mexico</i> . . .	762.9	206	556.8	100 : 270
<i>Bernina</i> . . .	1101.2	436.6	664.6	100 : 152

On voit que les trois intensités de lumière sont à la Bernina plus grandes qu'à Mexico, tandis que dans cette dernière ville la proportion de lumière directe par rapport à la lumière diffuse, dépasse de beaucoup celle de la Bernina¹.

Nous donnons ci-dessous une liste de comparaison des maxima et minima des intensités de lumière totale, diffuse et directe, mesurées aux environs de midi à Mexico et à l'hospice de la Bernina.

<i>Mexico.</i>			<i>Bernina.</i>			
Décembre-janvier.			Mars-avril et août-septembre.			
	I_t	I_d	I_s	I_t	I_d	I_s
Maxima :	1190	595	775	1170	690	740
Minima :	407	168	0	193	153	0
<i>Mexico.</i>			<i>Bernina.</i>			
Avril.			Avril-mai-juin-juillet-août.			
	I_t	I_d	I_s	I_t	I_d	I_s
Maxima :	1060	340	817	1610	770	1122
Minima :	95	95	0	195	171	0

Résumé des mesures faites à *Necaxa* (Sierra Madre orientale. Lat. 20° 7' N, long. 100° 20' à l'ouest de Paris).

Altitude environ 1400 mètres.

Hauteur du soleil	0—10°	10—20°	20—30°	30—40°	40—50°
Moyennes des intensités de lumière					
I_t	126 (2)	350 (3)	558 (3)	595 (4)	913.5 (6)
I_d	85 (2)	224.7 (3)	266.7 (3)	208 (1)	330.5 (6)
I_s	41 (2)	128.7 (3)	291.3 (3)	387 (1)	583 (6)
I_t'	42 (4)				552 (1)
$I_d : I_s$	100:48	100:57	100:109	100:186	100:176

¹ Il faut cependant tenir compte du fait que les mesures de cette série ont été faites à Mexico à une hauteur de soleil supérieure à celle de la Bernina.

Maxima des intensités de lumière				
I _t	142	477	713	1185
I _d	86	274	317	420
I _s	58	203	396	765

Minima des intensités de lumière				
I _t	5	250	366	552
I _d	5	190	210	285
I _s	0	0	0	0

On voit que les mesures de Necaxa ne diffèrent que peu de celles faites à Mexico en décembre et janvier.

Résumé des mesures faites à *Cuernavaca* (lat. N. 18° 50', long. 101° 20' ouest de Paris, alt. 1400 m.).

Hauteur du soleil	0—10°	10—20°	20—30°	30—40°	40—50°
Moyennes des intensités de lumière					
I _t			469 (2)	773.5 (2)	1060 (3)
I _d			408 (2)	484.5 (2)	489.3 (3)
I _s			61 (2)	289 (2)	570.7 (3)
I _{t'}	204 (1)				360 (2)
I _d : I _s			100 : 15	100 : 59.7	100 : 117
Maxima des intensités de lumière					
I _t			493	1020	1185
I _d			432	492	595
I _s			61	543	623
Minima des intensités de lumière					
I _t			445	527	260
I _d			384	477	260
I _s			0	0	0

La station, dont nous venons de résumer les mesures, se trouve au sud de la chaîne de montagnes élevées, qui entourent le haut plateau. L'humidité y est relativement grande et vu l'absence des vents du nord son climat est bien plus égal et moins désertique que celui de Mexico. L'intensité de la lumière diffuse dépasse de beaucoup celle du haut plateau.

Les mesures, faites au *sud* et à l'*est* du Haut Plateau mexicain, peuvent être divisées en deux groupes, selon qu'elles ont été faites à des stations d'une altitude de moins ou de plus de 1000 mètres. Les premières se trouvent dans la région du pays appelée la *tierra caliente*, les secondes dans celles connues sous le nom de *tierra templada* et *tierra fria*.

Premier groupe (stations de moins de 1000 m. d'altitude).

Les stations de ce groupe se trouvent sur les côtes et plaines côtières de l'Atlantique et du Pacifique, ainsi que dans les vallées nombreuses et profondes qui séparent les chaînes de montagnes du Chiapas¹.

Haut. du soleil	0—10°	10—20°	20—30°	30—40°	40—50°	50—
Moyennes des intens. de lum.						
I _t	239,3(9)	476(20)	764,5(34)	1087,2(40)	1252,7(47)	1604,3(91)
I _d	149,8(9)	235,5(20)	334,1(34)	389,4(40)	456,2(47)	400,2(91)
I _s	89,5(9)	240,5(20)	430,4(34)	697,8(40)	796,5(47)	1204,2(91)
I _v	92,3(10)	369,(2)		453,5(2)	568,7(3)	707,7(7)
I _d : I _s	100 : 60	100 : 102	100 : 129	100 : 179	100 : 175	100 : 301
Maxima des intens. de lum.						
I _t	360	795	1190	1430	1785	2380
I _d	238	433	622	622	842	1430 ²
I _s	161	469	697	1165	1460	1994
Minima des intens. de lum.						
I _t	11	196	433	447	595	407
I _d	11	112	164	179	217	191
I _s	0	0	61	0	0	0
Moyennes des % d'hum. relative	73.3	77.9	71	60.7	52.9	48.7

A partir d'une hauteur de soleil de 9°, I_s peut égaler I_d.

Pour une hauteur moyenne de 22° : I_s = 2 I_d.

» » » de 40° : I_s = 3 I_d.

» » » de 50° : I_s = 4 I_d.

¹ Etat le plus méridional du Mexique.

² Cette valeur pourrait être erronée, le maximum suivant est de 842.

Nous avons trouvé *une fois* à 38° et *une fois* à 61° de hauteur : $I_s = 5 I_d$, et *une fois* à 49° : $I_s = 6 I_d$.

Le maximum a été atteint *une fois* à 61° de hauteur : $I_s = 6 \frac{1}{2} I_d$.

C'est dans la série que nous venons de résumer que nous avons trouvé les plus hautes intensités de lumière rencontrées au Mexique ainsi que la plus grande valeur du rapport $\frac{I_s}{I_d}$. Nous avons mesuré vingt-quatre fois une intensité de lumière totale de plus de 2000 et même trois fois 2380¹. Ces valeurs sont extraordinaires quand on les compare avec le maximum observé à la Bernina, qui est de 1800, et avec le maximum absolu connu jusqu'à présent, qui est de 2083 (Yellowstone Park, Etats-Unis).

Second groupe (stations de plus de 1000 m. d'altitude).

Les stations de ce groupe se trouvent sur les versants et cols de la chaîne de montagnes qui longent le Pacifique et des chaînes parallèles à celle-ci, ainsi que sur les plateaux de Comitán, de San Cristobal et de Tacana. Nous avons encore fait des mesures sur le volcan de Tacana, à 4000 mètres, et sur le Pic d'Orizaba, à 5600 mètres d'altitude.

Haut. du soleil	0—10°	10—20°	20—30°	30—40°	40—50°	50—
Moyennes des intens. de lum.						
I_t	153.4(5)	245.1(10)	576.9(17)	707.7(22)	862.9(26)	1065.4(55)
I_d	89.8(5)	128.7(10)	258.8(17)	270.7(22)	307.6(26)	339.9(55)
I_s	61.6(5)	116.4(10)	318(17)	436.6(22)	555.3(26)	725.5(55)
I_t'	58.2(4)	179(1)	192(2)	431(5)	490.5(4)	565.3(6)
$I_d : I_s$	100:69	100:90.5	100:123	100:161	100:181	100:214
Maxima des intens. de lum.						
I_t	220	622	895	1297	1300	2380
I_d	151	265	595	622	680	794
I_s	109	357	657	972	972	1586

¹ Pour éviter les erreurs faciles avec ces fortes intensités de lumière, les deux observateurs ont refait plusieurs fois les mêmes mesures. Le temps a toujours été mesuré à l'aide d'un chronomètre.

Minima des intens. de lum.						
I _t	36	63	164	265	275	292
I _d	36	32	63	89	89	114
I _s	0	0	0	0	0	0
Moyennes des d'hum. relative	71.2	65.2	60.5	58.6	54.7	52

A partir d'une hauteur de 9° 30' I_s peut égaler I_d.

A une hauteur de soleil moyenne de 26° : I_s = 2 I_d.

» » » » de 37° : I_s = 3 I_d.

» » » » de 48° : I_s = 4 I_d.

Nous avons trouvé *une* fois I_s = 5 I_d à une hauteur de soleil de 37° et *une* fois également I_s = 6 I_d à une hauteur de 48°.

Les valeurs de la série, que nous venons de résumer, sont plus petites que celles de la précédente. La cause en est, qu'à mesure qu'on s'élève dans les montagnes l'atmosphère est moins claire; ceci provient de ce que les vents venant du Pacifique, ainsi que les vents du nord, condensent contre les montagnes l'humidité qu'ils contiennent en formant des brouillards, souvent presque imperceptibles, tandis qu'au-dessus de la plaine et des vallées le ciel reste complètement clair.

Le graphique ci-contre (fig. 2) donne les relations que nous avons cru remarquer entre le *profil du sol*, l'*intensité de lumière* et l'*humidité relative de l'atmosphère*.

La ligne brisée (A... A_n) donne le *profil* du chemin parcouru entre l'Océan Pacifique et le Golfe du Mexique en suivant approximativement le méridien de 92° 20' à l'ouest de Greenwich. Le rapport des échelles du développement horizontal et du développement vertical est de 1 à 67,5.

La ligne brisée (B-B_n) c'est la ligne des *intensités de lumière* totale (I_t). Nous obtenons les points de cette ligne en portant comme ordonnée dans les points de l'axe des abscisses (axe des stations) le nombre d'unités d'intensité de lumière totale observées dans ces stations aux environs de midi.

tensité de lumière, nous voyons immédiatement que la dernière descend à mesure que la première monte, et inversement. Ceci revient à dire que l'intensité de lumière diminue à mesure qu'on s'élève dans les montagnes.

A Tapachula, sur le versant du Pacifique, à 180 mètres d'altitude, nous avons une moyenne d'intensité de lumière totale à midi de 1765, à Salto à 40 m. d'altitude, sur la plaine côtière de l'Atlantique, nous trouvons 2210, tandis qu'à Niquihuil (2700 m.), sur le col de la Sierra madre, l'intensité est de 1080, au Tacana (4000 m.) 854, dans la chaîne de montagnes de San Cristobal (2000 m.) elle est de 841, etc. L'exemple le plus frappant c'est la grande dépression du Chiapas, qui n'est qu'à 600 m. d'altitude; l'intensité de lumière y monte à 1737, tandis que sur les montagnes qui l'entourent nous ne trouvons que 1243 et 841.

La ligne des pourcents d'humidité relative suit d'une manière plus ou moins approchée (le volcan du Tacana fait exception) celle du profil du sol. Cela revient à dire que l'humidité relative *augmenterait* avec l'altitude.

Nous venons de voir que l'intensité de lumière *diminue* avec l'altitude; il y a donc une marche inverse entre l'humidité et l'intensité lumineuse.

On serait en droit de n'attacher que peu de valeur à nos observations à cause de leur courte durée, si ce n'était que la végétation vient à les confirmer en démontrant leur caractère plus ou moins permanent.

Sur le versant des océans, spécialement sur celui de l'Atlantique, nous rencontrons la formation végétative des *savanes*, typique des climats secs, avec ses groupes d'arbres très espacés et ses bouquets d'arbustes épineux.

Cette formation se trouve en moyenne jusqu'à 150 m. d'altitude. Plus haut la forêt apparaît et devient de plus en plus dense à mesure qu'on monte.

Vers 1100 m. elle prend les caractères de la forêt tropi-

cale pluviale avec ses lianes et fougères arborescentes. La limite supérieure de la forêt, à 2700 m. environ, nous semble être définie par l'abaissement de la température, quoique la diminution, à cette altitude, des précipitations atmosphériques se fait aussi sentir¹.

Dans ces forêts le *Tillandsia usneoides* est une plante précieuse pour juger de l'humidité; elle forme dans les forêts des montagnes comme une ceinture, comprise entre deux horizontales, parfaitement définies par l'état de l'humidité atmosphérique.

La dépression du Chiapas, déjà mentionnée pour sa forte lumière, est un désert de *Mezquite*, d'*Acacia* et d'autres plantes épineuses xérophytiques, tandis que les versants de cette dépression sont couverts d'une végétation luxuriante.

Dans les plantations de café, qui s'étagent sur les flancs des montagnes entre 400 et 1200 mètres d'altitude, on s'aperçoit aussi des changements d'humidité et de lumière. Dans les plantations inférieures les caféiers restent petits et il faut des arbres pour donner de l'ombre, tandis que plus haut l'ombre n'est pas nécessaire et les plantes deviennent plus vigoureuses.

Ces quelques observations tirées de l'état de la végétation semblent bien indiquer que l'augmentation de l'humidité et la diminution de l'intensité de lumière avec l'altitude croissante (entre certaines limites) forme un caractère permanent dans les états méridionaux du Mexique.

¹ Le maximum de précipitation semble avoir lieu à 1200 m. d'altitude. Les observations météorologiques de *Triunfo* (German American coffee Co), altitude 1100 m., versant de l'Atlantique, indiquent 6250 mm. par an.

La finca *San Antonio* (1000 m., versant du Pacifique) indique 5000 mm. par an.

Résumé des mesures faites au *Grand Canyon d'Arizona*
(Etats-Unis), lat. N. 36°5', long. W. de Greenwich 112°10'.

Haut. du soleil	0—10°	10—20°	20—30°	30—40°	40—50°	50—
Moyennes des intens. de lum.						
I_t	275 (1)	377 (1)	550 (1)	460.7 (3)	644.7 (3) <i>a</i> 595 (2) <i>b</i>	830 (4) <i>a</i> 707 (6) <i>b</i>
I_d	409 (1)	419 (1)	455 (1)	434.3 (3)	629 (3) <i>a</i> 376 (2) <i>b</i>	266.8 (4) <i>a</i> 221 (6) <i>b</i>
I_s	166 (1)	258 (1)	395 (1)	326.3 (3)	435 (3) <i>a</i> 407 (2) <i>b</i>	563.2 (4) <i>a</i> 486 (6) <i>b</i>
$I_{t'}$	—	—	—	—	—	—
$I_d : I_s$	100:152	100:216	100:254	100:243	100 : $\frac{208}{216}$ <i>a</i> <i>b</i>	100 : $\frac{211}{220}$ <i>a</i> <i>b</i>
Maxima des intens. de lum.						
I_t				715	682	955 <i>a</i> 893 <i>b</i>
I_d				473	233	310 <i>a</i> 260 <i>b</i>
I_s				542	501	669 <i>a</i> 633 <i>b</i>
Minima des intens. de lum.						
I_t				220	510	682 <i>a</i> 510 <i>b</i>
I_d				75	159	233 <i>a</i> 159 <i>b</i>
I_s				145	351	449 <i>a</i> 351 <i>b</i>
Moyennes des % d'hum. relative						43
						34 <i>a</i> 27 <i>b</i>

a : sur le plateau ; *b* : dans le canyon.

Les mesures du Grand Canyon, que nous venons de résumer, montrent une forte analogie avec celles du haut plateau du Mexique. L'altitude des deux stations est à peu près la même et l'humidité relative de l'atmosphère, pendant les mesures, ne diffère que de quelques pourcents.

Les quelques mesures comparatives faites sur le plateau

de l'Arizona, à 2290 m., et au fond du Caynon, au bord de la rivière, à 812 m. d'altitude, semblent indiquer pour cette dernière station une plus petite humidité relative et une plus grande valeur du rapport $\frac{I_s}{I_d}$ que sur le plateau.

SOMMES DE LUMIÈRE ¹.

Pour calculer la somme de lumière qu'une station reçoit durant un jour donné, on détermine la surface de la figure délimitée par la courbe d'intensité de lumière de ce jour et l'axe des abscisses; sur lequel les heures du jour sont marquées. Nous obtenons la courbe d'intensité de lumière N°

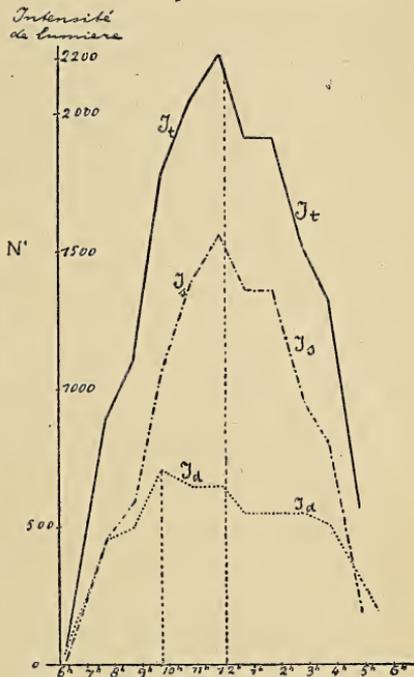


Fig. 3.

Selon que nous considérons la courbe d'intensité de lumière totale, diffuse ou directe, nous obtenons la somme de lumière totale (S_t), diffuse (S_d) ou directe (S_s).

Dans les tableaux suivants nous utiliserons les signes :

- S_t = somme de la lumière totale.
- S_d = somme de la lumière diffuse.
- S_s = somme de la lumière directe.
- S_{0-4} = visibilité moyenne du soleil durant la journée.

¹J. Wiesner. *Der Lichtgenuss der Pflanzen*, page 21, Leipzig 1907.

C_{0-10} = état moyen du ciel durant la journée.

H_m = hauteur maximale du soleil de la journée.

Sommes des lumières des 28 novembre et 1^{er} décembre.

Océan Atlantique.

St	Sd	Ss	S	C	H_m
123	86	37	2	5.6	18° 30'
75	75	0	0	10	21° 10'

Monterey, le 15 décembre.

St	Sd	Ss	S	C	H_m
46	46	0	0	10	41°

Mexico.

	St	Sd	Ss	S	C	H_m
20 décembre. . .	239.5	109.5	139	4	0-1	47°
23 » . . .	221.6	100	121.6	2.7	3.8	47°
12 janvier . . .	213	75.5	137.5	4	0	48° 15'
10 avril	270.5	76.5	194	4	0	78°

Tapachula.

	St	Sd	Ss	S	C	H_m
26 janvier . . .	412.5	138.5	274	4	1	55°
30 »	359.5	109	250.5	4	1	56°

Comme on le voit les sommes de lumière sont à Tapachula bien plus fortes que sur le plateau à Mexico.

Niquihuil.

	St	Sd	Ss	S	C	H_m
8 février . . .	279.7	101.7	178	3	4	59°

*Volcan de Tacana*¹.

	St	Sd	Ss	S	C	Hm
11 février . . .	246.5	79	467.5	3	4	60°

Motocintla.

	St	Sd	Ss	S	C	Hm
14 février . . .	363.5	223.5	440	3	6	61° 42'
15 » . . .	368	150	218	3	4	62°

Dépression du Chiapas.

Nous trouvons ici des valeurs très considérables, comme la grande intensité de lumière le faisait prévoir.

	St	Sd	Ss	S	C	Hm
17 février . . .	461	104	357	4	0-1	62° 12'

Frontera.

A Frontera et dans le Golfe du Mexique nous avons mesuré de beaucoup les plus fortes sommes de lumière :

	St	Sd	Ss	S	C	Hm
18 mars. . . .	658.5	180.5	478	4	0-1	68° 37'
19 »	573	224	349	4	3	69° 22'

Golfe du Mexique (Frontera-Vera-Cruz).

	St	Sd	Ss	S	C	Hm
21 mars. . . .	651.5	238	443.5	3-4	3	70° ²

¹ Au volcan de Tacana, comme au Pic d'Orizaba, nous n'avons pu faire des mesures que jusqu'à midi. Nous avons dû supposer la somme de lumière de l'après-midi égale à celle du matin pour obtenir les valeurs un peu hypothétiques de la journée entière.

² Comme termes de comparaison : maximum de somme de lumière totale observée à Vienne 419; maximum observé à l'hospice de la Bernina 505.

Pic d'Orizaba.

Au Pic d'Orizaba, de 4500 à 5600 mètres, nous trouvons des sommes de lumière beaucoup plus petites qu'au bord de la mer.

	S_t	S_d	S_s	S	C	H_m
28 mars. . . .	164	45	119	4	4	73° 30'

Grand Canyon d'Arizona.

Les sommes de lumière du Grand Canyon se rapprochent beaucoup de celles de Mexico.

	S_t	S_d	S_s	S	C	H_m
28 avril	260	84	176	4	2-3	68° 32'

Tableau général¹.

OCÉAN ATLANTIQUE (BOULOGNE - NEW-YORK)

Date.	Heure.	Altitude.	Soleil.	Ciel.	Hauteur du soleil.	I _t	I _a	I _s	Humidité relative en %.
27 novembre	11 ⁰⁰ a. m.	0	S ₀	C ₁₀	17°51'	114	114	0	Brouillard.
	1 ⁰⁰ p. m.		S ₀	C ₁₀	16°57'	190	190	0	»
	2 ⁰⁰ p. m.		S ₀	C ₁₀	13°4'	150	150	0	»
	3 ⁰⁰ p. m.		S ₀	C ₁₀	7°10'	102	102	0	»
	4 ¹⁵ p. m.		S ₀	C ₁₀	0°	9	9	0	»
28 novembre	8 ¹⁵ a. m.		S ₃₋₄	C ₁₋₂	4°20'	142	102	40	
	9 ⁰⁰ a. m.		S ₃₋₄	C ₂	9°30	385	205	180	
	10 ⁰⁰ a. m.		S ₃₋₄	C ₃	14°44'	530	385	145	
	11 ⁰⁰ a. m.		S ₄	C ₃	17°51'	840	408	432	
	11 ⁵⁵ a. m.		S ₀₋₁	C ₆	18°30'	475	475	0	
	1 ²⁵ p. m.		S ₁	C ₇	15°50'	445	333	112	
	2 ⁵⁰ p. m.		S ₁	C ₁₀	12°40'	191	159	32	
	2 ⁵⁰ p. m.		S ₀₋₁	C ₉	8°10'	164	143	21	
	3 ²⁰ p. m.		S ₀	C ₉	5°24'	106	102	4	
	7 ⁴⁰ a. m.		S ₀	C ₆	0°46'	57	57	0	Humidité relative 76 1/2.
29 novembre	8 ³⁵ a. m.		S ₃	C ₆	7°20'	260	168	92	
	9 ⁵⁰ a. m.		S ₃	C ₄	14°	387	286	101	Humidité relative 63.
	10 ⁴⁷ a. m.		S ₃	C ₇	17°50'	475	286	189	
	11 ⁴⁰ a. m.		S ₀	C ₁₀	18°50'	275	275	0	Humidité relative 64.
	2 ⁰⁰ p. m.		S ₂	C ₈	13°4'	260	191	69	
	3 ⁰⁵ p. m.		S ₀	C ₈	9°5'	106	106	0	Humidité relative 78.

¹ Pour l'explication, voir à la page 3.

Date.	Heure.	Altitude.	Soleil.	Ciel.	Hauteur du soleil.	l_t	l_d	l_s	Humidité relative en %.
30 novembre	8 ⁰⁰ a. m.	0	S ₂	C ₃	2°40'	57	57	0	
	9 ²⁵ a. m.		S ₀	C ₃	12°0'	204	204	0	Humidité relative 95.
	10 ³⁵ a. m.		S ₃₋₄	C ₂	17°25'	447	286	161	» 86.
	11 ³⁵ a. m.		S ₃	C ₃	18°44'	477	286	291	» 87.
	12 ⁰ p. m.		S ₁	C ₈	15°55'	358	286	72	
	2 ³⁰ p. m.		S ₀₋₁	C ₈	10°30'	238	220	18	» 81.
	3 ³⁰ p. m.		S ₀	C ₆	3°40'	110	110	0	» 80.
	4 ⁰⁰ p. m.		S ₀	C ₉	0°	21	21	0	
	7 ⁵⁰ a. m.		S ₀	C ₁₀	2°36'	37	37	0	
	8 ⁵⁰ a. m.		S ₀	C ₁₀	10°20'	150	150	0	» 83.
1er décembre	9 ⁵⁰ a. m.		S ₀	C ₁₀	16°30'	310	310	0	» 88.
	10 ⁵⁰ a. m.		S ₀	C ₁₀	19°55'	350	350	0	» 88.
	11 ⁵⁰ a. m.		S ₀	C ₁₀	21°10'	286	286	0	Nuages bas, Humidité relat. 88.
	12 ³⁰ p. m.		S ₀	C ₁₀	20°46'	317	317	0	Humidité relative 86.
	1 ³⁰ p. m.		S ₀	C ₁₀	17°50'	260	260	0	» 100.
	2 ³⁰ p. m.		S ₀	C ₁₀	12°20'	79	79	0	Epais brouillard.
	3 ³⁰ p. m.		S ₀	C ₁₀	5°25'	9,5	9,5	0	
	7 ⁵⁰ a. m.		S ₀₋₁	C ₈	3°36'	82	82	0	Humidité relative 91.
	9 ⁰⁰ a. m.		S ₀	C ₁₀	12°12'	190	190	0	Léger brouillard.
	10 ⁰⁰ a. m.		S ₀	C ₁₀	18°	270	270	0	»
2 décembre	10 ⁵⁵ a. m.		S ₀₋₁	C ₉	21°14'	396	375	21	Humidité relative 93.
	1 ¹⁰ p. m.		S ₀	C ₁₀	22°23'	384	384	0	Pluie.
	2 ²⁰ p. m.		S ₂	C ₉	15°	396	297	99	Humidité relative 86.
	3 ²⁰ p. m.		S ₃₋₄	C ₆	7°50'	190	143	47	» 86.
	3 ⁵⁵ p. m.		S ₀	C ₆	3°14'	61	61	0	
	7 ¹⁵ a. m.		S ₀	C ₄	0°	31	31	0	
	8 ²⁵ a. m.		S ₁	C ₇	9°20'	212	209	3	» 67.
	9 ³⁷ a. m.		S ₄	C ₃	18°	571	297	274	
	10 ⁴⁵ a. m.		S ₃	C ₃	23°15'	571	302	271	» 62.
	11 ²⁵ a. m.		S ₀₋₁	C ₇	24°24'	571	528	43	Nuages bas.
3 décembre	12 ³⁰ p. m.		S ₄	C ₃	24°21'	750	439	331	Humidité relative 71.
	1 ⁴⁰ p. m.		S ₁	C ₁₀	20°20'	509	442	77	
	2 ³⁰ p. m.		S ₀	C ₁₀	15°25'	172	172	0	» 71.
	3 ⁴⁰ p. m.		S ₀	C ₉	5°55'	112	112	0	

8 ³⁰ a. m.	0	130	130	0
9 ²⁰ a. m.	0	130	130	0
10 ¹⁵ a. m.	0	408	220	188
11 ¹⁵ a. m.	0	356	238	118
12 ¹⁵ p. m.	0	408	408	70.
1 ¹⁵ p. m.	0	384	356	63.
2 ¹⁵ p. m.	0	158	158	0
3 ⁴⁰ p. m.	0	65	65	0

Humidité relative 61.

»

»

»

»

MONTEREY (MEXIQUE)

4 décembre	0	0	0	0	0
8 ⁰⁰ a. m.	465	54	54	0	
9 a. m.	475	95	95	0	
10 a. m.	550	136	136	0	
11 a. m.	620	147	147	0	
12	480	124	124	0	
1 ⁰⁰ p. m.	530	178	178	0	
2 ⁰⁰ p. m.	720	162	162	0	
3 ⁰⁰ p. m.	480	114	114	0	
3 ⁴⁰ p. m.	650	84	84	0	
8 ³⁰ a. m.	480	238	238	0	
10 a. m.	480	475	347	458	
11 a. m.	470	840	570	270	
12	620	475	340	135	
1 ¹⁵ p. m.	850	274	274	0	
2 ¹⁰ p. m.	950	570	404	166	
3 ⁰⁰ p. m.	920	158	158	0	
4 ¹⁵ p. m.	750	55	52	0	
11 ³⁰ a. m.	450	432	259	173	72.
1 ³⁰ p. m.	450	260	260	0	
2 ⁴⁵ p. m.	450	210	210	0	
3 ⁴⁵ p. m.	450	170	170	0	
4 ⁵⁰ p. m.	450	44	44	0	

Humidité relative 74.

»

MONTEREY - MEXICO

Date.	Heure.	Altitude.	Soleil.	Ciel.	Hauteur du soleil.	I _t	I _d	I _s	Humidité relative en %.
18 décembre	9 ⁰⁰ a. m.	1800	S ₄	C ₂	27°37'	793	356	437	Humidité relative 29. » » » » » » » » »
	9 ³⁰ a. m.	1980	S ₄	C ₂	32°33'	950	384	566	
	10 ³⁰ a. m.	1890	S ₄	C ₂	40°36'	1097	475	622	
	11 ³⁰ a. m.	1850	S ₄	C ₂	45°06'	1097	465	632	
	12 ⁴⁵ p. m.	1810	S ₃	C ₄	44°24'	1020	595	425	
	13 ⁵⁵ p. m.	1800	S ₄	C ₃	40°34'	950	528	422	
	2 ⁴⁵ p. m.	1900	S ₄	C ₂	29°37'	892	460	432	
	3 ⁴⁵ p. m.	2100	S ₄	C ₂	18°33'	750	348	402	
	5 ⁰⁰ p. m.	2220	S ₁	C ₁	4°13'	110	110	0	

MEXICO

20 décembre	8 ⁴⁵ a. m.	2260	S ₄	C ₀	26°37'	318	217	101	Humidité relative 29.
	9 ⁴⁵ a. m.	2260	S ₄	C ₀	36°23'	477	286	191	
	10 ⁴⁵ a. m.	2260	S ₄	C ₀	43°26'	596	308	288	
	11 ⁴⁵ a. m.	2260	S ₄	C ₀	47°01'	796	409	387	
	12 ⁴⁵ p. m.	2260	S ₄	C ₀	45°44'	840	350	490	
	2 ⁴⁵ p. m.	2260	S ₄	C ₀	31°07'	754	286	468	
	3 ³⁰ p. m.	2260	S ₄	C ₁	23°08'	572	199	373	
	4 ⁰⁰ p. m.	2260	S ₄	C ₁	17°	477	159	348	
	4 ⁴⁵ p. m.	2260	S ₄	C ₁	7°38'	376	154	222	
	11 ³⁰ a. m.	2260	S ₄	C ₁	46°46'	895	442	453	
22 décembre	12 ⁴⁵ p. m.	2260	S ₄	C ₁	45°44'	895	410	485	Humidité relative 29.
	1 ⁴⁵ p. m.	2260	S ₄	C ₁	39°34'	840	376	464	
	2 ⁵⁰ p. m.	2260	S ₄	C ₁	30°32'	595	260	335	
	4 ¹⁰ p. m.	2260	S ₄	C ₁	16°20'	367	191	176	
	5 ¹⁰ p. m.	2260	S ₄	C ₁	3°27'	77	77	0	
	7 ¹⁵ a. m.	2260	S ₄	C ₁	8°42'	119	65	54	
	8 ³⁰ a. m.	2470	S ₄	C ₁	23°46'	447	179	168	
	9 ¹⁵ a. m.	2820	S ₄	C ₁	31°39'	510	158	352	
	10 ¹⁵ a. m.	2960	S ₄	C ₁	39°36'	795	206	589	

Humidité relative 40.
(Mont Ajusco).

11 ¹⁵ a. m.	S ₄	3160	C ₂	45°33'	955	286	669
12 ³⁰ p. m.	S ₄	3400	C ₄	46°42'	595	358	237
1 ³⁰ p. m.	S ₃₋₄	3520	C ₄	41°34'	4190	445	775
2 ³⁰ p. m.	S ₀	3440	C ₆	33°36'	220	220	0
3 ⁴⁵ p. m.	S ₀	2915	C ₇	20°39'	191	191	0
4 ²⁰ p. m.	S ₁	2830	C ₆	43°38'	220	220	0
4 ⁵⁰ p. m.	S ₃	2830	C ₆	7°32'	475	403	72
9 ³⁰ a. m.	S ₄	2260	C ₀	33°45'	514	207	304
10 a. m.	S ₄	2260	C ₀	38°40'	716	286	430

MEXICO-NECAXA

27 décembre	S ₃₋₄	2200	C ₀	33°36'	595	208	387
	S ₃₋₄	2200	C ₀	43°34'	712	285	427
	S ₄		C ₀	45°33'	840	294	549
	S ₃₋₄		C ₀	46°57'	892	317	575
	S ₄		C ₀	43°16'	752	285	467
	S ₂	4500 ¹	C ₃	45°12'	250	210	40
	S ₂	4500	C ₃	5°33'	440	86	24
	S ₂	4500	C ₃	3°13'	46	46	0
	S ₂	4500	C ₃	0°43'	47	47	0
	S ₀	4500	C ₃	0°	5	5	0
	S ₄	4500	C ₁	5°8'	442	84	58
	S ₄	4500	C ₁	43°48'	333	490	443
	S ₄	4500	C ₁	20°29'	366	240	456
	S ₄	4500	C ₁	28°25'	595	273	322
	S ₄	4500	C ₂	46°49'	4185	420	765
	S ₄	4500	C ₂	46°47'	4400	385	745
	S ₀	4500	C ₅	6°48'	400	100	0
	S ₂₋₃	4500	C ₅	49°29'	477	274	203
	S ₄ ¹	4500	C ₅	20°34'	713	317	396
	S ₀ ¹	4500	C ₆	46°38'	552	552	0

Soleil caché par les montagnes.

¹ L'altitude indiquée pour Necaxa n'est pas tout à fait certaine.

CUERNA VACA

Date.	Heure.	Altitude.	Soleil.	Ciel.	Hauteur du soleil.	It	Id	Is	Humidité relative en %
31 décembre	7 ¹⁵ a. m.	4400	S ₀	C ₉	8°30'	20½	204	0	
	8 ¹⁵ a. m.	4400	S ₁	C ₁₀	20°18'	445	384	61	
	9 ⁴⁵ a. m.	4400	S ₀₋₁	C ₉₋₁₀	31°17'	527	492	35	
	10 ⁴⁵ a. m.	4400	S ₀	C ₉₋₁₀	44°4'	460	460	0	
	11 ⁴⁵ a. m.	4400	S ₀	C ₁₀	47°44'	260	260	0	
	3 ³⁰ p. m.	4400	S ₁	C ₉	24°17'	493	432	61	
	8 ¹⁵ a. m.	4850	S ₄	C ₁	20°1'	510	204	306	
	8 ⁴⁵ a. m.	2250	S ₄	C ₀₋₁	26°46'	620	220	400	
	9 ⁴⁵ a. m.	2650	S ₄	C ₄	36°4'	745	286	429	
	10 ⁴⁵ a. m.	2900	S ₃	C ₆	43°54'	895	530	365	
1 ^{er} janv. '11	11 ⁴⁵ a. m.	2880	S ₃	C ₆	47°40'	755	530	225	
	12 ⁴⁵ p. m.	2850	S ₃	C ₆	46°45'	895	446	449	
	1 ⁴⁵ p. m.	2850	S ₀	C ₇	44°54'	477	477	0	
	2 ⁴⁵ p. m.	2920	S ₀	C ₇	32°16'	397	397	0	
	3 ⁴⁵ p. m.	2940	S ₀	C ₆	21°29'	386	386	0	
	5 ¹⁰ p. m.	2450	S ₀	C ₁₀	3°52'	168	168	0	
	10 ³⁰ a. m.	4400	S ₄	C ₁	42°29'	895	396	499	
	11 ³⁰ a. m.	4400	S ₄	C ₁	47°05'	1400	477	623	
	1 ²⁰ p. m.	4400	S ₄	C ₄	44°10'	4185	595	590	
	2 ⁴⁵ p. m.	4400	S ₄	C ₃	32°21'	1020	477	543	
2 janvier									
4 janvier	10 ⁴⁵ a. m.	2270	S ₄	C ₂	43°28'	745	318	397	
	11 ⁴⁵ a. m.	2270	S ₄	C ₂	47°43'	955	409	546	
	12 ⁴⁵ p. m.	2270	S ₄	C ₃	47°02'	895	386	509	
	2 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₄	C ₅	39°42'	840	377	463	
	3 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₄	C ₄	30°10'	745	297	448	
	4 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₀₋₁	C ₅	49°05'	264	264	0	
	5 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₀	C ₈	6°30'	45	45	0	

Excursion à Tres Marias.

MEXICO

Ciel avec nuages blancs.

))

Ciel avec nuages noirs.

Légère brume.

8 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₀	C ₁₀	17 ⁰⁹ '	114	114	0
9 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₁	C ₁₀	28 ⁰²⁸ '	433	367	66
10 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₁₋₂	C ₈	38 ⁰²³ '	477	350	427
11 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₄	C ₀	45 ⁰¹⁸ '	795	386	409
12 ⁰⁰	2270	S ₄	C ₀	48 ⁰⁸ '	895	397	498
1 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₄	C ₀	45 ⁰⁴² '	840	377	463
2 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₄	C ₁	39 ⁰²⁷ '	795	340	455
3 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₄	C ₀₋₁	30 ⁰⁴ '	753	348	405
4 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₄	C ₀	18 ⁰⁵¹ '	595	238	357
5 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₄	C ₀	6 ⁰⁴⁶ '	195	95	100
5 ³⁰ p. m.	2270	S ₄	C ₀	3 ⁰	52	41	41
7 ³⁰ a. m.	2270	S ₄	C ₀	1 ⁰²⁰ '	48	18	0
8 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₄	C ₂	10 ⁰⁵⁹ '	163	98	65
9 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₄	C ₁	17 ⁰³ '	384	450	234
10 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₄	C ₁	28 ⁰²⁰ '	620	260	360
11 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₄	C ₂	38 ⁰⁸ '	792	297	495
12 ⁰⁰	2270	S ₄	C ₀	44 ⁰⁵⁸ °	1020	407	613
1 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₃₋₄	C ₂	48 ⁰⁸ '	950	317	633
2 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₃₋₄	C ₂	45 ⁰⁴² '	892	262	630
3 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₄	C ₂	38 ⁰³² '	950	317	633
4 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₄	C ₂	30 ⁰² '	750	259	494
5 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₃₋₄	C ₂	18 ⁰⁵⁹ '	420	182	238
5 ³⁰ p. m.	2270	S ₄	C ₂	6 ⁰⁴⁶ '	158	95	63
7 ³⁰ a. m.	2270	S ₂	C ₃	1 ⁰²⁰ '	17	17	0
8 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₁	C ₇	10 ⁰⁵⁹ '	444	414	30
9 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₂	C ₈	17 ⁰³ '	185	174	11
10 ¹⁵ a. m.	2270	S ₂₋₃	C ₇	28 ⁰²⁰ '	492	375	17
11 ¹⁵ a. m.	2270	S ₃	C ₈	39 ⁰⁵⁸ '	648	407	241
12 ³⁰ p. m.	2270	S ₃₋₄	C ₅	46 ⁰³³ '	793	460	333
2 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₄	C ₃	47 ⁰²⁷ '	950	510	440
3 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₄	C ₃	39 ⁰²⁷ '	1030	460	560
4 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₄	C ₃	30 ⁰² '	714	317	397
5 ¹⁰ p. m.	2270	S ₄	C ₁	18 ⁰⁵⁹ '	460	190	270
8 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₄	C ₁	5 ⁰⁴⁵ '	110	65	45
9 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₄	C ₀	16 ⁰⁵² '	179	87	92
	2270	S ₄	C ₀	28 ⁰⁹ '	622	238	384

Nuages blancs.

Humidité relative 57.
Légère brume.

Date.	Heure.	Altitude.	Soleil.	Ciel.	Hauteur du soleil.	l_t	l_u	l_s	Humidité relative en %.
8 janvier	10 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₄	C ₁	38°4'	895	332	563	Légère brume.
	11 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₄	C ₁	44°34'	954	349	603	
	12 ⁰⁰	2270	S ₄	C ₁	48°6'	954	304	650	Humidité relative 27.
	12 ³⁰ p. m.	2270	S ₄	C ₀	46°24'	895	260	635	Légère brume.
9 janvier	8 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₄	C ₀	16°40'	286	443	443	Humidité relative 57.
	9 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₄	C ₀	27°38'	550	499	351	Légère brume.
	10 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₄	C ₀	38°1'	745	348	397	
	11 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₄	C ₀	44°48'	895	348	577	
	12 ⁰⁰	2270	S ₄	C ₀	48°4'	895	275	567	Humidité relative 28.
	1 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₄	C ₀	45°46'	795	238	557	
	2 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₄	C ₀	39°37'	842	252	590	
	3 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₄	C ₀	30°9'	745	227	488	
	4 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₄	C ₀	19°21'	493	183	310	
	5 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₄	C ₀	7°9'	443	107	36	Humidité relative 26.
	5 ³⁰ p. m.	2270	C ₀	C ₀	1°45'	18	18	0	Forte brume.
	7 ¹⁰ a. m.	2270	S ₄	C ₀	6°10'	87	34	53	
10 janvier	8 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₄	C ₀	16°40'	191	96	93	Humidité relative 54.
	9 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₄	C ₀	28°18'	286	430	456	Légère brume.
	10 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₃	C ₀	38°16'	445	491	254	
	11 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₃₋₄	C ₀	43°47'	490	491	299	Forte brume.
	12 ⁰⁰	2270	S ₃₋₄	C ₀	48°12'	620	220	400	Humidité relative 33.
	1 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₃₋₄	C ₀	46°23'	573	193	380	
	2 ¹⁵ p. m.	2270	S ₄	C ₀	38°10'	621	220	401	
	3 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₄	C ₀	30°50'	621	220	401	
	4 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₄	C ₀	19°32'	447	191	256	
	5 ¹⁰ p. m.	2270	S ₄	C ₀	4°45'	130	87	43	Humidité relative 26.
	8 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₂₋₃	C ₀	16°40'	81	63	48	Humidité relative 60.
	9 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₃	C ₀	28°18'	356	168	188	Forte brume.
11 janvier	10 ¹⁵ a. m.	2270	S ₂₋₃	C ₀	40°12'	407	479	238	
	11 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₄	C ₀	45°47'	620	238	382	Légère brume.
	12 ⁰⁰	2270	S ₃	C ₀	48°12'	493	193	300	Humidité relative 40.
	1 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₄	C ₀	46°23'	680	220	460	Légère brume.
	2 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₄	C ₀	40°14'	570	183	387	
	3 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₄	C ₀	30°51'	420	151	269	

12 janvier	4 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₄	C ₀	19 ⁰³² '	318	119	199	Humidité relative 32.
	5 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₄	C ₀	7 ⁰²⁰ '	84	63	21	
	5 ³⁰ p. m.	2270	S ₄	C ₀	1 ⁰²⁵ '	20	20	0	
	8 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₄	C ₀	16 ⁰⁴⁰ '	425	87	38	Humidité relative 59.
	9 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₄	C ₀	28 ⁰¹⁸ '	377	191	186	Légère brume.
	10 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₄	C ₀	38 ⁰¹⁶ '	575	220	355	
	11 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₄	C ₀	45 ⁰¹⁷ '	845	270	575	
	12 ⁰⁰	2270	S ₄	C ₀	48 ⁰¹² '	715	220	495	Humidité relative 29.
	1 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₄	C ₀	46 ⁰²³ '	685	203	482	
	2 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₄	C ₀	40 ⁰¹⁴ '	795	238	558	
13 janvier	3 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₄	C ₀	30 ⁰⁵⁰ '	575	191	384	
	4 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₃₋₄	C ₀	18 ⁰³² '	422	191	234	
	8 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₄	C ₀	16 ⁰⁸ '	191	98	93	Humidité relative 61.
	9 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₄	C ₀	27 ⁰⁵⁰ '	445	191	254	Forte brume.
	10 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₂	C ₀	37 ⁰⁵² '	340	204	136	
	11 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₄	C ₀	45 ⁰¹ '	650	204	446	Légère brume.
	12 ⁰⁰	2270	S ₄	C ₁	48 ⁰⁶ '	715	204	511	Humidité relative 40.
	1 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₄	C ₂	46 ⁰²⁹ '	730	204	526	
	2 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₄	C ₂	40 ⁰³⁰ '	753	213	540	
	3 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₄	C ₂	31 ⁰¹⁴ '	570	168	402	
14 janvier	4 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₄	C ₂	20 ⁰	357	124	233	
	5 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₄	C ₂	7 ⁰⁵² '	153	77	76	Humidité relative 30.
	8 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₀	C ₁₀	16 ⁰²² '	114	114	0	Humidité relative 59.
	9 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₂	C ₆	28 ⁰¹ '	220	151	69	
	10 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₃	C ₅	38 ⁰⁵ '	510	286	224	
	11 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₃₋₄	C ₃	45 ⁰¹¹ '	622	292	330	
	12 ⁰⁰	2270	S ₄	C ₂	48 ⁰¹² '	680	238	442	
	1 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₄	C ₂	46 ⁰²³ '	572	168	404	
	12 ⁰⁰	2270	S ₃₋₄	C ₈	48 ⁰⁵³ '	647	230	417	
	12 ⁰⁰	2270	S ₄	C ₇	49 ⁰⁴ '	755	204	551	Légère brume.

Mesures de la lumière de face (« Vorderlicht »).

Outre les mesures faites en tenant le photomètre horizontal, nous avons encore déterminé pour Mexico la quantité de lumière que reçoit une surface placée verticalement et orientée successivement vers le Nord, le Sud, l'Est et l'Ouest.

M. Wiesner appelle cette lumière « Vorderlicht »; nous la traduisons par « lumière de face ». I_N , I_S , I_E , I_W indiquent respectivement la lumière totale venant du Nord, du Sud, de l'Est et de l'Ouest. Malheureusement, ces mesures n'ont pu être faites que durant deux jours.

MEXICO

Date.	Heure.	Altitude.	Soleil.	Ciel.	Hauteur du soleil.	I_N	I	I_E	I_W
10 janvier	7 ¹⁰ a. m.	2270	S ₄	C ₀	6°40'	32	72	90	29
	8 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₄	C ₀	16°40'	71,5	210	270	62
	9 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₄	C ₀	28°18'	86,6	220	286	71,5
	10 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₃	C ₀	38°16'	102	387	332	99
	11 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₃₋₄	C ₀	45°17'	114	408	222	130
	12 ⁰⁰	2270	S ₃₋₄	C ₀	48°12'	143	477	222	191
	1 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₃₋₄	C ₀	46°23'	143	408	169	286
	2 ¹⁵ p. m.	2270	S ₄	C ₀	38°10'	151	477	179	573
	3 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₄	C ₀	30°50'	151	513	179	623
	4 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₄	C ₀	19°32'	143	408	153	573
	5 ¹⁰ p. m.	2270	S ₄	C ₀	4°45'	71,5	92,5	82	210
	8 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₄	C ₀	16°40'	52	203	143	56
	9 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₄	C ₀	28°18'	149	463	358	119
12 janvier	10 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₄	C ₀	38°16'	137	410	513	143
	11 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₄	C ₀	45°17'	138	222	596	179
	12 ⁰⁰	2270	S ₄	C ₀	48°12'	138	191	650	204
	1 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₄	C ₀	46°23'	125	143	595	286
	2 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₄	C ₀	40°14'	179	220	715	718
	3 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₄	C ₀	30°50'	143	169	477	573
	4 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₃₋₄	C ₀	18°10'	130	130	286	513

VERA CRUZ

Date.	Heure.	Altitude.	Soleil.	Ciel.	Hauteur du soleil.	I _t	I _d	I _s	Humidité relative en %.
18 janvier	9 ^h 11 a. m.	5	S ₄	C ₅	40°20'	1020	386	63½	Humidité relative 88. Humidité relative 79.
	11 ^h 11 a. m.	10	S ₄	C ₅	47°24'	1100	386	71½	
	12 ^h 11 p. m.	40	S ₄	C ₅	49°44'	955	333	622	Nuages noirs.
	12 ^h 11 p. m.	10	S ₁	C ₁₀	49°54'	752	715	37	
2 ^h 11 p. m.	40	S ₃	C ₄	39°20'	795	318	477		
4 ^h 11 p. m.	10	S ₄	C ₃	18°48'	715	242	463		
20 janvier	11 ^h 11 a. m.	40	S ₀	C ₁₀	47°49'	397	397	0	Humidité relative 74.
	12 ^h 11 p. m.	40	S ₂	C ₆	49°31'	1020	842	172	
	1 ^h 11 p. m.	40	S ₂	C ₅	47°10'	955	648	307	
	2 ^h 11 p. m.	40	S ₃	C ₃	39°40'	1300	550	750	
24 janvier	3 ^h 11 p. m.	40	S ₄	C ₁	30°39'	1190	447	643	Nuages bas.
	4 ^h 11 p. m.	40	S ₄	C ₀	18°47'	795	340	455	
	5 ^h 11 p. m.	40	S ₄	C ₁	6°31'	247	168	79	
	11 ^h 11 a. m.	40	S ₂₋₃	C ₄	48°8'	840	715	125	
25 janvier	12 ^h 11 p. m.	10	S ₂₋₃	C ₄	50°32'	752	595	157	Humidité relative 57.
	1 ^h 11 p. m.	40	S ₄	C ₁	47°30'	1590	447	1143	
	2 ^h 11 p. m.	40	S ₄	C ₀	39°40'	1430	434	996	
	3 ^h 11 p. m.	40	S ₄	C ₀	30°39'	1100	396	704	
26 janvier	4 ^h 11 p. m.	10	S ₄	C ₀	18°46'	795	340	455	Humidité relative 69.
	12 ^h 37 p. m.	180	S ₄	C ₃	54°26'	1790	375	1315	
	1 ^h 42 p. m.	180	S ₄	C ₅	49°22'	1590	573	1017	
	2 ^h 27 p. m.	180	S ₄	C ₃	42°24'	1300	434	866	
26 janvier	5 ^h 27 p. m.	180	S ₀	C ₅	5°24'	114	114	0	Humidité relative 67.
	7 ^h 30 a. m.	180	S ₄	C ₁	12°29'	357	191	166	
	8 ^h 20 a. m.	180	S ₄	C ₀	23°12'	895	286	609	
	9 ^h 15 a. m.	180	S ₄	C ₀	34°30'	1020	310	710	
12 ^h 15 p. m.	10 ^h 15 a. m.	180	S ₄	C ₀	44°42'	1430	348	4082	Humidité relative 67.
	12 ^h 15 p. m.	180	S ₄	C ₀	54°48'	1790	409	1381	

TAPACHULA

Date.	Heure.	Altitude.	Soleil.	Ciel.	Hauteur du soleil.	I _t	I _d	I _s	Humidité relative en %.
25 janvier	12 ^h 37 p. m.	180	S ₄	C ₃	54°26'	1790	375	1315	Humidité relative 57.
	1 ^h 42 p. m.	180	S ₄	C ₅	49°22'	1590	573	1017	
	2 ^h 27 p. m.	180	S ₄	C ₃	42°24'	1300	434	866	
	5 ^h 27 p. m.	180	S ₀	C ₅	5°24'	114	114	0	
26 janvier	7 ^h 30 a. m.	180	S ₄	C ₁	12°29'	357	191	166	Humidité relative 69.
	8 ^h 20 a. m.	180	S ₄	C ₀	23°12'	895	286	609	
	9 ^h 15 a. m.	180	S ₄	C ₀	34°30'	1020	310	710	
	10 ^h 15 a. m.	180	S ₄	C ₀	44°42'	1430	348	4082	
12 ^h 15 p. m.	12 ^h 15 p. m.	180	S ₄	C ₀	54°48'	1790	409	1381	Humidité relative 67.

Date.	Heure.	Altitude.	Soleil.	Ciel.	Hauteur du soleil.	I _i	I _a	I _s	Humidité relative en 0/0.
26 janvier	1 ¹⁵ p. m.	180	S ₄	C ₂	51°36'	1590	550	1050	Humidité relative 46. Humidité relative 42.
	2 ¹⁵ p. m.	180	S ₄	C ₂	44°26'	1430	510	920	
	3 ¹⁵ p. m.	180	S ₄	C ₂	33°48'	1190	397	793	Humidité relative 68.
	4 ¹⁵ p. m.	180	S ₄	C ₂	21°24'	895	325	570	
	7 ³⁰ a. m.	180	S ₄	C ₀	18°26'	303	159	444	
27 janvier	8 ³⁰ a. m.	180	S ₄	C ₀	31°27'	715	303	412	Humidité relative 46.
	9 ¹⁵ a. m.	180	S ₄	C ₀	39°40'	1300	317	983	
	10 ¹⁵ a. m.	180	S ₄	C ₀	49°29'	1430	317	1113	Humidité relative 67.
	11 ¹⁵ a. m.	180	S ₄	C ₀	53°24'	1790	367	1423	
	12 ¹⁵ p. m.	180	S ₄	C ₀	54°55'	1790	398	1392	
	1 ¹⁵ p. m.	180	S ₄	C ₁	53°35'	1590	408	1182	Humidité relative 46.
	2 ¹⁵ p. m.	180	S ₄	C ₃	45°	1190	387	803	
	3 ¹⁵ p. m.	180	S ₄	C ₄	33°57'	1030	398	632	Humidité relative 54.
	4 ¹⁵ p. m.	180	S ₄	C ₂	21°54'	623	238	385	
	28 janvier	5 ¹⁵ p. m.	180	C ₁	C ₁	8°26'	443	143	0	Humidité relative 68.
8 ¹⁵ a. m.		180	S ₄	C ₂	29°23'	447	235	212	
9 ¹⁵ a. m.		180	S ₃	C ₃	34°36'	895	298	597	Humidité relative 67.
10 ¹⁵ a. m.		180	S ₂	C ₃	45°13'	1030	595	435	
12 ¹⁵ p. m.		180	S ₁₋₂	C ₆	55°9'	895	680	215	Humidité relative 73.
1 ¹⁵ p. m.		180	S ₃	C ₄	52°3'	1300	573	727	
2 ¹⁵ p. m.		180	S ₄	C ₅	44°59'	1300	513	787	Humidité relative 68.
5 ¹⁵ p. m.		180	S ₄	C ₅	8°32'	130	430	0	
7 ⁴⁵ a. m.		180	S ₄	C ₀	15°46'	317	157	160	Humidité relative 67.
8 ¹⁵ a. m.		180	S ₄	C ₀	22°31'	625	191	434	
29 janvier	9 ¹⁵ a. m.	180	S ₄	C ₀	34°48'	1190	260	930	Humidité relative 68.
	11 ⁴⁵ a. m.	180	S ₄	C ₀	55°27'	1590	385	1205	
	1 ¹⁵ p. m.	180	S ₄	C ₃	54°3'	1300	447	853	Humidité relative 67.
	3 ¹⁵ p. m.	180	S ₄	C ₂	34°22'	895	385	510	
	4 ¹⁵ p. m.	180	S ₄	C ₂	21°56'	597	385	212	Humidité relative 73.
	7 ³⁰ a. m.	180	S ₄	C ₀	12°34'	220	130	190	
	8 ¹⁵ a. m.	180	S ₄	C ₀	22°35'	532	179	353	Humidité relative 67.
	9 ²⁵ a. m.	180	S ₄	C ₀	36°46'	840	260	580	
	10 ¹⁵ a. m.	180	S ₄	C ₀	45°19'	1120	286	834	Humidité relative 73.
	11 ¹⁵ a. m.	180	S ₄	C ₀	54°55'	1300	293	1007	

Humidité relative 52.

Humidité relative 73.

Humidité relative 73.

Humidité relative 58.

Humidité relative 53.

180	S ₄	C ₁	55°51'	1190	270	920
180	S ₄	C ₂	52°33'	1300	298	4002
180	S ₄	C ₄	45°23'	4190	410	780
180	S ₄	C ₄	34°48'	795	340	445
180	S ₄	C ₃	8°42'	451	451	0
180	S ₄	C ₀	22°47'	433	205	228
180	S ₄	C ₀	37°0	1025	298	722
180	S ₄	C ₁₋₂	47°43'	1120	333	787
180	S ₄	C ₃	54°21'	1300	340	960
180	S ₃	C ₅	57°45'	4300	447	853
180	S ₀	C ₅	52°51'	575	575	0
180	S ₀₋₁	C ₅	45°42'	595	595	0
180	S ₄	C ₄	34°37'	1400	540	590
180	S ₄	C ₆	22°12'	715	357	358
180	S ₄	C ₆	8°50'	204	204	0

TAPACHULA — FINCA¹ SAN ANTONIO — FINCA MARAVILLA FINCA HAMBURGO — NIQUIHUIL

1er février	8 ²⁵ a. m.	180	S ₄	C ₀	24°46'	650	243	437	Humidité relative 62.
	9 ¹⁵ a. m.	180	S ₄	C ₀	35°2'	4025	260	765	
	10 ⁴⁵ a. m.	180	S ₄	C ₀	45°36'	1490	357	833	
	12 ¹⁵ a. m.	180-700	S ₄	C ₂	53°36'	1430	377	4053	
	12 ⁴⁵ a. m.	180-700	S ₄	C ₄	56°53'	1590	493	1097	Humidité relative 49.
	1 ¹⁵ p. m.	180	S ₀	C ₈	53°6'	407	407	0	
2 février	9 ¹⁵ a. m.	1220	S ₄	C ₀	36°42'	4400	204	896	
	11 ¹⁵ a. m.	1220	S ₄	C ₀	53°2'	4490	204	996	
	1 ⁰⁰ p. m.	1000	S ₄	C ₀	54°06'	1190	332	858	
	2 ¹⁵ p. m.	1000	S ₄	C ₄	46°4'	4300	680	620	Humidité relative 63.
3 février	10 ⁴⁵ a. m.	500	S ₄	C ₃	50°21'	4400	347	783	

¹ Finca désigne dans les Etats méridionaux du Mexique une plantation, un domaine, *Hacienda* est le nom équivalent dans le nord du Mexique.

Date.	Heure.	Altitude.	Soleil.	Ciel.	Hauteur du soleil.	I _t	I _a	I _s	Humidité relative en %.		
4 février	8 ⁴⁵ a. m.	600	S ₄	C ₁	29°22'	715	260	455	Humidité relative 75.		
	44 ¹⁵ a. m.	630	S ₄	C ₂	56°8'	1430	407	4023			
	7 ²⁵ a. m.	570	S ₄	C ₀	44°56'	260	436	424			
	8 ⁴⁵ a. m.	570	S ₄	C ₀	29°31'	840	260	580			
6 février	44 ¹⁵ a. m.	930	S ₄	C ₁	55°54'	2040	387	1653	Humidité relative 62.		
	3 ¹⁵ p. m.	4000	S ₀	C ₅	35°38'	460	460	0	Humidité relative 73.		
	4 ¹⁵ p. m.	4250	S ₀	C ₁₀	22°11'	220	220	0			
	7 ¹⁵ a. m.	4120	S ₄	C ₀	9°50'	204	95	109			
	8 ¹⁵ a. m.	4420	S ₄	C ₀	23°22'	840	496	644			
	40 ⁴⁵ a. m.	4210	S ₄	C ₂	51°14'	1300	407	893			
42 ¹⁵ p. m.	4420	S ₂	C ₅	58°23'	4190	755	435				
7 février	8 ¹⁵ a. m.	4420	S ₄	C ₁	23°28'	895	238	657	Humidité relative 80.		
	44 ¹⁵ a. m.	2220	S ₄	C ₃	56°24'	4300	312	988			
	42 ¹⁵ p. m.	2220	S ₂₋₃	C ₄	37°43'	1300	550	750			
	3 ¹⁵ p. m.	2700	S ₂	C ₉	35°56'	840	595	245			
	4 ¹⁵ p. m.	2720	S ₂	C ₉	23°16'	840	595	245			
	5 ¹⁵ p. m.	2720	S ₃₋₄	C ₇	9°40'	220	451	69			
	8 février	7 ¹⁵ a. m.	2750	S ₄	C ₀	48°8'	214	92		122	Humidité relative : à 4 ⁴⁵ p. m., 57. à 7 ³⁰ p. m., 86.
		8 ¹⁵ a. m.	2750	S ₄	C ₀	23°34'	375	125		250	
		9 ¹⁵ a. m.	2750	S ₄	C ₀	36°18'	755	471		584	
		40 ¹⁵ a. m.	2750	S ₄	C ₀	47°20'	4400	224		876	
44 ¹⁵ a. m.		2750	S ₄	C ₁	56°42'	4100	220	880			
42 ¹⁵ p. m.		2750	S ₄	C ₂	59°3'	4400	227	873			
4 ¹⁵ p. m.		2750	S ₃	C ₄	55°2'	4025	332	693			
2 ¹⁵ p. m.		2750	S ₀	C ₉	47°22'	477	477	0			
3 ¹⁵ p. m.		2750	S ₀	C ₉	35°48'	573	373	0			
4 ¹⁵ p. m.		2680	S ₂	C ₉	23°8'	477	318	459			
8 ⁴⁵ a. m.		2750	S ₄	C ₀	30°10'	477	430	347			
9 ¹⁵ a. m.		2750	S ₄	C ₀	36°30'	650	443	507			
40 ¹⁵ a. m.		2750	S ₄	C ₀	47°36'	4025	143	882			
44 ¹⁵ a. m.		2750	S ₄	C ₀	57°	795	451	644			
42 ¹⁵ p. m.		2750	S ₄	C ₁₋₂	59°23'	840	459	681			

NIQUIHUIL

NIQUIHUIL — TACANA — HACIENDITA-VOLCAN IACANA
NIQUIHUIL — MOTOCINTLA

9 février	4 ²⁵ p. m.	3140	S ₁	C ₃₋₁	53°54'	4100	297	873	
	4 ⁴⁵ p. m.	3250	S ₁	C ₂₋₃	52°44'	4025	213	812	
	2 ¹⁵ p. m.	3280	S ₁	C ₁₋₂	47°48'	840	204	636	
	3 ¹⁵ p. m.	3450	S ₁	C ₁₋₂	36°42'	625	473	472	
	4 ¹⁵ p. m.	2580	S ₄	C ₁	23°26'	377	457	220	
	3 ¹⁵ p. m.	2430	S ₄	C ₁	9°52'	468	75	93	
	9 ¹⁵ a. m.	2520	S ₄	C ₀	36°42'	528	436	392	
	10 ¹⁵ a. m.	2520	S ₄	C ₀	47°50'	715	148	567	
	11 ¹⁵ a. m.	2740	S ₁	C ₀	57°18'	4190	204	986	
	4 ²⁵ p. m.	3030	S ₁	C ₀	59°47'	840	159	681	
11 février	1 ¹⁵ p. m.	3260	S ₄	C ₀	55°36'	895	194	704	
	2 ⁰⁰ p. m.	3250	S ₄	C ₂	39°10'	4025	243	812	
	3 ¹⁵ p. m.	3150	S ₃	C ₅	36°26'	259	259	0	
	6 ⁴⁵ a. m.	4050	S ₃	C ₃	3°32'	88	66	22	
	7 ¹⁵ a. m.	4050	S ₃	C ₂	10°26'	174	92	82	
	8 ¹⁵ a. m.	4050	S ₁	C ₂	36°52'	955	162	793	
	10 ¹⁵ a. m.	4050	S ₃	C ₂	48°27'	493	419	374	
	11 ¹⁵ a. m.	4050	S ₁	C ₄	57°38'	595	486	409	
	12 ¹⁵ p. m.	4050	S ₀	C ₇	60°37'	386	386	0	
	1 ¹⁵ p. m.	4050	S ₄	C ₇	55°54'	895	477	448	
12 février	8 ¹⁵ a. m.	3250	S ₃	C ₂	24°10'	251	95	456	
	10 ¹⁵ a. m.	2920	S ₃	C ₄	48°16'	755	292	463	
	7 ¹⁵ a. m.	2750	S ₂	C ₆	10°38'	468	407	61	
	9 ⁴⁵ a. m.	2750	S ₂₋₃	C ₅	37°12'	510	269	244	
	10 ⁰⁵ a. m.	2750	S ₂	C ₄	46°36'	408	347	91	
13 février	12 ¹⁵ p. m.	2000	S ₂₋₃	C ₆	61°18'	795	548	247	
	14 février	8 ¹⁵ a. m.	1310	S ₁₋₂	C ₉	24°28'	433	376	57
		9 ¹⁵ a. m.	1340	S ₂	C ₈	37°24'	752	549	203
		10 ¹⁵ a. m.	1340	S ₃	C ₄	48°50'	4098	549	549
		11 ¹⁵ a. m.	1310	S ₂₋₃	C ₈	58°42'	4098	752	346

MOTOCINTLA

Humidité relative :
à 4⁴⁵ p. m., 49.
à 12³⁰ a. m., 94.
Volcan Tacana.
Humidité relative :
5¹⁵ a. m., 70; 6¹⁵ a. m., 42.
7¹⁵ a. m., 42; 8¹⁵ a. m., 69.
9¹⁵ a. m., 64; 10¹⁵ a. m., 61.
11¹⁵ a. m., 69; 12¹⁵ a. m., 41.
Haciendita (2900 m.):
4¹⁵ p. m., 47; 8¹⁵ p. m., 69.

Humidité relative :
8¹⁵ a. m., 68; 3¹⁵ p. m., 48¹/₂.
11⁰⁰ a. m., 47; 3⁴⁵ p. m., 53.
11⁴⁵ a. m., 41¹/₂; 4¹⁵ p. m., 57.

Date.	Heure.	Altitude.	Soleil.	Ciel.	Hauteur du soleil.	I_t	I_d	I_s	Humidité relative en %.
14 février	12 ¹⁵ p. m.	1310	S ₂₋₃	C ₇	61°42'	4297	794	503	12 ⁰⁰ , 44, 4 ³⁰ p. m., 58.
	1 ¹⁵ p. m.	1310	S ₂₋₃	C ₄	58°40'	1022	595	427	12 ¹⁵ p. m., 42 ¹ / ₂ ; 4 ⁴⁵ p. m., 60.
	2 ¹⁵ p. m.	1310	S ₂₋₃	C ₇	49°6'	953	680	273	12 ¹⁵ p. m., 41 ¹ / ₂ ; 3 ¹⁵ p. m., 68.
	3 ¹⁵ p. m.	1310	S ₄	C ₅	37°8'	1098	493	605	1 ¹⁵ p. m., 44; 3 ⁴⁵ p. m., 65.
	4 ¹⁵ p. m.	1310	S ₄	C ₄	24°12'	794	397	397	1 ⁴⁵ p. m., 44 ¹ / ₂ ; 6 p. m., 67.
	5 ¹⁵ p. m.	1310	S ₃₋₄	C ₃	10°31'	179	179	0	2 ⁴⁵ p. m., 48 ¹ / ₂ ; 8 ¹⁵ p. m., 70 ¹ / ₂ .
	8 ¹⁵ a. m.	1310	S ₃₋₄	C ₄	24°34'	595	341	284	Humidité relative: 9 a. m., 60.
15 février	9 ¹⁵ a. m.	1310	S ₃₋₄	C ₂	37°42'	894	348	546	10 ³⁰ a. m., 49.
	10 ¹⁵ a. m.	1310	S ₄	C ₂	49°2'	1098	366	732	11 ³⁰ a. m., 46.
	11 ¹⁵ a. m.	1310	S ₄	C ₃₋₄	58°48'	1297	340	957	12 ¹⁵ p. m., 47.
	12 ¹⁵ a. m.	1310	S ₄	C ₃₋₄	62°2'	1490	298	892	2 ⁴⁵ p. m., 51 ¹ / ₂ .
	1 ¹⁵ p. m.	1310	S ₄	C ₄	58°53'	1297	397	900	
	2 ¹⁵ p. m.	1310	S ₃	C ₅	49°12'	1098	477	624	
	3 ¹⁵ p. m.	1310	S ₂₋₃	C ₆	37°17'	794	622	172	
	4 ¹⁵ p. m.	1310	S ₂₋₃	C ₆	24°16'	549	433	416	
	5 ³⁰ p. m.	1310	S ₄	C ₆	6°52'	114	114	0	
	5 ⁴⁵ p. m.	1310	S ₄	C ₆	3°31'	47	47	0	

MOTOCINTLA — FINCA „LA NUEBA“ — SAN JUAN DEL RIO — ZAPALUTA
COMITÁN — SAN CRISTOBAL. LAS CASAS

Date.	Heure.	Altitude.	Soleil.	Ciel.	Hauteur du soleil.	I_t	I_d	I_s	Humidité relative en %.
16 février	8 ¹⁵ a. m.	840	S ₄	C ₀	24°43'	650	464	486	Humidité relative: 7 ¹⁵ a. m., 73.
	9 ¹⁵ a. m.	850	S ₄	C ₀	37°36'	1098	479	919	12 ¹⁵ p. m., 37.
	10 ¹⁵ a. m.	820	S ₄	C ₀	49°6'	1585	217	1368	6 ¹⁵ p. m., 53.
	11 ¹⁵ a. m.	730	S ₄	C ₀	58°46'	1785	348	4467	
	12 ¹⁵ p. m.	710	S ₄	C ₀	62°6'	2040	366	4674	
	1 ¹⁵ p. m.	700	S ₄	C ₁	58°48'	1785	325	4460	
	2 ¹⁵ p. m.	700	S ₄	C ₁₋₂	49°18'	1785	325	4460	
	3 ¹⁵ p. m.	700	S ₄	C ₁₋₂	36°47'	1430	265	1465	Humidité relative 6 ¹⁵ p. m., 53.
	4 ¹⁵ p. m.	540	S ₄	C ₀	10°54'	496	122	74	
	8 ¹⁵ a. m.	560	S ₄	C ₀	24°48'	622	464	458	Humidité relative: 5 a. m., 76.
	9 ¹⁵ a. m.	560	S ₄	C ₀	37°47'	1297	247	4050	10 ¹⁵ a. m., 38.
	10 ¹⁵ a. m.	560	S ₄	C ₀	49°56'	1585	333	4252	

41 ¹⁵ a. m., 37.	4474	314	4785	59 ^{08'}	C ₀	S ₄	540
42 ¹⁵ p. m., 35.	4239	494	4430	62 ^{012'}	C ₀	S ₄	540
	4247	213	4430	60 ^{032'}	C ₀	S ₄	540
	4149	284	4430	59 ^{034'}	C ₀	S ₄	540
	255	255	4098	49 ^{028'}	C ₁	S ₄	500
	583	314	894	37 ^{017'}	C ₁₋₂	S ₄	500
Humidité relative :	268	243	544	24 ^{026'}	C ₁₋₂	S ₄	500
5 ⁴⁵ p. m., 72	101	412	243	10 ^{046'}	C ₁₋₂	S ₄	500
Humidité relative 77,	431	455	286	10 ^{054'}	C ₀	S ₄	530
	463	251	744	24 ^{048'}	C ₀	S ₄	550
	892	298	4190	37 ^{047'}	C ₁	S ₃	570
	904	286	4190	49 ^{036'}	C ₁	S ₄	600
	872	318	4190	59 ^{08'}	C ₀	S ₄	710
	4287	298	4585	62 ^{012'}	C ₁	S ₄	1050
	773	325	4098	59 ^{034'}	C ₃	S ₄	4300
	0	622	622	49 ^{028'}	C ₆	S ₁	4450
Humidité relative :	0	464	464	24 ^{054'}	C ₀₋₁₀	S ₀	4500
12 ⁰⁰ , 52.	477	477	477	37 ^{057'}	C ₈	S ₁	4500
5 p. m., 78.	555	286	844	49 ^{020'}	C ₅	S ₄	4540
Humidité relative :	0	386	386	37 ^{057'}	C ₁₀	S ₀	1740
6 p. m., 66 ¹ / ₂ .	0	894	894	62 ^{035'}	C ₁₀	S ₁	2030

SAN CRISTOBAL — TENEGAPA — CANCOUC — CITALA — YAGALON — TRIUNFO
TRINIDAD — SALTO — ESCALON — PALENQUE

27 février	4200	2130	64 ^{021'}	C ₀	S ₄	637	Humidité relative :
	1 ⁰⁰ p. m.	2290	61 ^{033'}	C ₀	S ₄	750	14 ³⁰ p. m., 27.
	2 ⁰⁰ p. m.	2270	53 ^{033'}	C ₀	S ₄	569	2 p. m., 51.
	3 ⁰⁰ p. m.	2140	41 ^{031'}	C ₀	S ₄	504	
	4 ⁴⁵ p. m.	1970	47 ^{049'}	C ₆	S ₄	276	
1er mars	9 ¹⁰ a. m.	720	38 ^{034'}	C ₁	S ₄	736	
	10 ⁰⁰ a. m.	740	49 ^{047'}	C ₂	S ₄	286	Humidité relative :
	11 ⁰⁰ a. m.	990	58 ^{031'}	C ₄	S ₂₋₃	433	6 a. m., 79 ¹ / ₂ .
	12 ⁰⁰	4030	64 ^{021'}	C ₃	S ₄	1399	

Date.	Heure.	Altitude.	Soleil.	Ciel.	Hauteur du soleil.	I_1	I_d	I_s	Humidité relative en %.
1 ^{er} mars	2 ⁰⁰ p. m.	920	S ₂	C ₆	53°33'	953	595	358	10 a. m., 44. 6 ³⁰ p. m., 75 ¹ / ₂ .
	3 ⁰⁰ p. m.	940	S ₀	C ₉	44°31'	447	447	0	
	4 ¹⁰ p. m.	970	S ₃	C ₆	23°49'	752	325	427	Humidité relative: 7 a. m., 90. 12 ⁰⁰ , 55.
	5 ⁰⁰ p. m.	950	S ₄	C ₅	44°52'	493	238	255	
	8 ⁰⁰ a. m.	950	S ₁₋₂	C ₈	22°58'	447	348	99	
2 mars	12 ¹⁵ p. m.	800	S ₄	C ₆	65°01'	4297	447	850	Humidité relative 85.
	1 ³⁰ p. m.	750	S ₂	C ₈	59°02'	1098	595	503	
	2 ¹⁵ p. m.	750	S ₄	C ₅	50°34'	1190	325	865	
	3 ⁰⁰ p. m.	730	S ₂₋₃	C ₅	44°31'	844	511	330	
	8 ⁰⁰ a. m.	650	S ₁	C ₆	23°44'	549	304	245	
	9 ⁰⁰ a. m.	810	S ₁₋₂	C ₃	36°45'	650	408	242	
	10 ²⁰ a. m.	590	S ₄	C ₆	52°36'	1490	549	644	
	11 ⁰⁰ a. m.	490	S ₀	C ₆	59°03'	714	714	0	
	12 ⁰⁰	850	S ₀	C ₈	65°09'	844	844	0	
	1 ⁰⁰ p. m.	1000	S ₀₋₁	C ₉	61°51'	894	894	0	
4 mars	2 ⁰⁰ p. m.	1330	S ₀	C ₉	53°48'	622	622	0	Humidité relative: 10 a. m., 51. 12 ⁰⁰ , 53.
	10 ⁰⁰ a. m.	1000	S ₄	C ₁	49°28'	1190	477	713	
	11 ⁰⁰ a. m.	730	S ₄	C ₁	59°24'	1912	511	1401	
	12 ⁰⁰	600	S ₄	C ₄	65°30'	2210	650	1560	
	1 ²⁰ p. m.	260	S ₄	C ₅	60°30'	2040	511	1529	
	2 ⁰⁰ p. m.	180	S ₄	C ₅	53°04'	2040	511	1529	
	5 ⁰⁰ p. m.	180	S ₄	C ₂	44°43'	680	348	362	
	5 ³⁰ p. m.	180	S ₄	C ₁	7°48'	238	168	70	
	5 ⁵⁰ p. m.	180	S ₄	C ₀₋₁	3°06'	95	95	0	
	6 ⁰⁰ p. m.	180	S ₄	C ₀₋₁	0°42'	44	44	0	
5 mars	6 ¹⁵ p. m.	180	S ₄	C ₀₋₁	— 2°07'42"	11	11	0	Humidité relative: 6 a. m., 94. 9 a. m., 71. 12 ⁰⁰ , 49.
	7 ⁰⁰ a. m.	480	S ₄	C ₀₋₁	9°18'	360	180	180	
	8 ⁰⁰ a. m.	180	S ₄	C ₀	23°20'	894	270	624	
	9 ⁰⁰ a. m.	450	S ₄	C ₀	36°54'	4430	333	4097	
	10 ⁰⁰ a. m.	150	S ₄	C ₀	49°42'	1785	408	1377	
	11 ¹⁰ a. m.	150	S ₄	C ₁	60°28'	2040	408	1632	
	12 ⁰⁰	80	S ₄	C ₂	65°50'	2210	408	1802	
	1 ⁰⁰ p. m.	50	S ₄	C ₄	62°30'	2380	386	4994	
	2 ⁰⁰ p. m.	40	S ₄	C ₄	54°18'	2210	650	1560	

Humidité relative :
5 p. m., 54.

5 mars	3 ⁰⁰ p. m.	40	S ₁₋₂	C ₅	44°54'	953	744	239
7 mars	8 ²⁰ a. m.	60	S ₄	C ₁	28°34'	1098	408	690
	9 ⁰⁰ a. m.	60	S ₁	C ₁	37°27'	4190	433	757
	10 ⁰⁰ a. m.	60	S ₄	C ₁	50°24'	4785	549	1236
	11 ⁰⁰ a. m.	60	S ₄	C ₁	60°35'	4942	622	4290
	12 ⁰⁰	60	S ₄	C ₁	66°42'	2040	493	4547
	12 ¹⁵ p. m.	60	S ₄	C ₂	66°33'	2040	650	4390
	1 ⁰⁰ p. m.	60	S ₄	C ₂	63°09'	2380	572	4808
8 mars	7 ⁰⁰ a. m.	60	S ₃	C ₂	9°59'	360	238	422
	8 ⁰⁰ a. m.	60	S ₃	C ₂	20°02'	953	348	635
	9 ⁰⁰ a. m.	80	S ₄	C ₂	37°37'	4430	530	900
	10 ⁰⁰ a. m.	80	S ₄	C ₂	50°38'	2040	544	4529
	11 ⁰⁰ a. m.	80	S ₄	C ₁₋₂	60°59'	4942	530	4382
	12 ⁰⁰	100	S ₄	C ₅	67°03'	2040	595	4445
	1 ⁰⁰ p. m.	100	S ₄	C ₄	63°33'	4942	530	4448
	1 ⁵⁰ p. m.	100	S ₄	C ₃	56°37'	4585	366	4249

RUINES DE PALENQUE

								Humidité relative :
9 mars	7 ¹⁰ a. m.	400	S ₄	C ₀	42°32'	366	498	168
	8 ⁰⁰ a. m.	100	S ₄	C ₀	24°10'	744	286	428
10 mars	3 ⁰⁰ p. m.	200	S ₄	C ₀	42°36'	4430	376	1054
12 mars	8 ⁰⁰ a. m.	200	S ₄	C ₀	24°35'	844	286	555
	9 ³⁰ a. m.	200	S ₄	C ₀	45°12'	4490	366	824
	10 ⁰⁰ a. m.	200	S ₄	C ₀	51°48'	4430	447	983
	11 ⁰⁰ a. m.	200	S ₄	C ₀	62°30'	4785	447	4338
	12 ⁰⁰	200	S ₄	C ₀	68°36'	4785	433	4352
	2 ⁴⁵ p. m.	200	S ₄	C ₀	45°48'	4490	348	842

PALENQUE — MONTE CRISTO — RIVIÈRE USUMACINTA — FRONTERA

13 mars	8 ⁰⁰ a. m.	400	S ₄	C ₀	25°37'	794	376	448
	9 ⁰⁰ a. m.	400	S ₄	C ₀	38°37'	953	408	545
	2 ⁰⁰ p. m.	80	S ₄	C ₀	56°	4785	360	4425
16 mars	7 ¹⁰ a. m.	60	S ₃	C ₂	43°34'	544	348	463

Humidité relative :
7¹⁵ a. m., 91.

Date.	Heure.	Altitude.	Soleil.	Ciel.	Hauteur du soleil.	I _t	I _d	I _s	Humidité relative en %.
46 mars	8 ⁰⁵ a. m.	50	S ₃	C ₄	26°39'	4022	595	427	Humidité relative : 12 ⁰⁰ , 56, 3 p. m., 48, 6 ³⁰ p. m., 70.
	9 ¹⁰ a. m.	50	S ₀₋₁	C ₇	41°42'	714	714	0	
	10 ⁰⁰ a. m.	50	S ₄	C ₇	53°30'	4785	752	4033	
	11 ⁰⁰ a. m.	40	S ₄	C ₆	63°21'	1912	595	4347	
	12 ⁰⁰	40	S ₄	C ₇	69°23'	2210	714	4596	
	1 ¹⁰ p. m.	40	S ₄	C ₅	63°51'	1912	595	4347	
	2 ⁰⁰ p. m.	40	S ₄	C ₄	53°57'	4785	572	4243	
	3 ¹⁵ p. m.	30	S ₄	C ₄	39°44'	4430	572	858	
	4 ⁰⁰ p. m.	30	S ₃	C ₃	29°31'	1022	447	575	
	5 ³⁰ p. m.	30	S ₄	C ₄	8°36'	251	114	137	
47 mars	7 ¹⁰ a. m.	40	S ₀	C ₉	43°54'	420	420	0	
	8 ⁰⁰ a. m.	40	S ₁₋₂	C ₇	25°24'	572	544	64	
	9 ⁰⁰ a. m.	5	S ₃	C ₆	39°03'	1022	530	487	
	10 ⁰⁰ a. m.	3	S ₁	C ₆	51°53'	680	680	0	

FRONTÈRE

17 mars	11 ⁰⁰ a. m.	0	S ₁₋₂	C ₆	63°7'	4490	752	438	Humidité relative : 4 p. m., 46.
	12 ⁰⁰	0	S ₀	C ₉	68°6'	794	794	0	
	3 ⁰⁰ p. m.	0	S ₂	C ₇	45°36'	477	408	69	
	8 ⁰⁵ a. m.	0	S ₄	C ₀	27°48'	953	386	567	
	9 ¹⁰ a. m.	0	S ₄	C ₀	44°36'	4430	477	953	
	10 ⁰⁰ a. m.	0	S ₄	C ₀	52°21'	4785	447	4338	
	11 ⁰⁰ a. m.	0	S ₄	C ₀	63°24'	2040	477	4563	
	12 ⁰⁰	0	S ₄	C ₁	67°37'	2380	477	4903	
	1 ⁰⁰ p. m.	0	S ₄	C ₁	65°48'	2040	477	4563	
	2 ⁰⁵ p. m.	0	S ₄	C ₁	52°11'	4785	420	4365	
18 mars	3 ⁰⁰ p. m.	0	S ₄	C ₁	42°54'	1430	376	4054	Humidité relative : 7 ³⁰ a. m., 78, 4 p. m., 44, 1 ³⁰ p. m., 39.
	4 ⁰⁰ p. m.	0	S ₃	C ₁	29°42'	4190	493	697	
	5 ⁰⁰ p. m.	0	S ₃	C ₁	15°42'	572	304	268	
	6 ¹⁰ p. m.	0	S ₀	C ₀	0°22'	14	14	0	
	8 ⁰⁰ a. m.	0	S ₃₋₄	C ₁	26°03'	714	286	528	
	9 ⁰⁰ a. m.	0	S ₃	C ₃	39°31'	4098	408	690	
	10 ²⁰ a. m.	0	S ₃	C ₃	58°24'	4507	462	1045	

Humidité relative: 12⁰⁰, 47 1/2.

63°34'	4785	514	1274
69°22'	4785	572	4213
65°58'	4912	477	4435
58°41'	4430	744	716
42°39'	4430	745	715
29°47'	4190	622	368
45°47'	595	433	462
7°22'	243	486	27
— 0°53'	17	17	0
43°8'	477	261	245
30°38'	953	397	556
39°54'	4190	447	743
52°56'	4430	493	937
63°54'	4785	530	4255
69°47'	4785	572	4213
66°18'	4912	744	4498
55°46'	4785	595	4190
43°19'	4507	493	4012
29°47'	4022	433	589
45°32'	794	325	469
1°07'	82	63	19
4°37'	63	52	14
8°22'	340	479	461
22°32'	894	447	447
36°32°	4098	595	503
49°44'	4785	744	4071
63°31'	2040	650	4390
69°38'	2210	650	1560

Golfe du Mexique.

Golfe du Mexique.

Humidité relative :

7³⁰ a. m., 71.

12³⁰ p. m., 63.

6³⁰ p. m., 84 1/2 (Vera Cruz).

11 ⁰⁰ a. m.	0	S ₄	C ₂	63°34'	4785	514	1274
12 ⁰⁰	0	S ₃	C ₃	69°22'	4785	572	4213
1 ⁰⁰ p. m.	0	S ₄	C ₃	65°58'	4912	477	4435
2 ⁰⁰ p. m.	0	S ₂₋₃	C ₄	58°41'	4430	744	716
3 ⁰⁰ p. m.	0	S ₂₋₃	C ₄	42°39'	4430	745	715
4 ⁰⁰ p. m.	0	S ₂₋₃	C ₅	29°47'	4190	622	368
5 ⁰⁰ p. m.	0	S ₂	C ₇	45°47'	595	433	462
5 ³⁵ p. m.	0	S ₂	C ₇	7°22'	243	486	27
6 ¹⁰ p. m.	0	S ₄	C ₇	— 0°53'	17	17	0
7 ⁰⁵ a. m.	0	S ₄	C ₃	43°8'	477	261	245
8 ²⁰ a. m.	0	S ₃₋₄	C ₁	30°38'	953	397	556
9 ⁰⁰ a. m.	0	S ₄	C ₀	39°54'	4190	447	743
10 ⁰⁰ a. m.	0	S ₃	C ₁	52°56'	4430	493	937
11 ⁰⁰ a. m.	0	S ₄	C ₂	63°54'	4785	530	4255
12 ⁰⁰	0	S ₃	C ₃	69°47'	4785	572	4213
1 ⁰⁰ p. m.	0	S ₄	C ₅	66°18'	4912	744	4498
2 ⁰⁰ p. m.	0	S ₄	C ₃	55°46'	4785	595	4190
3 ⁰⁰ p. m.	0	S ₄	C ₃	43°19'	4507	493	4012
4 ⁰⁰ p. m.	0	S ₄	C ₃	29°47'	4022	433	589
5 ⁰⁰ p. m.	0	S ₃₋₄	C ₂	45°32'	794	325	469
6 ⁰⁰ p. m.	0	S ₃	C ₂	1°07'	82	63	19
6 ¹⁵ a. m.	0	S ₃	C ₅	4°37'	63	52	14
6 ⁴⁵ a. m.	0	S ₃	C ₅	8°22'	340	479	461
7 ⁴⁵ a. m.	0	S ₃	C ₆	22°32'	894	447	447
8 ⁴⁵ a. m.	0	S ₃₋₄	C ₆	36°32°	4098	595	503
9 ⁴⁵ a. m.	0	S ₄	C ₃	49°44'	4785	744	4071
10 ³⁰ a. m.	0	S ₄	C ₃	63°31'	2040	650	4390
11 ⁵⁵ a. m.	0	S ₄	C ₁₋₂	69°38'	2210	650	1560

VERA CRUZ

12 ⁴⁰ p. m.	0	S ₄	C ₁	68°2'	1912	549	1363
4 ⁴⁰ p. m.	0	S ₄	C ₁	59°54'	4912	549	4363
2 ⁵⁰ p. m.	0	S ₄	C ₁	45°31'	4507	549	958
3 ⁴⁰ p. m.	0	S ₄	C ₁	34°23'	1344	544	803
4 ⁴⁰ p. m.	0	S ₃	C ₁	20°18'	622	348	306

Date.	Heure.	Altitude.	Soleil.	Ciel.	Hauteur du soleil.	I ₁	I _d	I _s	Humidité relative en o/o.
22 mars	12 ¹⁵ p. m.	0	S ₄	C ₁	7°03'7"	2040	572	1468	
	1 ²⁰ p. m.	0	S ₄	C ₁	6°30'49"	2040	572	1468	
	2 ¹⁰ p. m.	0	S ₄	C ₁	5°40'11"	1912	530	1382	
	3 ⁰⁵ p. m.	0	S ₄	C ₂	4°20'18"	1785	493	1292	
	4 ⁰⁵ p. m.	0	S ₂	C ₃	2°28'28"	794	530	264	
	5 ⁰⁰ p. m.	0	S ₁	C ₆	1°54'3"	318	348	0	
23 mars	12 ⁰⁰	0	S ₃₋₁	C ₂	7°14'13"	2040	714	1326	
	1 ⁰⁰ p. m.	0	S ₄	C ₁	6°05'2"	2040	841	1499	
	1 ⁵⁵ p. m.	0	S ₄	C ₂	57°02'4"	2040	794	1246	

ORIZABA — SAN ANDRÈS CHALCHICOMULA — PIC D'ORIZABA
SAN ANDRÈS — ORIZABA

25 mars	10 ³⁰ a. m.	800	S ₄	C ₅	5°04'1"	2040	1430	610	
	12 ¹⁰ p. m.	1200	S ₄	C ₇	7°20'26"	2380	794	4586	
	10 ¹⁵ a. m.	1250	S ₄	C ₂	57°03'8"	4585	477	4108	
26 mars	2 ¹⁵ p. m.	2400	S ₄	C ₈	53°04'8"	1785	530	1255	
	9 ⁰⁰ a. m.	2600	S ₄	C ₃	4°10'16"	1297	325	972	
	4 ⁰⁰ a. m.	2600	S ₄	C ₃	55°04'2"	1430	340	1090	
27 mars	11 ⁰⁰ a. m.	2800	S ₄	C ₂	66°08'	1585	298	1287	
	12 ⁰⁵ p. m.	3050	S ₄	C ₄	7°20'34"	1430	325	1105	
	1 ¹⁰ p. m.	3500	S ₄	C ₃	66°06'	1190	340	850	
	2 ⁰⁰ p. m.	3800	S ₄	C ₃	57°01'2"	1060	340	720	
	3 ⁰⁵ p. m.	3850	S ₄	C ₂	42°05'3"	953	325	628	
	4 ⁰⁰ p. m.	4100	S ₄	C ₃	30°04'9"	923	311	612	
	4 ¹⁵ p. m.	4450	S ₄	C ₃	26°04'9"	894	304	590	
	5 ⁰⁰ p. m.	4000	S ₄	C ₃	16°02'4"	622	265	357	
	6 ⁰⁰ p. m.	4000	S ₄	C ₈	0°05'4"	87	62	25	
	7 ⁰⁰ a. m.	4900	S ₄	C ₁	43°05'0"	63	32	31	
28 mars	8 ⁰⁰ a. m.	5100	S ₄	C ₁	27°05'0"	179	63	146	
	9 ⁰⁰ a. m.	5200	S ₄	C ₄	41°04'5"	376	89	287	
	10 ⁰⁰ a. m.	5300	S ₄	C ₅	55°01'0"	447	114	333	
	11 ⁰⁰ a. m.	5500	S ₄	C ₇	66°05'0"	595	162	433	

Humidité relative :

6³⁰ a. m., 61 1/2,
2²⁰ p. m., 25 1/2; 8³⁰ p. m., 55.

Humidité relative :

Alt. 2600 m., 9¹⁵ a. m., 35.
» 2800 » 11¹⁵ a. m., 31.
» 3300 » 1 p. m., 34.
» 3900 » 3 p. m., 33.
» 4000 » 5³⁰ p. m., 39.
» 4000 » 2³⁰ a. m., 59.
» 5600 » 1 p. m., 75.

Humidité relative :

à Orizaba, 1200 m. altitude:
8 a. m., 75 1/2.
10 a. m., 59.

29 mars	5600	S ₄	C ₇	73°30'	622	168	454	11 a. m., 55.
	3000	S ₄	C ₂	27°55'	549	454	398	12 ⁰⁰ , 58 ^{1/2} .
	1200	S ₄	C ₄	73°40'	4190	261	929	2 ³⁰ p. m., 59.
	2500	S ₄	C ₄	73°20'	4144	234	940	4 ³⁰ p. m., 66.
30 mars	2500	S ₄	C ₂	61°25'	4098	286	812	5 ⁴⁵ p. m., 72; 7 p. m., 78.
	1200	S ₄						

MEXICO

3 avril	1100 a. m.	S ₄	C ₀	69°14'	755	457	598	Brumeux.
	1200	S ₄	C ₀	75°32'	955	238	717	»
	400 p. m.	S ₄	C ₀	70°08'	4060	260	800	»
	200 p. m.	S ₄	C ₀	58°21'	955	238	717	»
	300 p. m.	S ₄	C ₀	44°52'	775	499	576	»
	4 ¹⁵ p. m.	S ₄	C ₀	27°12'	477	468	309	»
	500 p. m.	S ₄	C ₀	16°42'	204	433	71	»
	600 p. m.	S ₄	C ₀	2°32'	27	27	0	»
	800 a. m.	S ₄	C ₀	29°33'	238	406	432	Légère brume.
	1000 a. m.	S ₄	C ₀	57°22'	595	443	452	»
	1100 a. m.	S ₄	C ₀	69°34'	750	443	607	»
	1200	S ₄	C ₀	75°52'	715	443	572	»
	100 p. m.	S ₄	C ₀	70°28'	745	430	585	»
	200 p. m.	S ₄	C ₀	58°38'	550	414	436	»
	300 p. m.	S ₃	C ₃	45°12'	397	430	267	»
	400 p. m.	S ₄	C ₅	31°07'	303	414	489	»
	500 p. m.	S ₄	C ₅	17°07'	468	402	66	»
	600 p. m.	S ₄	C ₅	2°42'	27	49	8	»
5 avril	8 ¹⁰ a. m.	S ₄	C ₀	31°58'	437	58	79	Humidité relative:
	900 a. m.	S ₄	C ₀	44°08'	650	443	507	Moyenne du 4-8 avril:
	1000 a. m.	S ₄	C ₀	57°32'	753	469	584	8 a. m., 48; 3 p. m., 27.
	1100 a. m.	S ₄	C ₀	69°54'	845	486	659	8 ¹⁵ a. m., 47; 4 p. m., 39.
	1200	S ₄	C ₀	76°02'	795	204	591	8 ⁴⁵ a. m., 47; 6 ³⁰ p. m., 41.
	400 p. m.	S ₄	C ₁	70°48'	745	220	485	10 a. m., 35; 7 ³⁰ p. m., 43.
	200 p. m.	S ₄	C ₂	58°46'	215	238	477	1200, 36.
	300 p. m.	S ₄	C ₂	45°28'	260	220	440	1 p. m., 36.
	400 p. m.	S ₃	C ₅	31°27'	357	199	458	2 p. m., 28.
6 avril	900 a. m.	S ₄	C ₀	44°13'	491	406	85	Forte brume.

Date.	Heure.	Altitude.	Soleil.	Ciel.	Hauteur du soleil.	I_t	I_d	I_s	Humidité relative en %.
6 avril	10 ^h 15 a. m.	2270	S ₁	C ₀	60°52'	477	168	309	
	11 ^h 00 a. m.	2270	S ₁	C ₃	70°09'	572	179	393	Légère brume.
	12 ^h 00	2270	S ₁	C ₄	76°42'	755	239	516	
	1 ^h 00 p. m.	2270	S ₀	C ₉	71°03'	155	155	0	Ciel avec nuages noirs.
7 avril	2 ^h 00 p. m.	2270	S ₀	C ₉	59°04'	95	95	0	
	3 ^h 00 p. m.	2270	S ₀	C ₁₀	45°33'	52	52	0	Pluie.
	9 ^h 00 a. m.	2270	S ₁	C ₀	44°32'	305	143	462	Forte brume.
	10 ^h 00 a. m.	2270	S ₁	C ₀	38°09'	573	205	368	Brume.
	11 ^h 00 a. m.	2270	S ₁	C ₀	70°36'	573	205	368	»
	12 ^h 00	2270	S ₁	C ₀	77°03'	623	191	432	»
	1 ^h 00 p. m.	2270	S ₁	C ₃	71°12'	650	191	459	»
	2 ^h 00 p. m.	2270	S ₁	C ₈	58°59'	305	305	0	Nuages noirs.
	3 ^h 00 p. m.	2270	S ₀	C ₉	45°26'	130	130	0	Eclaircies.
	4 ^h 00 p. m.	2270	S ₀	C ₉	31°28'	165	165	0	
8 avril	5 ^h 00 p. m.	2270	S ₀	C ₈	17°28'	106	106	0	
	9 ^h 00 a. m.	2270	S ₁	C ₁	44°42'	260	125	435	Brume.
	10 ^h 00 a. m.	2270	S ₁	C ₂	58°24'	715	205	510	Légère brume.
	12 ^h 00	2270	S ₁	C ₂	77°28'	895	220	675	»
	1 ^h 00 p. m.	2270	S ₁	C ₃	71°27'	895	252	643	
	2 ^h 00 p. m.	2270	S ₁	C ₅	59°14'	843	243	600	
	3 ^h 00 p. m.	2270	S ₁	C ₃	45°36'	751	238	513	
	4 ^h 00 p. m.	2270	S ₂	C ₉	31°33'	387	260	427	
	5 ^h 00 p. m.	2270	S ₀	C ₁₀	17°33'	114	114	0	
	9 ^h 00 a. m.	2270	S ₁	C ₂	44°47'	573	220	353	
9 avril	10 ^h 00 a. m.	2270	S ₃	C ₅	58°34'	715	340	375	
	11 ^h 00 a. m.	2270	S ₁	C ₂	71°06'	955	286	669	De 3 à 5 p. m., orage.
	12 ^h 00	2270	S ₁	C ₂	77°48'	955	297	658	
	1 ^h 00 p. m.	2270	S ₁	C ₅	71°42'	955	340	615	
	8 ^h 00 a. m.	2270	S ₄	C ₀	30°36'	308	159	149	
	9 ^h 00 a. m.	2270	S ₁	C ₀	45°01'	511	220	291	
	10 ^h 00 a. m.	2270	S ₄	C ₀	58°47'	650	260	390	
	11 ^h 00 a. m.	2270	S ₄	C ₀	71°38'	815	220	595	
	12 ^h 00	2270	S ₄	C ₀	78°12'	955	196	759	
	1 ^h 00 p. m.	2270	S ₄	C ₀	71°53'	840	185	655	
2 ^h 00 p. m.	2270	S ₄	C ₀	59°12'	795	179	616		

Humidité relative :

9³⁰ a. m., 53.12¹⁵ p. m., 32.3¹⁵ p. m., 36.6³⁰ p. m., 31.

9 p. m., 39.

Humidité relative :
8⁰⁰ a. m., 37.
42⁰⁰, 30.
3 p. m., 34.
6 p. m., 26.
9 p. m., 34.

Humidité relative :
9 a. m., 40.
12⁰⁰, 37.
3 p. m., 30.

IRAPUATO — GUADALAJARA — LAC DE CHAPALA

Date	Time	Temp (°C)	Wind Dir	Wind Spd	Humidity (%)	Relative Humidity (%)
14 avril	3 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₄	45°28'	753	473
	4 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₄	31°24'	625	455
	5 ¹⁵ p. m.	2270	S ₄	43°32'	238	92
	8 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₄	30°56'	124	79
	9 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₄	45°16'	409	430
	10 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₄	58°57'	510	443
	11 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₄	71°43'	620	443
	12 ⁰⁰	2270	S ₄	78°32'	1020	203
	1 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₄	71°58'	795	479
	2 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₄	59°22'	755	466
	3 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₄	45°43'	595	447
	4 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₄	31°24'	333	414
12 avril	5 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₄	47°14'	204	79
	6 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₄	3°9'	24	24
	8 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₄	30°56'	451	79
	9 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₄	45°16'	575	491
	10 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₄	59°2'	715	217
	11 ⁰⁰ a. m.	2270	S ₄	71°48'	840	220
	12 ⁰⁰	2270	S ₄	78°57'	840	217
	1 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₄	72°63'	755	491
	2 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₄	59°27'	650	203
	3 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₄	45°43'	530	491
	4 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₀	31°24'	130	130
	5 ⁰⁰ p. m.	2270	S ₀	47°14'	74	74
15 avril	9 ¹⁰ a. m.	4600	S ₄	47°35'	714	217
	8 ⁵⁰ a. m.	4500	S ₄	43°	477	133
	9 ⁵⁰ a. m.	4500	S ₄	56°50'	622	144
	10 ⁵⁰ a. m.	4500	S ₄	69°50'	782	143
	11 ⁵⁰ a. m.	4500	S ₄	78°43'	794	144
	7 ⁰⁰ a. m.	4500	S ₁₋₂	47°27'	132	114
	8 ⁰⁰ a. m.	4500	S ₂	31°30'	340	238
	9 ⁰⁰ a. m.	4500	S ₃	45°25'	894	318
	10 ⁰⁰ a. m.	4500	S ₃	59°	894	462
	11 ⁰⁰ a. m.	4500	S ₄	72°10'	4144	549
	12 ⁰⁰ a. m.	4500	S ₃	79°45'	4144	493

Humidité relative :
7 a. m., 32.
4 p. m., 31.
4⁴⁵ p. m., 29.
7 p. m., 26; 10 p. m., 30.
Lac de Chapala :
Humidité relative :
6³⁰ a. m., 57.
8 a. m., 57.
9 a. m., 61.
9⁴⁵ a. m., 52.

Date.	Heure.	Altitude.	Soleil.	Ciel.	Hauteur du soleil.	Ht	Ia	I _s	Humidité relative en 0.0.	
17 avril	100 p. m.	1500	S ₃₋₄	C ₅	72010'	1022	408	614	11 a. m., 57.	
	200 p. m.	1500	S ₂	C ₇	590	477	366	111	1200, 41.	
	300 p. m.	1500	S ₄	C ₄	45025'	595	231	364	4 ³⁰ p. m., 37.	
	400 p. m.	1500	S ₂₋₃	C ₆	31030'	333	491	142	10 p. m., 51.	
	4 ³⁰ p. m.	1500	S ₃	C ₅	24045'	366	191	175		
	500 p. m.	1500	S ₂	C ₅	17027'	223	155	68		
	600 p. m.	1500	S ₃₋₄	C ₅	3033'	36	36	0		
	800 a. m.	1500	S ₂	C ₉	31030'	265	207	58		
	900 a. m.	1500	S ₂	C ₈	45025'	318	255	63		
	1000 a. m.	1500	S ₂	C ₈	590	447	333	144		
18 avril	11 ²⁵ a. m.	1500	S ₃	C ₈	76015'	714	366	348		
	1200	1500	S ₂₋₃	C ₉	79045'	752	386	366		
	100 p. m.	1500	S ₀	C ₁₀	72010'	292	292	0		
	200 p. m.	1500	S ₁	C ₉₋₁₀	590	304	304	0		
	300 p. m.	1500	S ₁	C ₉₋₁₀	45025'	275	275	0		
	400 p. m.	1500	S ₂	C ₉₋₁₀	31030'	333	220	143		
	28 avril	800 a. m.	2100	S ₄	C ₁	32032'	447	155	292	
		900 a. m.	2100	S ₄	C ₁	44048'	572	217	355	
		1000 a. m.	2100	S ₄	C ₁	55056'	682	238	449	Plateau de l'Arizona.
		1200	2100	S ₄	C ₁	68032'	842	238	604	
100 p. m.		2100	S ₄	C ₂	64011'	955	286	669		
200 p. m.		2100	S ₃	C ₃₋₄	5504'	842	310	532		
300 p. m.		2100	S ₄	C ₃	43052'	680	179	501		
4 ³⁰ p. m.		2100	S ₄	C ₄	25032'	550	155	395		
500 p. m.		2100	S ₄	C ₄	19050'	377	119	258		
600 p. m.		2100	S ₄	C ₄	7047'	275	109	166		
29 avril	8 ³⁰ a. m.	1800	S ₄	C ₁	38033'	220	75	145	Descente à la rivière (alti- tude 770 m.)	
	9 ³⁰ a. m.	1400	S ₄	C ₁	50026'	510	159	351	Humidité relative (alt. 2120 m.)	
	1000 a. m.	1150	S ₄	C ₂	55056'	650	231	419	1200, 30 à 39.	
	1100 a. m.	800	S ₃	C ₃	64047'	795	256	539	6 ³⁰ p. m., 38 à 48.	
	1200	770	S ₃	C ₃	68032'	715	203	512	Humidité relative (alt. 770 m.)	
	1 ³⁰ p. m.	770	S ₃	C ₃	59046'	893	260	633	11 ³⁰ a. m., 25.	
	2 ³⁰ p. m.	1200	S ₃₋₄	C ₅	49034'	680	217	463	12 ³⁰ p. m., 29.	
	3 ³⁰ p. m.	1330	S ₃	C ₄	37027'	715	173	542		

La Flore bryologique des blocs erratiques du Jura

PAR

Ch. MEYLAN

Si les blocs erratiques siliceux laissés sur les flancs et dans les combes du Jura par les glaciers quaternaires ont été étudiés maintes fois par les géologues, tant au point de vue de leur composition chimique qu'à celui de leur origine, ils ont rarement été, jusqu'à maintenant, le sujet de recherches spéciales au point de vue de leur flore. Cette flore, il est vrai, ne frappe guère, étant formée de cryptogames : mousses, lichens ; mais, elle n'en est pas moins des plus intéressante, parce que son étude attentive permet d'élucider certains problèmes de biologie. Pour combler cette lacune, j'ai cherché, pendant que bon nombre de blocs sont encore indemnes, à étudier d'une façon aussi complète que possible leur flore bryologique, tout en la comparant à celle des blocs jurassiens leurs voisins ; et c'est le résultat de mes recherches qui fait l'objet du présent travail.

Pendant les dix dernières années, j'ai visité des milliers de blocs dans toute la chaîne, principalement, dans les régions où ils sont le plus en danger de disparaître par suite d'une exploitation poussée à fond comme c'est le cas dans les districts d'Orbe et de Cossonay. Il est malheureux que cette étude n'ait pas été entreprise il y a un demi-siècle et même davantage, car certainement un certain nombre d'espèces rares ont dû disparaître complètement du Jura, principalement parce que ce sont les gros blocs qui,

toutes proportions gardées, sont les plus riches en espèces et que précisément ce sont surtout ces gros blocs qui ont été réduits en pièces par les graniteurs. Avant donc que la plupart des non protégés aient disparu, j'ai cherché à en visiter le plus grand nombre, tous si c'était possible, et mes recherches ont été couronnées de succès. Je dirai, d'autre part, à la louange des communes neuchâteloises et de quelques communes vaudoises et bernoises, qu'un grand nombre de blocs ont été déclarés inviolables. Tout en restant les témoins de l'extension du glacier du Rhône, ils garderont longtemps aussi, je l'espère, les mousses rares qui les ont choisis comme support.

Il n'entre pas dans le cadre de cette étude de faire l'histoire des recherches géologiques sur les blocs erratiques ou des tentatives faites par les sociétés savantes et divers amis de la nature pour assurer leur conservation, mais je me permettrai de saluer en passant ces efforts, et de féliciter les autorités communales qui, montrant un esprit élevé, ont su consentir à quelques sacrifices pour maintenir intacts un certain nombre des plus beaux monuments de l'extension glaciaire.

S'il est un genre de recherches qui puisse mettre en lumière la réalité de ce qu'on appelle l'édaphisme chimique, c'est bien l'étude des mousses et des cryptogames en général des blocs erratiques du Jura. Nombreuses sont les espèces qui, dans toute la chaîne, ne se rencontrent que sur les granits, gneiss, quartzite, etc. C'est surtout dans les stations sèches et bien ensoleillées qu'on peut le mieux juger de la différence considérable existant entre la flore bryologique des blocs siliceux et celle des blocs calcaires placés dans les mêmes conditions; par contre, plus l'humidité est grande, plus l'apport des particules du sol calcaire environnant augmente, et plus aussi s'effacent les différences essentielles observées sur les blocs nus et secs, et l'on est parfois surpris de rencontrer sur des blocs

nettement achaliques, tout un mélange de formes calcifuges et de formes calcicoles. Si au premier abord ces cas paraissent infirmer la théorie de l'édaphisme chimique, une étude attentive permet de s'assurer que des espèces nettement calcicoles se trouvent parfaitement à leur aise sur un bloc de quartzite où le vent et l'eau de ruissellement leur apportent suffisamment de matériaux calcaires, ces mêmes matériaux pouvant empêcher, d'autre part, certaines espèces par trop calcifuges de s'établir sur le même bloc. C'est principalement dans les gorges, le long des torrents, que l'on voit le mieux ce phénomène se produire, surtout sur les faces peu inclinées des blocs. Il faut ajouter, d'autre part, pour être logique, que le nombre des espèces franchement calcicoles est fort restreint et très inférieur à celui des espèces nettement calcifuges.

En 1894, Amann, sur les 37¹ mousses connues habitant les blocs erratiques du Jura, en indiquait 17 comme nettement calcifuges.

Actuellement, ces calcifuges sont au nombre de 45¹ et sur les 115¹ autres espèces pouvant se rencontrer sur les blocs alpins, 20¹ seulement sont plus ou moins nettement calcicoles.

Si les blocs franchement siliceux, ou si l'on veut achaliques, se couvrent fréquemment, dans le Jura, de mousses calcicoles, aussi bien que de calcifuges, la réciproque n'existe pas, car c'est en vain que l'on chercherait, sur les blocs calcaires voisins, une seule espèce calcifuge : les blocs siliceux gardent jalousement la flore qui leur est propre.

Si cette flore calcifuge tranche nettement sur la flore autochtone du Jura, si elle est riche dans son ensemble, elle varie peu d'un bloc à un autre si ces blocs sont placés dans les mêmes conditions. Avec un peu d'habitude, on peut, d'une certaine distance, faire l'énumération des

¹ Dans ces nombres ne figurent pas les hépatiques.

espèces croissant sur le bloc que l'on va visiter pour la première fois sans que l'étude consciencieuse change beaucoup le résultat des prévisions.

Il y a donc des associations d'espèces correspondant aux associations de conditions physiques, et, à ce point de vue, on peut diviser les blocs erratiques du Jura en trois classes :

1° Les blocs situés en pleine lumière et exposés aux intempéries ;

2° Les blocs situés dans les forêts ;

3° Les blocs situés dans les gorges et les ravins.

Etudions chacune de ces catégories, tout en faisant remarquer qu'il ne saurait y avoir de limites précises entre elles.

BLOCS SITUÉS EN PLEINE LUMIÈRE.

Rentrent dans cette catégorie, les blocs qui, bien exposés au soleil, lavés par la pluie, brossés par le vent, ne reçoivent aucun apport calcaire appréciable, et représentent un support nettement achalcique. On les rencontre dans les pâturages, à la lisière sud des forêts, sur les versants exposés au midi. Comme types de ces blocs, je citerai ceux de la zone de la Mathoulaz au Suchet, du Mont-de-Baulmes, de la Pidouze près Mauborget, de la Montagne de Boujean près Bienne.

Beaucoup d'entre eux, extrêmement secs, ne sont couverts que de lichens, principalement de *Rhizocarpon*, *Lecidea*, *Parmelia*, etc. ; à leur base, du côté nord, se rencontrent pourtant presque toujours quelques tiges de *Pterigynandrum*, *Hypnum cupressiforme*, *Dicranum longifolium*, etc.

Laplupart d'entre eux supportent : *Dicranum longifolium* ; *Dryptodon Hartmanni*, l'espèce ubiquiste des erratiques ; *Grimmia commutata*, *G. pulvinata*, *Schistidium apocarpum*, *Hedwigia*, *Orthotrichum rupestre*, *O. saxatile*, *Pterigynandrum filiforme*, *Hypnum cupressiforme* et variétés.

On y rencontre plus rarement : *Ditrichum flexicaule*, *Tortula aciphylla*, *Schistidium confertum*, *Grimmia leucophaea*, *G. Mühlenbeckii*, *G. trichophylla*, *G. elatior*, *G. ovata*, *G. decipiens*, *Dryptodon patens*, *Leucodon. Anomodon viticulosus*, *Brachythecium populeum*, etc.; comme hépatiques, les *Frullania dilatata* et *fragilifolia*.

C'est certainement sur un bloc rentrant dans cette catégorie, que Leresche a trouvé, au pied du Suchet, *Pterogonium gracile*.

Sur les espèces indiquées plus haut, quelques-unes : *Tortulla aciphylla*, *Dryptodon patens*, ne descendent pas au-dessous de 1000 m. Leresche indique pourtant le *Dryptodon* à Mont-sur-Rolle (non vidi). Pour *Schistidium confertum*, *Grimmia trichophylla*, *G. Mühlenbeckii*, la limite inférieure est à 700 m.

Répartition des espèces : 60% calcifuges, 40% indifférentes.

Les blocs calcaires placés dans les mêmes conditions portent : *Ditrichum flexicaule*, *Tortella tortuosa*, *Schistidium apocarpum*, *Orthotrichum saxatile*, *Camptothecium lutescens*, etc.

BLOCS SITUÉS DANS LES FORÊTS.

Une certaine fraîcheur, l'absence d'une lumière trop vive, modifient ou même changent complètement la flore bryologique des blocs de la catégorie précédente. Les pleurocapes deviennent plus nombreuses, principalement dans la région inférieure. Le nombre des indifférentes ou des calcicoles préférées est plus grand et fréquemment aussi celui des ubiquistes.

La plupart des blocs de quelque dimension portent : *Dicranum scoparium*, *D. longifolium*, *Ditrichum flexicaule*, *Dryptodon Hartmanni*, *Antitrichia curtispindula*, *Neckera crispa* et *complanata*, *Homalia trichomanoides*, *Anomodon viticulosus*, *Pterigynandrum filiforme* et sa

variété *heteropterum* si le bloc est frais, *Isothecium myurum*, *Brachythecium populeum*.

Eurhynchium Swartzii, *Rhyncostegium murale*, *Plagiothecium denticulatum*, *Ruthei* ou *P. sylvaticum* à la base de la chaîne, *P. depressum*, *Hypnum molluscum*.

Si l'apport de terre est suffisant, on trouve les *Eurynchium striatum*, *Hylocomium triquetrum*, *splendens* et *loreum*, etc.

Les espèces suivantes se rencontrent plus rarement : *Dicranum fulvum*, *D. viride*, *D. Muhlenbeckii*, *Trichostomum cylindricum*, *Tortella tortuosa* et *fragilis*, *Grimmia ovata*, *Ulota americana*, *Orthotrichum urnigerum*, *Bryum elegans*, *Rhodobryum roseum*, *Mnium cuspidatum*, *M. spinosum*, *M. orthorynchum*, *Polytrichum formosum*, *Leucodon sciuroides*, *Thuidium pseudotamarisci* et *recognitum*, *Leskea catenulata*, *Ptychodium plicatum*, *Anomodon attenuatus*, *Homalethecium Philippeanum*, *Brachythecium rutabulum* et *Starkei*, *Eurhynchium velutinoides*, *E. striatulum*, *Vaucheri*, *Hypnum Sommerfeltii*, *H. palustre*, *Hylocomium brevirostre*.

On y rencontre un certain nombre d'hépatiques, ce sont : *Metzgeria furcata* et *conjugata*, *Sphenolobus ex sectus*, *Plagiochila asplenoides*, *Lophozia barbata* et *Lyoni*, *Pleuroschisma implexum*, *Blepharostoma trichophyllum*, *Scapania aequiloba*, *Radula complanata*, *Madotheca platyphylla*, *Baueri*, *rivularis*, *Lejeunea serpyllifolia*, *Frullania tamarisci*, *dilatata* et *fragilifolia*.

Parmi les espèces ci-dessus, un petit nombre ne s'élèvent guère au-dessus de 800 m., ainsi *Homalia*, *Thuidium recognitum*, *Anomodon attenuatus*, *Hylocomium brevirostre*. Par contre, le *Ptychodium* et le *M. orthorynchum* ne descendent guère au-dessous de 1000 m.

J'ai, d'autre part, remarqué que certaines espèces, très abondantes dans une certaine portion de la chaîne, deviennent rares ou introuvables dans d'autres régions. *Plagio-*

thecium depressum, par exemple, très fréquent de Montricher à Baulmes, est rare plus au nord. Le contraire a lieu pour *Ulota americana*.

Les *Grimmia* m'ont paru rares dans le Jura neuchâtelois, excepté l'ubiquiste *Dryptodon Hartmanni*, qui, lui-même, était moins abondant que dans le Jura vaudois.

Répartition des espèces :

nettement calcifuges	30 %
» calcicoles	10 %
indifférentes . . .	60 %

En comparant la flore bryologique des blocs alpins de cette catégorie à celle des blocs calcaires de nos forêts jurassiennes, il est facile de constater que le nombre des espèces communes aux deux flores est très élevé et ascende entre 60 et 70 %. Seize calcifuges font complètement défaut sur les blocs calcaires.

Avant de clore ce paragraphe, je veux dire quelques mots d'un grand nombre de blocs qui, autrefois, étaient à l'ombre des sapins, et qui, par suite de coupes rases, sont actuellement en plein soleil ou depuis peu seulement abrités de nouveau par une nouvelle génération de jeunes arbres. Ces blocs-là ont complètement perdu leur ancienne flore et ne sont recouverts que d'espèces ubiquistes. A ce sujet, je dirai que là où les forêts ont été maintes fois transformées, jardinées, reconstituées, près des villes par exemple, c'est le cas au-dessus de Neuchâtel, rares sont les blocs dont la flore bryologique est quelque peu variée et intéressante. L'ancienne flore, chassée de ses stations ensuite des changements physiques produits par le déboisement, a été remplacée par une flore formée uniquement d'ubiquistes, c'est-à-dire d'espèces mieux armées pour le « Struggle for life ».

C'est entre 800 m. et leur limite altitudinale que l'on rencontre actuellement le plus grand nombre de blocs inté-

ressants soit par leur volume, soit surtout par leur flore riche et variée : flore qui, depuis des siècles, n'a pas subi de changements notables. A cette altitude, surtout lorsque la forêt dans laquelle les blocs reposent, est d'un accès plutôt difficile, et qu'aucune coupe rase n'a été effectuée, les variations survenues dans les conditions physiques, variations de lumière et de chaleur, n'ont point encore été assez considérables pour amener des changements importants dans la flore bryologique. Plus bas, à proximité des villages, les rares gros blocs non exploités sont devenus des lieux communs, leur flore primitive ayant disparu avec la forêt qui les avait ombragés pendant des siècles.

Comme belles stations pour la flore bryologique de blocs situés sous le couvert de la forêt, je citerai : au-dessus de Premier, de Mont-la-Ville, le versant est du Suchet, au-dessous de la Crochère et des Granges-Champod près Bullet, au-dessus de Rochefort, la montagne de Boudry et près de Gaicht. Le versant E. du Suchet est remarquable par ses stations où, sur des blocs de protogyne, vivent certaines espèces corticicoles : *Ulota intermedia*, *U. crispula*, *Orthotrichum Lyellii*, *O. leiocarpum*, *O. affiné*, *O. speciosum*, *O. stramineum*, *Neckera pumila*, très rarement signalées sur substratum rocheux.

Une des plus riches stations de cette catégorie devait être autrefois les forêts des environs de Provence ; malheureusement l'exploitation des blocs y a été poussée avec un tel acharnement, que les blocs restant et quelque peu volumineux ne sont plus qu'en petit nombre. On peut juger, par la quantité des débris jonchant le sol, du nombre des blocs énormes et intéressants, qui devaient exister autrefois dans cette partie du canton, et quelle flore intéressante et riche ils devaient porter.

Blocs situés dans les gorges et les ravins humides.

C'est là que, à quelques exceptions près, s'effacent le plus complètement les différences causées par l'édaphisme. Dans les gorges, surtout dans le lit des torrents, l'eau de ruissellement apportant constamment des particules calcaires, cette eau contenant elle-même du calcaire en dissolution, tous les blocs, calcaires ou siliceux, supportent généralement les mêmes espèces. On voit fréquemment des granits ou des quartzites nettement ahaliques, porter des espèces absolument calcicoles telles que: *Hypnum palustre*, *H. commutatum*, *Barbula reflexa*, etc.

Les espèces nettement calcifuges, sont ici peu nombreuses, mais elles ont soin de choisir pour se fixer les faces des blocs où l'apport calcaire est nul. Ce sont :

Dicranoweisia crispula et *Blindia acuta*, très rares, l'inévitable *Dryptodon Hartmanni* en touffes profondes souvent de 10 cm. *Bartramia ithyphylla*, *Pterigynandrum filiforme* var. et comme hépatiques: *Blepharostoma trichophyllum*, *Scapania Bartlingii*, très rare, *Madotheca laevigata*, *Lejeunia serpyllifolia*.

Si le nombre des calcifuges est restreint sur les blocs de cette catégorie, en revanche, celui des calcicoles a sensiblement augmenté de sorte que calcicoles et calcifuges, sont ici en nombre égal, chaque classe représentant le 20 % du total des espèces. Les 60 autres % sont formés par des indifférentes, comme :

Cinclidotus spec. *Neckera complanata*, *Homalia*, *Brachythecium rivulare*, *Eurhynchium crassinervium*, *Rhynchostegium rusciforme*, etc.

C'est dans les cluses de Douanne, de Covatannaz, le ravin de la Baulmine que l'on peut voir de nombreux blocs alpins rentrant dans cette catégorie. Ce sont du moins les trois plus intéressantes stations jurassiennes de ce genre. Le ravin de la Tannaz près Provence, devait être autrefois encore plus riche.

Analyse de la Flore.

Appétence chimique.

Si l'on compare les % indiqués pour chaque classe de blocs, il ressort nettement de cette comparaison que : Le nombre des muscinées spéciales aux erratiques alpins est inversement proportionnel à la teneur en calcaire ou à l'apport des particules calcaires du sol environnant. En effet les calcifuges exclusifs représentent le 60 % de la flore totale des blocs achaliciques secs et nus, sans apport calcaire ; le 30% pour les blocs situés dans les forêts ; et le 20% seulement pour les blocs situés dans les stations où l'apport calcaire est le plus important. Ce résultat mathématiquement obtenu, est certainement une preuve certaine et indéniable que la constitution chimique du support est un des principaux facteurs de la répartition des espèces. Cette loi de l'édaphisme chimique d'abord établie chez nous par Thurmann (Essai de Phytostatique), a rencontré et rencontre encore de nombreux adversaires, et pourtant, semble-t-il, aucun observateur sérieux ne peut la mettre en doute après avoir poursuivi pendant quelques années des recherches sur ce point. L'étude des lichens de nos erratiques conduit aux mêmes résultats ; jamais on ne voit les *Rhizocarpon geographicum*, *petraeum*, par exemple, s'égarer sur des calcaires.

Comme nous l'avons vu le nombre des calcifuges exclusives (53) est de beaucoup supérieur à celui des calciphiles (23) et encore ne peut-on guère parler de calciphiles exclusives, à part deux ou trois espèces, mais plutôt de calciphiles préférées. Il semble donc que ces dernières peuvent simplement supporter une plus grande quantité de carbonate de chaux et même s'en trouvent bien. Il est au contraire possible de parler de calcifuges exclusives car les 53 espèces indiquées comme telles, ne se rencontrent jamais sur du calcaire.

Au point de vue de l'appétence chimique, nos muscinées peuvent se répartir comme suit :

Calcicoles préférées ou exclusives	14 %
Indifférentes	60 %
Calcifuges	26 %

Ces chiffres nous font nettement saisir pourquoi, toutes proportions gardées, une chaîne siliceuse présente une flore plus riche en espèces qu'une chaîne calcaire.

Appétence physique.

Le nombre des muscinées actuellement connues croissant sur les blocs erratiques alpins disséminés sur le Jura est de 199, dont 161 mousses et 38 hépatiques. Ces 199 espèces se répartissent comme suit d'après les conditions physiques nécessaires à leur développement :

Xérophiles : 61 mousses, 5 hépatiques	33 %
Hygrophiles : 86 mousses 31 hépatiques	59 %
Hydrophiles : 14 mousses 2 hépatiques	8 %

Si au point de vue qualitatif, c'est-à-dire à celui du nombre des espèces les hygrophiles représentent près des deux tiers de la flore totale, les xérophiles l'emportent de beaucoup au point de vue quantitatif. En effet, les espèces les plus répandues, celles que l'on rencontre sur presque tous les blocs, formant de larges touffes, couvrant même des blocs entiers, par exemple : *Dicranum longifolium*, *Dryptodon Hartmanni*, *Hedwigia*, *Isothecium myurum*, sont des xérophiles très nettes. J'estime, sans crainte d'exagération, qu'au point de vue de la quantité, les xérophiles représentent le 70 % de la masse totale, mais il ne faut pas oublier que l'intervention de l'homme a remplacé par une flore xérophile, la flore primitive méso ou hygrophile d'un très grand nombre de blocs.

En étudiant parallèlement l'appétence chimique et l'appétence physique des espèces exclusives, on s'aperçoit que

ces espèces sont plutôt tolérantes au point de vue des conditions physiques et exclusives à celui de la nature chimique du support. *Hedwigia*, par exemple, hôte habituel des blocs secs et bien éclairés, se rencontre aussi sur des blocs frais, et même sur certains blocs humides et ombragés. Par contre il est impossible de le recueillir sur des blocs contenant une forte proportion de calcaire, comme les blocs jurassiens. On peut faire la même remarque pour *Dicranum longifolium*, *Dryptodon Hartmanni*, *Orthotrichum rupestre*, etc., etc.

Cette constatation permet d'éliminer le facteur concurrence, mis parfois en avant pour expliquer l'absence des espèces calcifuges sur les blocs calcaires ou vice versa. Cette concurrence, d'ailleurs, est infiniment moindre sur les rochers que sur le sol.

Répartition altitudinale.

Espèces alpines et subalpines	2 %
Espèces de la région sylvatique	96 %
Espèces thermophiles	2 %

Si les espèces des régions chaudes ne sont qu'à peine représentées, on ne peut en être surpris, si l'on pense à tous les gros blocs situés entre 500 et 700 m. et qui ont disparu. Certainement le nombre des thermophiles devait être beaucoup plus considérable avant l'intervention de l'homme et surtout avant l'invasion des graniteurs.

La répartition ci-dessus apporte une preuve de plus à l'appui de la conclusion que les espèces des blocs erratiques se sont toutes ou à peu près toutes fixées sur ces blocs au cours des conditions actuelles.

Origine de la Flore.

Seize ans se sont écoulés depuis la publication du travail de M. Amann, *Woher stammen die Laubmoose der erra-*

tischen Blöcke der schweizerischen Hochebene und des Jura ? dans lequel l'auteur, réfutant les idées jusqu'alors reçues, prouve, à la suite de Limpricht, que les mousses croissant sur les blocs erratiques du Jura et du Plateau s'y sont établies depuis le retrait des glaciers et qu'aucune ne peut être considérée comme un reliquat de l'époque glaciaire ou comme ayant été apportée des Alpes au Jura par les moraines des glaciers ; actuellement je puis dire que les recherches que j'ai entreprises n'ont fait que confirmer le bien-fondé du point de vue du Dr Amann, du moins dans ses grandes lignes. On peut être certain, en effet, que les 99 % des mousses calcifuges des erratiques siliceux du Jura, s'y sont établies depuis le retrait des glaciers et pour la plupart d'entre elles depuis que les forêts se sont développées sur les flancs de la chaîne. Toutes les espèces représentant ces 99 % pourraient s'y établir, et s'y sont probablement établies dans les conditions actuelles. Il est d'ailleurs plus que probable que les blocs erratiques actuellement dispersés sur les flancs du Jura, y ont été déposés absolument nus, à de rares exceptions près, et il serait peu logique de songer à faire intervenir le transport depuis les Alpes par les blocs sur le dos du glacier.

La seule hypothèse permise est celle-ci :

A la fin du Würm, lorsque le glacier commençait à se retirer en abandonnant ici et là ses blocs et ses moraines, il a dû assez rapidement abandonner les pentes du Jura, mais par contre demeurer assez longtemps stationnaire au pied même de la chaîne et surtout au pied du Suchet où son épaisseur était la plus considérable. Après avoir pris la place et la position qu'ils occupent encore aujourd'hui, les blocs déposés par lui ont dû, tant que le glacier était très voisin, être exposés à des conditions assez semblables à celles auxquelles sont exposés aujourd'hui les blocs situés devant le front des glaciers actuels, et se couvrir d'une

végétation bryologique plutôt alpine. Que quelques espèces se soient maintenues jusqu'à nos jours en s'acclimatant peu à peu aux nouvelles conditions créées par l'éloignement toujours plus grand du glacier, il n'y a rien de surnaturel ou d'inadmissible.

C'est peut-être par cette hypothèse qu'il faut expliquer la présence, dans le Jura, d'une mousse qui, semble-t-il, ne pourrait guère s'y fixer dans les conditions actuelles, car dans les Alpes, elle ne descend pas au-dessous de 1500 m. sur les versants N. Je veux parler de *Grimmia alpestris* Schl. (vidit Culmann), que j'ai récolté sur un bloc de protogyne à 700 m. près de l'Abergement au pied du Suchet. Dans cette station bien abritée et plutôt chaude, croissaient encore, à côté de diverses espèces fréquentes sur les erratiques de tout le Jura : *Dicranum viride* var. : *robustum*, *Schistidium confertum*, *Grimmia Mühlenbeckii*, *G. decipiens*, *G. elatior*, donc pas une seule autre espèce alpine, mais deux subalpines : *Schistidium confertum* et *Grimmia elatior* qui atteignent le maximum de leur développement au-dessus de 1000 m., descendent très bas ici et là, mais s'élèvent par contre au-dessus de 3000 m.

Dans son travail, Amann indique nettement qu'aucune espèce alpine ne se rencontre sur les erratiques du Jura comme du Plateau. A ce moment, par suite de la connaissance très incomplète de la flore bryologique des blocs laissés par les glaciers quaternaires, cette assertion paraissait solidement établie.

Actuellement, le fait important de la présence sur un bloc erratique du Jura d'une espèce de la région alpine des Alpes est irréfutable¹. Quelle conclusion en tirer ? Elle ne peut être qu'hypothétique.

¹ Outre la découverte du *G. alpestris*, mes recherches ont considérablement accru le nombre des espèces habitant exclusivement les blocs siliceux, signalant ici et là des espèces qu'Amann citait comme n'existant pas sur les erratiques du Jura.

Je dirai simplement qu'il semble presque impossible que le *G. alpestris* ait pu, au cours des conditions physiques actuelles, se fixer dans une station si basse et qui ne peut guère passer pour froide ; d'autre part elle se serait certainement fixée dans nombre d'autres stations bien mieux appropriées à ses exigences, par ex. au dessus de 1000 m. en compagnie de *Dicranoweisia crispula* avec lequel on le trouve fréquemment associé dans les Alpes. Or malgré d'actives recherches, je ne l'ai rencontré dans aucune autre station.

Outre les *G. alpestris*, *elatior* et *S. confertum*, quatre espèces seulement pourraient être mises en avant pour servir de preuve à l'hypothèse sinon du transport par les moraines du glacier du Rhône, du moins du maintien des espèces calcifuges depuis l'époque glaciaire. Toutes les autres espèces n'habitant dans le Jura que les erratiques alpins, font partie des zones sylvatiques moyenne et inférieure, et se rencontrent surtout au-dessous de 1000 m. ou à cette altitude ; par conséquent leur présence dans le Jura n'a rien que de très naturel et si elles n'y vivent que sur les blocs siliceux, c'est que seuls, ils leur offrent un substratum convenable. Discutons le cas des quatre espèces citées plus haut. *Dicranoweisia crispula* Lindbg., dans les neuf stations où je l'ai rencontré, sauf Chasseral 1300 m. et Ballaigues 900 m., se développe dans des conditions identiques : de la fraîcheur, peu de soleil et une même altitude 1100-1300 ce qui laisse à penser que *Dicranoweisia* a choisi lui-même ses stations.

Blindia acuta Br. Eu. occupe, de 800 à 1100 m. dans les ravins du Nozon, de la Baulmine, de Covatannaz et de la Tannaz, seules stations où j'ai pu le découvrir, un habitat semblable à celui qu'il préfère dans les chaînes siliceuses. C'est également, semble-t-il, la preuve qu'il s'est développé spontanément dans ces stations aux conditions très favorables.

Dryptodon patens Brid. habite, dans le Jura comme dans les Alpes, des blocs découverts mais plutôt frais et peu ensoleillés ; il est d'ailleurs peu répandu (du Suchet au Bözingenberg), mais par contre abondant dans ses stations. Toutes ces dernières sauf une (930 m. Bözingenberg) sont au-dessus de 1100 m. Rien ne prouve qu'il ne s'est pas maintenu dans le Jura depuis la fin de l'époque glaciaire, mais d'autre part le fait que je l'ai rencontré fertile au Mont-de-Baulmes et près de Mauborget prouve qu'il est là parfaitement chez lui, car cette espèce fructifie assez rarement.

Pleuroschisma implexum Dum. se rencontre d'ordinaire dans les régions subalpine et alpine, mais il descend parfois dans la zone sylvatique moyenne et même, quoique très rarement dans la zone inférieure. Des deux stations du Jura où je l'ai rencontré, l'une située à 1050 m. est plutôt fraîche, et l'autre, à 1200 m., quoique mieux exposée est à l'ombre des sapins.

Quelle est l'origine de ces quatre espèces ?

Evidemment elles sont dans le cas de *Grimmia alpestris*, c'est-à-dire qu'il est impossible de se prononcer d'une façon certaine à ce sujet, bien que leur présence dans le Jura, soit plus facilement explicable. Le fait qu'elles ne se rencontrent guère au-dessous de 1000 m., que leurs stations sont normales, quoique plutôt basses, semble prouver que ces espèces se sont établies dans le Jura depuis, et même longtemps après le retrait des glaciers. D'autre part, on peut émettre l'opinion très soutenable que ces quatre espèces ont pu, à la fin de l'époque glaciaire, alors que le voisinage du glacier du Rhône permettait à la flore alpine de descendre très bas, se fixer sur les blocs que le glacier venait de déposer et qu'elles ne se sont maintenues que dans les stations les mieux appropriées à leur développement. En faveur de cette opinion, on peut citer le fait que dans les Alpes, ces espèces critiques montent jusqu'à plus

de 2500 m. et que la zone où a lieu leur principal développement est entre 1500 et 2400 m.

Deux questions se posent encore à ce sujet :

1° Pourquoi les sept espèces alpines ou subalpines sont-elles rassemblées sur un même point : massif comprenant le Suchet, l'Aiguille de Baulmes et le Chasseron ?

2° Pourquoi ce point se trouve-t-il sur la ligne directrice de la poussée du glacier du Rhône, ou si l'on veut sur le point où le dit glacier (Würm) s'est élevé le plus haut sur les flancs du Jura et où naturellement il a dû demeurer le plus longtemps ?

Ces questions sont plus faciles à poser qu'à résoudre, mais les faits sur lesquels elles se basent, parlent certainement en faveur de l'hypothèse qui fixe pendant ou à la fin de la dernière glaciation (Würm) l'établissement des sept espèces critiques dans le Jura. Un autre fait vient s'ajouter aux précédents. J'ai découvert, il y a quelques années, dans une station froide sur le versant N. du Col des Etroits (seule station actuellement connue dans le Jura), un mollusque alpin *Helicodonta holosericea* Stud. qui, probablement, est aussi un reliquat de l'époque glaciaire ; or le Col des Etroits fait partie du même massif Chasseron-Suchet.

Je signalerai enfin que la seule station jurassienne de *Andreaea petrophila* se trouve à 1200 m. sur le versant E du Chasseron. Or, cette espèce est surtout fréquente dans les montagnes de 1000 à 2400 m. et rare dans les régions inférieures.

Quelle que soit pourtant la conclusion que l'on peut tirer de la présence sur les blocs erratiques alpins du Jura, de *Grimmia alpestris*, *Dicranoweisia crispula*, *Blindia acuta*, *Dryptodon patens*, *Grimmia elatior*, *Schistidium confertum*, *Andreaea petrophila*, la présence de ces espèces ne peut infirmer la règle générale, et j'affirmerai avec M. Amann, que *la presque totalité des muscinées des*

blocs erratiques du Jura, s'y sont établies au cours des conditions physiques actuelles, c'est-à-dire après le retrait des glaciers, et même pour la plupart depuis la constitution du tapis forestier. Il est même possible d'affirmer que les mousses croissant actuellement sur le 60 % des blocs ne s'y sont développées que depuis les changements survenus dans les conditions physiques à la suite de l'intervention de l'homme : déboisement, reboisement, etc.

Enumération des espèces.

Espèces également communes sur les erratiques siliceux et sur les autres supports.

Dicranum scoparium; *Dicranum longifolium* et ses var.: *subalpinum* et *hamatum*; *Ceratodon purpureus*; *Ditrichum flexicaule*; *Didymodon rubellus*; *Tortella tortuosa*; *Tortula ruralis*; *Schistidium apocarpum*; *S. gracile*; *Racomitrium canescens*; *Orthotrichum saxatile*; *O. cupulatum*; *Bryum elegans*; *B. capillare*; *Antitrichia curtispindula*; *Neckera crispa*; *N. complanata*; *Homalia trichomanoides* (région basse); *Thuidium recognitum* (région basse); *T. abietinum*; *Leskea nervosa*; *Ptychodium plicatum* (au-dessus de 1000 m.); *Anomodon viticulosus*; *A. attenuatus* (région basse); *Pterigynandrum filiforme*; *Isothecium myurum*; *Camptothecium lutescens*; *Brachythecium salebrosum*; *B. rutabulum*; *B. velutinum*; *B. rivulare*; *Eurynchium Vaucheri*; *E. crassinervium*; *E. Swartzii*; *Thamnium alopecurum*; *Rhyncostegium murale*; *R. rusciforme*; *Plagiothecium denticulatum*; *P. Ruthei*; *Hypnum Sommerfeltii*; *H. molluscum*; *H. incurvatum*; *H. cupressiforme*; *Limnobium palustre*. Hépatiques: *Metzgeria furcata*. *Lophozia quinquedentata*; *L. barbata*; *Blepharostoma trichophyllum*; *Scapania aequiloba*; *Radula complanata*; *Madotheca platyphylla*; *M. rivularis*; *M. Baueri*; *Lejeunea serpyllifolia*; *Frullania tamarisci*; *F. dilatata*.

Les espèces suivantes, communes, n'habitent sur les blocs que grâce à une couche d'humus :

Mnium cuspidatum; *M. spinosum*; *M. orthorhynchum*; *M. affine*; *M. undulatum*; *M. punctatum*; *Rhodobryom*; *Polytrichum formosum*; *Eurhynchium striatum*; *Hypnum crista castrensis*; *Hylocomium splendens*; *H. triquetrum*; *H. loreum*; *H. brevirostre*; *H. Schreberi*; *Scleropodium purum*; *Plagiochila asplenioides*.

Espèces fréquentes dans le Jura, rares sur les blocs erratique alpins :

Gymnostomum rupestre; *Dichodontium pellucidum*; *Dicranella varia*; *Dicranum Mühlenbeckii*; *D. montanum*; *D. Sauteri*; *Dicranodontium longirostre*; *Fissidens pusillus*; *F. decipiens*; *Seligeria pusilla*; *Didymodon spadiceus*; *D. rigidulus*; *Distichium capillaceum*; *Tortella fragilis*; *Barbula reflexa*; *B. fallax*; *Tortula aciphylla*; *T. montana* (Boujean); *Cinclidotus fontinaloides*; *Ulota intermedia* (L'Abergement); *Orthotrichum Lyellii* (L'Abergement); *O. leiocarpum* (Molendruz, versant E du Suchet, Pidouze); *O. crispata* (Suchet, 1200 m.); *O. affine* (Bullet, L'Abergement); *O. speciosum* (Molendruz, Bessonnaz, sur Premier, Granges de Ste-Croix, sur Provence); *O. nudum* (Covatannaz); *O. stramineum* (Bessonnaz, Côtelette); *Encalypta contorta*; *Bryum argenteum*; *Plagiopus Oederi*; *Bartramia, Halleriana* (Ravins du Nozon, de la Baulmine et de Covatannaz); *Polytrichum piliferum et juniperinum* (Suchet); *Neckera pumila* (Molendruz, Suchet, Sous Bullet, la Pidouze); *Leucodon*; *Thuidium tamariscinum*; *T. Philiberti* var. *pseudotamarisci*; *Leskea cate-nulata*; *Anomodon longifolius* (Covatannaz et Montagne de Boudry); *Climacium dendroides* (Baulmine); *Orthothecium intricatum*; *Homalothecium Philippeanum*; *Pseudoleskea atrovirens*; *Brachythecium reflexum* (Mauborget, Quarteron); *B. Starkei*; *B. albicans* (Suchet); *Eurhynchium strialulum* (ici et là) var. *cavernarum* (Cova-

tannaz) ; *Plagiothecium denticulatum* var. *curvifolium* (Mauborget) ; *Isopterygium silesiacum* (Ravin de la Tannaz) ; *Amblystegium Sprucei* ; *A. confervoides*, *A. subtile* (Sous Bullet) ; *A. serpens* ; *A. filicinum* ; *Chrysopynum Halleri* ; *C. protensum* ; *Cratoneuron commutatum* ; *Hylocomium pyrenaicum* (Baulmine) ; *H. squarrosum* (Ravin de la Tannaz).

Hépatiques : *Metzgeria pubescens* ; *Haplozia riparia* ; *Sphenolobus exsectus* ; *Lophozia gracilis* (Suchet) ; *L. ventricosa* ; *L. Hornschuchiana* ; *Pedinophyllum interruptum* ; *Cephalozia lunulifolia* (Tannaz) ; *Cephaloziella trivialis* ; *Lophocolea minor* : *L. heterophylla* ; *Calypogeia trichomanis* (Tannaz) ; *Scapania aspera* ; *Lejeunea calcarata* (Covatannaz).

Espèces rares ou disséminées sur les erratiques, et rares aussi sur d'autres supports.

Dicranum viride (Près de Pierrabot, de Neuchâtel, de Rochefort, de Gaicht, de Soleure, Montagne de Boudry, devait être autrefois commun) ; *Fissidens crassipes* (Gorges de l'Areuse) ; *Seligeria recurvata* (Suchet, Baulmine, Les Rasses, St-Sulpice, Tannaz) ; *Tortula pulvinata* (Premier) ; *Cinclidotus riparius* (Gorges de l'Areuse) ; *Grimmia tergestina* (Boujean) ; *Orthotrichum anomalum* ; *Bartramia ithyphylla* ; *B. pomiformis* (Tannaz) ; *Brachythecium Geheebii* (sur Grandevent) ; *Eurynchium Schleicheri* (Covatannaz) ; *Rhyncostegium confertum* (Mont de Baulmes) ; *Plagiothecium sylvaticum* et *P. Roeseanum*.

Hépatiques : *Lophozia confertifolia* (Quarteron) ; *Lophozia socia* (Sur Villars-Burquin et Montagne de Boudry) ; *L. Floerkei* (Tannaz) ; *L. Hatscheri* (Mauborget) ; *Scapania Bartlingii* (Covatannaz) ; *Madotheca laevigata* ; *Frullania fragilifolia* (de Mont-la-Ville à Neuchâtel).

Espèces communes sur les erratiques rares sur d'autres supports.

Trichostomum cylindricum (répandu à l'état stérile, c. fr. sur Grandevent, Tannaz) ; *Grimmia pulvinata* ; *G.*

commutata; *Plagiothecium depressum*; *Brachythecium populeum* et ses variétés.

Hépatiques: *Metzgeria conjugata*.

Espèces ne se rencontrant que sur les erratiques siliceux, Andreeaea petrophila (Entre Bullet et Mauborget).

Dicranoweisia crispula (Sur Ballaigues, Baulmine, Mont-de-Baulmes, Gittaz et Mont des Cerfs, Bullet, Mauborget, Tannaz, Jobert sur Chasseral; *Dicranum fulvum* (sur Premier, Suchet, sur Vuittebœuf, Quarteron, Montagne de Boudry, Gorges de l'Areuse, sur Boujean, près Soleure); *D. viride* var. *robustum* Læske (L'Abergement); *Blindia acuta* (Baulmine, Covatannaz, ravin du Nozon, Tannaz); *Schistidium confertum* (sur Premier, Suchet répandu, entre Bullet et Mauborget, Montagne de Boudry, Côte-aux-Fées, Boujean et Bözingenberg); *Grimmia alpestris* (l'Abergement); *G. trichophylla* (l'Abergement, sur Ballaigues; indiqué à Noiraigues par Boulay, et par Lesqueux sans indication précise de localités); *G. Mühlenbeckii* (Champ-du-Moulin, Mont-de-Baulmes, Suchet sur Ballaigues, sur Premier, Pierrabot, Mauborget, Provence, Bözingen et Bözingenberg, Val-de-Ruz); *G. leucophaea* (Pidouze près Mauborget, S^{te}-Croix, Bullet, Bözingenberg); *G. decipiens* (fréquent à l'état sterile; c. fr. Mont-Felou); *G. ovata* (sur Premier, l'Abergement, Covatannaz, Mauborget, Provence, Gorges de l'Areuse, Rochefort, Boujean, Bözingenberg); *G. elatior* (Suchet de 700 à 1200 m., Granges de S^{te}-Croix, Les Rasses, entre Bullet et Mauborget, Noiraigues, Boujean, Orvins); *Dryptodon patens*, Suchet, Baulmine, Mont-de-Baulmes c. fr., La Gittaz, entre Bullet et Mauborget c. fr., Ravin de la Tannaz, Bözingenberg, Les Planches sur Dombresson); *D. Hartmanni* (sur presque tous les blocs); *Rhacomitrium heterostichum* (répandu de Premier à Soleure, avec fruits ici et là); *Hedwigia* et ses variétés *secunda*, *leucophaea*, *viridis*: *Ulota americana* (sur Mont-la-Ville, Vuittebœuf, Grandevent, Villars-Burquin, Rochefort, Boujean, près de Pierrabot,

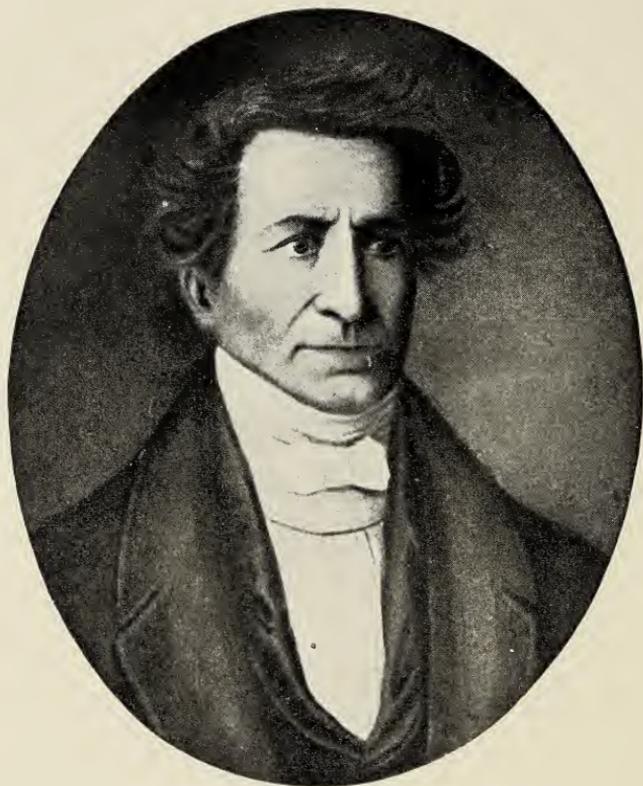
Gorges de l'Areuse, du Seyon, Montagne de Boudry, près Gaicht; indiquée aussi par Lesquereux près de Provence et de Neuchâtel); *Rhacomitrum affine* (Mont-de-Baulmes, Quarteron sur Provence); *Orthotrichum urnigerum* (Molendruz, Suchet, sur Vugelles, Grandevent, Villars-Burquin, Rochefort. Montagne de Boudry); *O. rupestre* (commun ainsi que ses var.); *Platygyrium repens* var. *rupestris* (sur Boujean); *Pterogonium gracile* (trouvé par Leresche au pied du Suchet. J'ai vu l'exemplaire de Leresche, mais je n'ai pu retrouver la station; le bloc est sûrement exploité); *Eurynchium velutinoides* (au-dessus de Mont-la-Ville, de Grandevent, près de Six-Fontaines, Gorges de Covatannaz, Montagne de Boudry, Pieterlen).

Hépatiques : *Jamesoniella autumnalis* var. *subapicalis* (Tannaz); *Pleuroschisma implexum* (Baulmine et Covatannaz); *Frullania Jackii* (au-dessus de Rochefort).

Bien que le nombre des espèces qui, dans le Jura, ne se rencontrent que sur les blocs erratiques, soit déjà considérable, il en est d'autres dont la présence sur ces blocs, me paraissait certaine, mais que, malgré d'actives recherches, je n'ai jamais rencontrées, soit que leur absence soit réelle, soit que par suite de leur grande rareté ou de leur faible développement, elles m'aient échappé. Je citerai :

Campylopus flexuosus
Racomitrium fasciculare
 » *lanuginosum*
Amphidium Mougeoti
Lesquereuxia saxicola
Isothecium myosuroides
Brachythecium plumosum
Plagiothecium elegans
Radula Lindenbergiana.

Il est possible d'autre part que quelques-unes au moins de ces espèces aient complètement disparu du Jura avec les blocs qui les portaient.



Daniel-Alexandre Chavannes
(1765-1846).

LE
MUSÉE ZOOLOGIQUE
DE
LAUSANNE

**Ses origines. — Son installation au Palais de Rumine. —
Ses collections.**

PAR

Henri BLANC

Professeur à l'Université.

INTRODUCTION

Nous avons été engagé à publier cette notice par plusieurs de nos collègues qui, visitant le *Musée zoologique* installé récemment dans les nouvelles salles du Palais de Rumine, jugeaient que nous devons faire part aux naturalistes muséologues d'un travail qui, sans être immédiatement productif pour la science pure, n'en était pas moins très personnel et utile pour elle. Si nous avons parfois éprouvé quelque regret en songeant que nous devons abandonner pour plusieurs années les recherches en laboratoire pour nous consacrer tout entier à des travaux de muséologie, nous avons été soutenu par l'idée que notre labeur n'était pas vain et que cela faisant, nous servions quand même la science.

Comme le remarque très judicieusement M. Gustave Gilson que nous désirons citer¹: « L'avancement, l'applica-

¹ *Le musée propédeutique. Essai sur la création d'un organisme extra-scolaire* par Henri Gilson, directeur du Musée royal d'histoire naturelle de Belgique. *Annales de la Société royale de zoologie et de malacologie de Belgique*. T. XLIX, 1909.

tion et la diffusion de la science sont trois choses séparées et il importe de proclamer qu'elles sont distinctes malgré les liens qui les unissent. Chose étrange, la première, l'investigation scientifique qui est à la base des deux autres est la plus incomprise et la moins favorisée des trois. Le gros public considère comme des maniaques ceux qui cherchent sans avoir un but immédiatement utilitaire. C'est pourquoi bien qu'en théorie rien n'oblige les investigateurs à s'occuper d'enseignement, en pratique, ils feront un sacrifice méritoire, utile à la science et à eux-mêmes, en s'intéressant à certaines questions d'enseignement scientifique. Ils doivent favoriser la diffusion de la science en vue d'élever la mentalité publique au point de lui rendre intelligible l'importance de la recherche et de la lui faire apprécier à sa juste valeur, non point dans le but de conquérir plus aisément la faveur populaire et la notoriété, cette auréole de clinquant dont ils n'ont que faire, mais en vue d'obtenir les moyens nécessaires au travail, que dis-je, parfois la simple permission de travailler. »

Or, les musées d'histoire naturelle sont là pour servir à la diffusion de la science, à condition qu'ils ne soient plus comme autrefois des magasins, des bazars de curiosités, des mausolées ou des tombeaux. Les muséologues anglais, américains et allemands ont les premiers compris que l'instruction du public pouvait être faite dans le domaine des sciences naturelles par le musée organisé pour éveiller sa curiosité, adapté comme il le convient.

Commencée il y a trente ans, la transformation des musées zoologiques s'opère petit à petit ; elle est plus ou moins complète selon les moyens dont ils disposent. Mais un peu partout, les expositions de séries interminables de spécimens souvent mal empaillés ou tassés dans des bocaux pleins d'alcool jauni, devant lesquels le visiteur passe indifférent, sont remplacées aujourd'hui par des animaux préparés selon les derniers procédés de la taxidermie et de la

conservation. On s'est ingénié à les présenter dans leur milieu éthologique, surpris à tel ou tel moment de leur vie, isolés ou en groupes, montés dans des attitudes naturelles; leur exposition est devenue *biologique*. Pour faciliter l'enseignement par le musée, des préparations anatomiques, des modèles, des tableaux, des dessins rappellent les traits principaux des organisations animales et permettent de les comparer entre elles; par des cartes géographiques, des étiquettes avec couleurs conventionnelles, le public est rendu attentif à la distribution géographique des animaux soit sur les terres, soit dans les eaux. Et c'est ainsi que la vie est entrée dans des institutions faites de choses qui étaient mortes, pour servir toujours mieux le mouvement d'éducation intuitive dont sont animés maintenant les enseignements primaire, secondaire et supérieur.

Le public qui circule dans les musées scientifiques est très mélangé, il se compose de personnes d'âges divers, plus ou moins instruites en histoire naturelle; il faut donc qu'ils soient organisés de façon à les attirer et à les satisfaire les unes et les autres puisqu'ils doivent servir à l'instruction de tous. C'est pénétré de ces nouvelles tendances que nous tenions de leur plus autorisé protagoniste, le professeur Karl Möbius, l'organisateur des musées de Kiel et de Berlin, aux côtés duquel nous avons eu le bonheur de travailler de 1880 à 1883 comme assistant à l'Institut zoologique de l'Université de Kiel, que nous avons désiré installer avec le bienveillant concours de l'Etat, de la Société académique vaudoise, de généreux donateurs, le nouveau Musée cantonal de zoologie.

Nous exprimons notre reconnaissance à tous ceux qui nous ont aidé et nous remercions particulièrement M. W. Morton, adjoint à la direction du musée, et M. Murisier, assistant, pour leur très utile et précieuse collaboration.

«Peu, mais bien», telle est la formule que nous avons adoptée pour chercher à accomplir la tâche qui nous incom-

bait, tâche que nous aurions certainement mieux pu remplir si nous avions eu les moyens pécuniaires en suffisance à notre disposition et si nous n'avions pas dû abandonner après coup une partie des locaux réservés au Musée zoologique à d'autres services qui devaient aussi trouver leur place dans le Palais de Rumine.

Origines du Musée zoologique.

Les collections publiques dont les débuts ne sont pas dus à l'initiative privée sont des exceptions. Celles qui sont réunies maintenant dans le Palais de Rumine, propriétés de l'Etat de Vaud, soit: le Musée des Beaux-arts, le Médaillier, le Musée préhistorique et des antiquités, les Collections de géologie, de paléontologie et de minéralogie, les Musées botanique et zoologique ont été créés par de généreux citoyens désireux de doter leur pays de moyens devant servir à son développement intellectuel.

Une notice sur l'histoire du Musée cantonal de Daniel-Alexandre Chavannes¹ dont nous avons présenté ailleurs l'activité féconde et le rôle important qu'il joua dans le développement des sciences dans notre pays², relate comment avec son ami Lardy, ils conçurent le projet, après la mort du peintre Ducroz survenue en 1810, de retenir dans le pays les œuvres de l'artiste vaudois convoitées par l'étranger. Une souscription fut lancée, l'Etat s'y intéressa avec plusieurs particuliers et le Musée des Beaux-Arts était créé. Sur ces entrefaites, l'intéressante collection minéralogique constituée par le professeur Struve fut achetée par un riche anglais Marryat. Celui-ci après en avoir pris

¹ D.-A. Chavannes. *Notice historique sur le Musée cantonal*, journal de la Société vaudoise d'utilité publique, 9^{me} année, 2^e série 1841.

² H. Blanc. *Daniel-Alexandre Chavannes et Jacques-Auguste Chavannes*. Discours d'ouverture prononcé à la 92^{me} session de la Société helvétique des Sciences naturelles à Lausanne. *Verhandlung der Sch. Naturf. Gesellschaft*, 1909.

les pièces qui manquaient à la sienne offrit à Lardy, avec lequel il était en relations scientifiques, ce qui restait de cette collection.

Cette proposition acceptée, il fallait trouver l'argent nécessaire pour cet achat. Une nouvelle souscription fut mise en circulation auprès d'un petit nombre de citoyens dont on connaissait les dispositions bienveillantes, nous citerons entre autres les noms du général F.-C. de la Harpe, de Grand d'Hauteville, de Perdonnet, de J.-J. Rivier. Les 4000 francs ainsi recueillis furent mis à la disposition des conservateurs de la collection Ducroz. Le Conseil d'Etat, sur la demande que lui adressèrent ceux-ci, décida qu'une grande salle prise sur d'anciens magasins situés dans le bâtiment de l'Académie, serait consacrée au Musée qu'il s'agissait de créer. La salle fut aménagée à temps pour y recevoir la Société helvétique des Sciences naturelles qui se réunissait pour la première fois à Lausanne, en juillet 1818, sous la présidence de D.-A. Chavannes. Tel fut le berceau de nos collections scientifiques.

Dans un manuscrit intitulé : « *Livre destiné à tenir en note tout ce que l'Académie possède ou acquerra en fait d'antiquités et d'objets relatifs à l'histoire naturelle, commencé en janvier 1779 par le professeur A.-C. Chavannes, bibliothécaire* », nous apprenons qu'à côté de nombreuses pièces de monnaies anciennes, cette vénérable institution, fondée par Berne en 1537, possédait une modeste collection d'objets relatifs à l'histoire naturelle offerts sans doute par des particuliers. Nous relevons 578 coquilles, 377 pétrifications, 239 oiseaux étrangers et indigènes, une petite collection de serpents de Surinam, quelques quadrupèdes à l'eau de vie, quelques insectes et oiseaux en tableaux ¹.

¹ Nous devons la communication de cet intéressant manuscrit, à notre collègue, M. le professeur de Molin, conservateur du Musée historique.

En 1826, plusieurs des citoyens qui avaient contribué à la création du Musée, pensèrent qu'il fallait remplir la lacune qu'offrait le règne animal et acheter dans ce but la collection personnelle de D.-A. Chavannes bien connue de tous les naturalistes qui de passage à Lausanne ne manquaient pas de la visiter. Nous devons rappeler ici que D.-A. Chavannes tenait de sa belle-mère, qui l'avait appris en Hollande, l'art d'empailler les oiseaux et il l'avait étendu aux quadrupèdes.

Depuis trente ans, ce naturaliste n'avait cessé de travailler à augmenter sa collection qui comprenait d'après les catalogues manuscrits de son auteur déposés dans la Bibliothèque du Musée: la plupart des mammifères sauvages qui habitaient alors la Suisse et de nombreux sujets exotiques, une série à peu près complète des oiseaux d'Europe avec les nids et les œufs de beaucoup d'entre eux, beaucoup d'oiseaux rares et précieux des diverses parties du monde. La dite collection renfermait encore divers reptiles de la Suisse et plusieurs espèces exotiques, presque tous les poissons du Léman avec de nombreux poissons de mer, plusieurs séries d'animaux sans vertèbres et diverses préparations servant à l'enseignement de l'anatomie comparée.

Désireux d'assurer au canton de Vaud cette collection si précieuse, taxée 24 000 francs, pour éviter qu'elle ne passât un jour à l'étranger, quelques citoyens pensèrent que le meilleur moyen pour se la procurer était de faire appel à tous les Vaudois qui voudraient contribuer à une œuvre vraiment nationale. Ils soumièrent leur projet au Conseil d'Etat, qui, le 1^{er} novembre 1826 leur faisait connaître qu'il en approuvait le but patriotique et s'empresserait de faire disposer de la manière la plus convenable l'emplacement nécessaire pour recevoir cette collection dans le Musée. Certaines circonstances engagèrent le Comité à suspendre momentanément ses démarches. En 1833, un nouvel appel

fut lancé signé par Rigou, de Saussure, Delessert, Rivier, Perdonnet, Ch.-A. Bugnion. Il fut heureusement entendu; la collection Chavannes put être achetée et offerte à l'Etat qui, comme il l'avait promis, aménagea les salles nécessaires pour la recevoir dans le bâtiment de l'Académie ». C'est cette collection importante qui fut la base de notre Musée zoologique¹.

Le cahier d'entrée d'objets destinés au Musée tenu à jour par D.-A. Chavannes de 1829 à 1833 relate que pendant le courant de l'été 1833 et le commencement de 1834, le professeur D.-A. Chavannes a déposé dans les salles du Musée les diverses collections de zoologie pour lesquelles une souscription avait été ouverte. Ces collections avaient été évaluées à 24 000 francs. Les souscriptions se sont élevées à la somme nette de 12 447 francs, M. Chavannes a fait abandon du reste.

Le Musée Arlaud ayant été inauguré le 1^{er} janvier 1841, la place occupée par les tableaux, aquarelles et dessins devenant libre, les collections de zoologie, de minéralogie, de géologie, de paléontologie, de botanique, d'antiquités, d'ethnologie, les reliefs topographiques, la numismatique purent s'étendre dans une salle du bâtiment de l'Académie.

Dès lors, grâce à l'appui de l'Etat et de nombreux donateurs notre Musée cantonal vaudois vit ses séries augmenter rapidement. Ses fondateurs qui furent ses premiers conservateurs, D.-A. Chavannes et Charles Lardy, contribuèrent pour une large part à son développement. Puis leur succédèrent le docteur Joël, le docteur Dépierre, le professeur J.-Auguste Chavannes, le docteur Gaudin, le docteur Jean de la Harpe, le professeur du Plessis, le docteur Larguier. Les conservateurs adjoints Combe, vétérinaire, C. Morton et H. Goll apportèrent aussi leur géné-

¹ Extrait du journal de la Société vaudoise d'Utilité publique, 1833.

reux concours au développement du Musée. Mais nous devons ici rappeler les importants services que Ch. Bastian a rendus pendant près d'un demi-siècle à nos collections. Préparateur habile, excellent chasseur et très bon observateur, il n'a cessé de 1850 à 1892 d'augmenter celles-ci en sujets montés avec beaucoup d'art, car il savait rendre les apparences de la vie aux dépouilles des hôtes de notre lac, de nos étangs et de nos bois.

Lorsqu'en 1874, les collections de géologie et de minéralogie furent sorties du Musée d'histoire naturelle pour être installées par les soins de leur conservateur, le professeur Renevier, dans le bâtiment de l'Institut morave que l'administration cantonale venait d'acheter à la Cité, le Musée zoologique put prendre possession des salles laissées libres¹.

Par un arrêté du 19 mai 1873, le Conseil d'Etat modifiait les anciennes dispositions régissant la garde de nos collections en confiant la direction du Musée à une commission composée, comme président, du Chef du Département de l'Instruction publique et des Cultes qui était alors Louis Ruchonnet et de quatre conservateurs dont deux pour la zoologie, un pour la botanique et un pour les collections géologique et minéralogique avec des adjoints dont le nombre n'était pas déterminé; les conservateurs avaient sous leurs ordres des préparateurs. Ces nouvelles dispositions administratives affirmèrent la séparation nécessaire des collections biologiques des collections géologiques qui dès ce moment devaient devenir toujours plus indépendantes les unes des autres; c'était consacrer de cette façon une division du travail qui s'imposait par l'importance toujours plus grande prise par nos diverses collections cantonales et par leurs installations dans des locaux différents. Un grand bien devait encore résulter de cette

¹ E. Renevier. *Notice sur l'origine et l'installation du Musée géologique de Lausanne*, 1895.

nouvelle organisation; elle permettait à nos musées d'avoir le personnel utile dont ils avaient le plus pressant besoin, aussi prirent-ils dès cette époque un nouvel essor.

L'année 1886 fut particulièrement favorable au développement du Musée de zoologie dit le rapport de son conservateur d'alors, le docteur J. Larguier¹.

« Les locaux laissés vacants par le transfert de l'enseignement de la physique dans un autre bâtiment ont été réparés et aménagés, ils ont valu au Musée deux nouvelles salles en enfilade avec celles déjà existantes. La dernière a été également munie de vitrines neuves. Le Musée se compose actuellement de cinq salles symétriques parfaitement éclairées et meublées. »

Mais l'événement important fut l'achat fait en 1886 de la collection du capitaine Claude Vouga, (1795-1884), ornithologiste distingué, qui comprenait 1079 oiseaux montés avec soin, appartenant tous à la faune paléarctique et parmi lesquels de nombreuses raretés. Sur la demande du docteur Larguier qui avait appris que cette collection bien connue des spécialistes était à vendre, la commission des Musées et la Société vaudoise des sciences naturelles, jugeant qu'il importait de la garder en Suisse romande, prirent l'initiative d'une souscription publique dont la réussite fut complète. Cent vingt et un souscripteurs dont un tableau placé au Musée a fixé les noms, contribuèrent pour une somme de 8000 francs à l'achat de la collection Vouga dont le prix très modeste avait été fixé à 12 000 fr. Le solde non couvert par les souscripteurs fut payé au moyen d'annuités prélevées sur le budget annuel du Musée zoologique. Cette collection précieuse fut installée dans les salles III et IV du Musée, formant un ensemble très instructif et intéressant.

Dès le 11 juin 1887, les conservateurs des divers Musées

¹ Compte-rendu pour 1886, p. 43.

scientifiques cantonaux eurent à se préoccuper, sur la demande qui leur en était faite par l'autorité supérieure, du transfert de leurs collections dans le futur édifice que la ville de Lausanne devait faire construire pour satisfaire aux volontés testamentaires de Gabriel de Rumine, sanctionnées par les décisions de la commission dite de Rumine. Le 11 août 1891, ils furent convoqués à une conférence présidée par le Chef du Département de l'Instruction publique d'alors, M. E. Ruffy, pour discuter avec l'architecte André de la nouvelle installation des collections dans le bâtiment à construire; ils eurent ainsi l'occasion de présenter leurs desiderata, d'émettre leur opinion sur la place dont ils avaient besoin et sur l'orientation des locaux futurs¹.

Après avoir longtemps attendu dans les vieux locaux poussiéreux et trop petits du bâtiment de l'Académie, sis à la Cité, nous eûmes enfin la satisfaction de pouvoir commencer en 1906 le transfert des collections zoologiques préalablement rajeunies, dans les nouvelles salles du Palais de Rumine. Le 29 décembre 1908, nous avons le plaisir de présenter la Collection d'anatomie comparée et d'enseignement aux membres de la Société zoologique suisse réunis en assemblée générale à Lausanne; l'ouverture du Musée zoologique (collection générale et collection locale) complètement installé put avoir lieu le lundi 6 septembre 1909 à l'occasion de la 92^{me} session de la Société helvétique des Sciences naturelles siégeant à Lausanne au Palais de Rumine (Fig. 1). Le service de l'enseignement universitaire de la zoologie et de l'anatomie comparée avait déjà pu prendre possession des laboratoires et auditoire qui lui étaient réservés dans cet édifice en septembre 1905, après avoir été pendant longtemps logé dans des locaux toujours

¹ Assistèrent à cette conférence, les conservateurs des Musées: le professeur E. Renevier (1831-1900), le professeur J.-B. Schnetzler (1823-1896), le docteur J. Larguier (1844-1894) et le professeur H. Blanc.

provisoires, soit à la Cité dans l'ancienne Caserne n° 1,



Fig. 1. — Palais de Rumine.

soit à l'École de physique ou encore à la place du Tunnel n° 11.

Installation générale.

Partant du principe que tout musée scientifique doit, si possible, être adapté au pays auquel il appartient, Lausanne étant une ville universitaire, nous ne pouvions pas songer à organiser un musée exclusivement biologique ou régional. Pour satisfaire et le grand public et les besoins de l'enseignement supérieur, nous avons adopté les trois grandes divisions suivantes :

- a) *Collection générale systématique et biologique.*
- b) *Collection régionale ou de la faune vaudoise.*
- c) *Collection pour l'enseignement (Musée d'anatomie comparée).*

Si nous avons tenu à installer dans deux salles différentes la collection générale et celle de l'enseignement, c'est avant tout pour les raisons d'ordre didactique et économique que voici : Le professeur doit, pour animer son cours, avoir à sa disposition des objets de démonstration, son devoir est d'en présenter le plus possible à ses étudiants parce que les mémoires visuelle et auditive doivent s'entr'aider. Ceux qui travaillent dans les laboratoires pour faire plus ample connaissance avec les formes animales, leurs morphologies externe et interne, leur développement, ont besoin d'avoir entre les mains des préparations modèles pour les guider dans les travaux de dissection. Mais ce matériel de démonstration utilisé à l'auditoire ou au laboratoire mis sans cesse en circulation, exposé dans les meubles de la collection générale, ceux-ci devant être trop souvent ouverts pour les besoins de l'enseignement risquent d'être envahis par la poussière, les insectes parasites. Une collection destinée à l'enseignement universitaire constituant un tout à part, offre encore le grand avantage de pouvoir servir de salle d'étude et de démonstration et depuis que nous disposons

de la nôtre, les préparations aux spécimens secs ou en alcool ne circulent plus pendant les cours dans l'auditoire

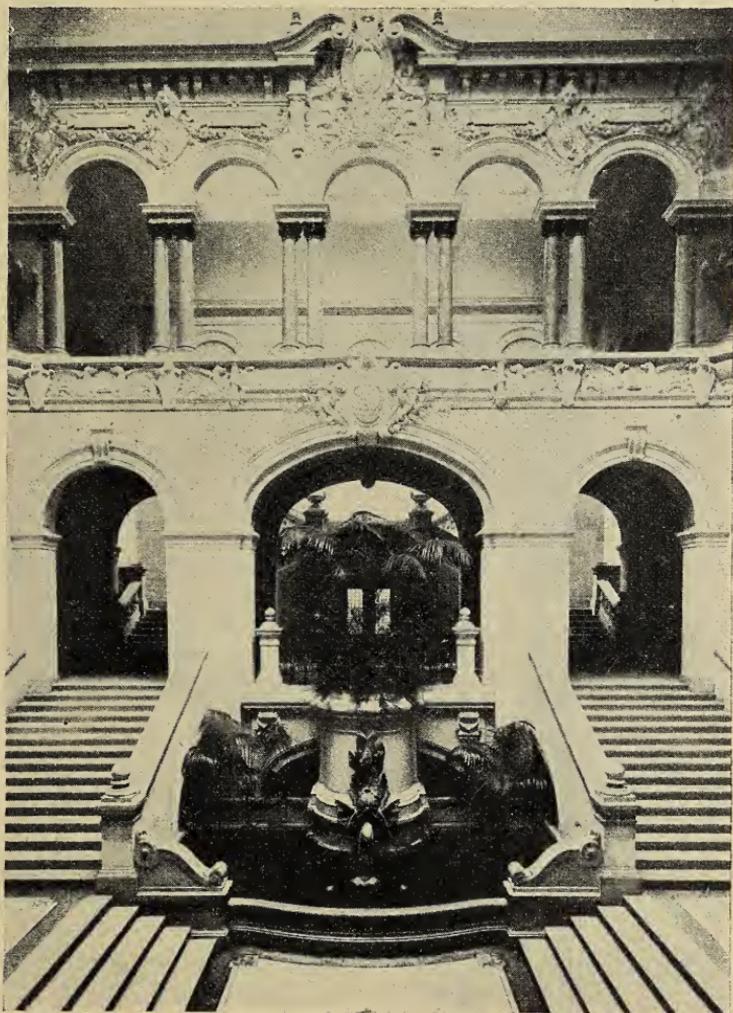


Fig. 2. — Palais de Rumine. — Atrium.

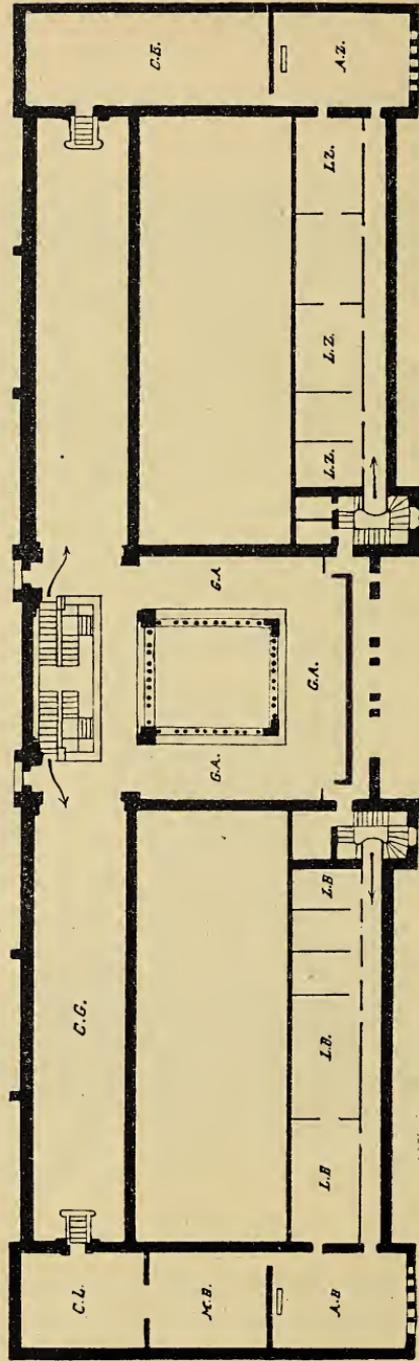
où nous avons souvent vu l'étudiant ^{so} soucieux de prendre des notes, les regarder à ^{la} la hâte pour les passer plus loin

PLAN DU 1^{er} ÉTAGE.

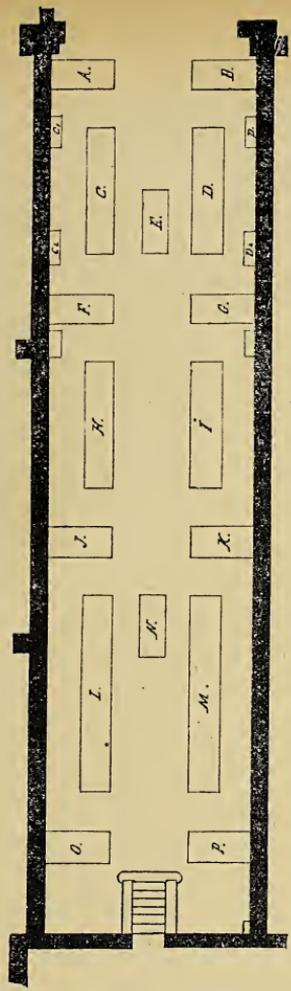
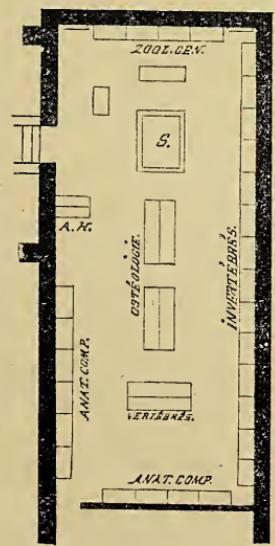
MUSÉE ZOOLOGIQUE.

ALLÉ NORD.

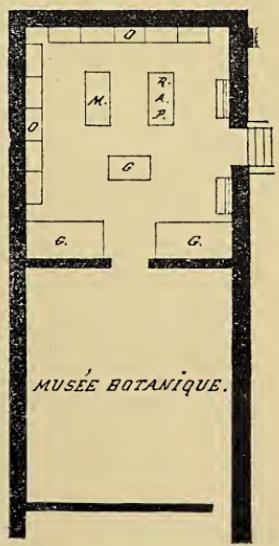
ALLÉ SUD.



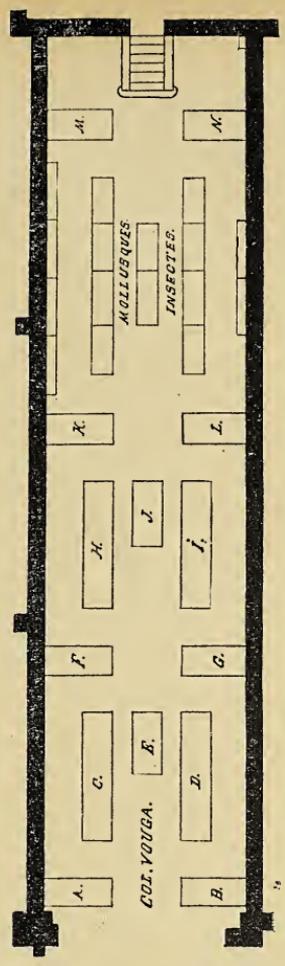
A. Aula. — G. A. Galerie de l'Atrium. — L. Z. Laboratoire de zoologie. — A. Z. Auditoire de zoologie. — C. E. Collection d'enseignement. — C. G. Collection générale. — C. L. Collection locale. — M. B. Musée botanique. — A. B. Auditoire de botanique. — L. B. Laboratoire de botanique.



COLLECTION RÉGIONALE



COLLECTION GÉNÉRALE. AILE SUD.



PLAN DES COLLECTIONS GÉNÉRALE, RÉGIONALE ET D'ENSEIGNEMENT

à un autre qui, moins consciencieux, plus distrait, les arrêtaient pour les manipuler maladroitement et les cacher ensuite détériorés ou cassés dans quelque coin de l'auditoire. L'expérience nous a démontré que nous étions dans le vrai en adoptant la séparation de la collection générale, destinée avant tout au public, de la collection spéciale organisée pour l'enseignement universitaire située à proximité immédiate de l'auditoire de zoologie. (Planche 1.)

Le visiteur pénètre dans le Musée zoologique par l'Atrium qui occupe le corps central du Palais et duquel partent deux escaliers latéraux qui conduisent dans les deux ailes nord et sud du Musée, situé au premier étage, et aux Musées géologique, paléontologique, archéologique installés au rez-de-chaussée. La figure 2 représente cette partie de l'édifice dont on admire sans réserve la belle architecture, traitée en style florentin. Les deux escaliers susmentionnés qui, en temps ordinaire, sont fermés par des grilles s'ouvrent directement dans la *Collection générale*. Cette division du Musée occupe une grande galerie longue de 90 mètres, large de 9,50 mètres avec une surface meuble de 700 mètres carrés.

Les *Collections régionale* et *d'enseignement* sont dans deux salles perpendiculaires à la grande galerie, la première mesure 100 m², la seconde 200 m² de surface. De la *Collection régionale* (aile nord) on passe dans le Musée de botanique et de la seconde (aile sud) dans l'auditoire de zoologie. La hauteur de ces divers locaux est de 5 mètres jusqu'à la corniche de la partie cintrée du plafond qui est fait d'un double vitrage; sans jours latéraux, ils sont tous éclairés par la lumière zénithale qui peut être, selon les besoins, tempérée par de grands rideaux d'étoffe jaune. Etant donné ces conditions d'éclairage des salles, comment devions-nous disposer les vitrines et les meubles destinés à l'exposition? Fallait-il tous les aligner le long des parois ou adopter les systèmes dits « en chapelle, en boîtes »?

Pour des raisons d'esthétique, d'éclairage, de surveillance, pensant surtout à l'avenir, un musée devant toujours finir un jour ou l'autre par manquer de place, nous avons préféré adopter un système mixte pour la grande galerie et disposer la plupart des vitrines des deux salles annexes le long des parois. (Planche 2.)

Trois des côtés de la galerie de l'Atrium étant occupés par la collection de minéralogie; le quatrième, limitant la galerie zoologique, a été laissé libre de meubles et nous avons placé la collection d'œufs et de nids d'oiseaux autour des rampes des deux escaliers de la galerie centrale. (Fig. 6.)

Nous avouons que pour l'instant la grande galerie paraît « mal habillée », ses longues et hautes parois sont désagréablement nues, mais nous espérons qu'avec le temps nous pourrons les décorer avec des trophées de bois, de cornes et des tableaux. Il est très possible aussi que d'ici à quelques années les collections d'objets légers tels que les oiseaux soient exposées sur des galeries faites de fer et de verre qui pourront être construites sans difficultés le long des parois, lorsque la place manquera, et c'est à cela que nous avons songé en adoptant des vitrines qui ne soient pas trop hautes.

Le Musée zoologique est comme tous les musées modernes, tempéré par des corps de chauffe; la ventilation est assurée par quatre grands ventilateurs électriques, et il peut être éclairé en partie par des lampes à arc et par des lampes ordinaires.

Les locaux annexes sont: un magasin-dépôt qui a dû être réduit, à notre grand regret, pour pouvoir loger la bibliothèque scientifique de la Société vaudoise des sciences naturelles; un atelier pour le préparateur taxidermiste attaché au musée; une chambre à macération. Avec le terrarium et l'aquarium, ces locaux sont tous situés au sous-sol, dans l'aile sud du Palais avec entrées indépendantes. Le conservateur adjoint à la direction est logé au

rez-de-chaussée avec le service de l'entomologie; la bibliothèque du musée, le cabinet du conservateur qui est aussi celui du professeur chargé de l'enseignement universitaire de la zoologie et de l'anatomie comparée sont au premier étage, à proximité immédiate des collections.

Mobilier.

L'exposition des animaux grands et petits qui doivent figurer dans un musée zoologique, comporte des meubles différents; l'uniformité n'est pas possible comme pour d'autres musées scientifiques, parce qu'ils sont encore préparés, conservés de diverses façons. Pour obtenir quand même une harmonie nécessaire, nous avons adopté, pour meubler la galerie centrale, deux types de meubles : *a*) la vitrine reposant sur un socle ou un buffet bas en bois pitchpin destinée aux spécimens taxidermisés ou montés en alcool ; *b*) le buffet à pans coupés vitrés pour les insectes et les mollusques. (Fig. 3, 4.)

Meuble *a*. Les dimensions du meuble-vitrine sont : hauteur totale 2.60 m., largeur 3 m., profondeur 1.45 m. Le corps en fer à quatre portes, est vitré en verre belge, demi-glace, n'ayant pu obtenir le verre glace plus transparent mais beaucoup plus cher ; la face supérieure du meuble est vitrée en verre diamanté pour éviter que la poussière ne s'y voie et nous avons en outre réussi par ce moyen à économiser des nettoyages répétés et dangereux. Afin d'isoler le corps supérieur vitré du corps en bois, buffet ou socle, pouvant présenter à la longue des fissures désagréables, ce dernier a été recouvert d'une plaque de tôle qui rend les deux corps du meuble indépendants l'un de l'autre. Si nous n'avons pas voulu adopter la vitrine faite uniquement de fer et de verre telle qu'on la voit aujourd'hui dans plusieurs musées modernes, c'est parce que, outre son prix élevé, elle nous paraissait un peu froide à l'œil. Le corps vitré est

muni à l'intérieur de crémaillères en fer, avec porte-rayons de cinq longueurs différentes pour permettre l'exposition étagée des divers objets. L'usage des rayons en verre

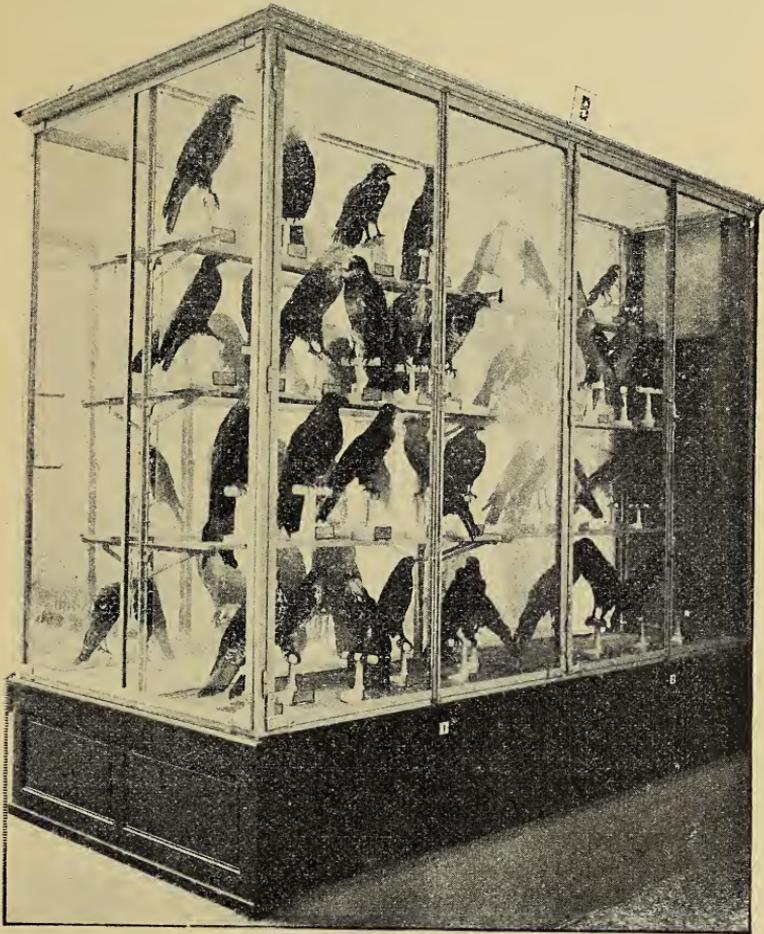


Fig. 3.

glace, qui ont le grand avantage d'être solides sans supprimer la lumière, nous étant interdit vu leur coût élevé, nous l'avons remplacé par un type unique de rayon ayant

1.45 m. de long et 15 cm. de large, fait d'une plaque de tôle rivée sur un cadre en fer capable de supporter un poids considérable sans fléchir. L'arrangement des objets

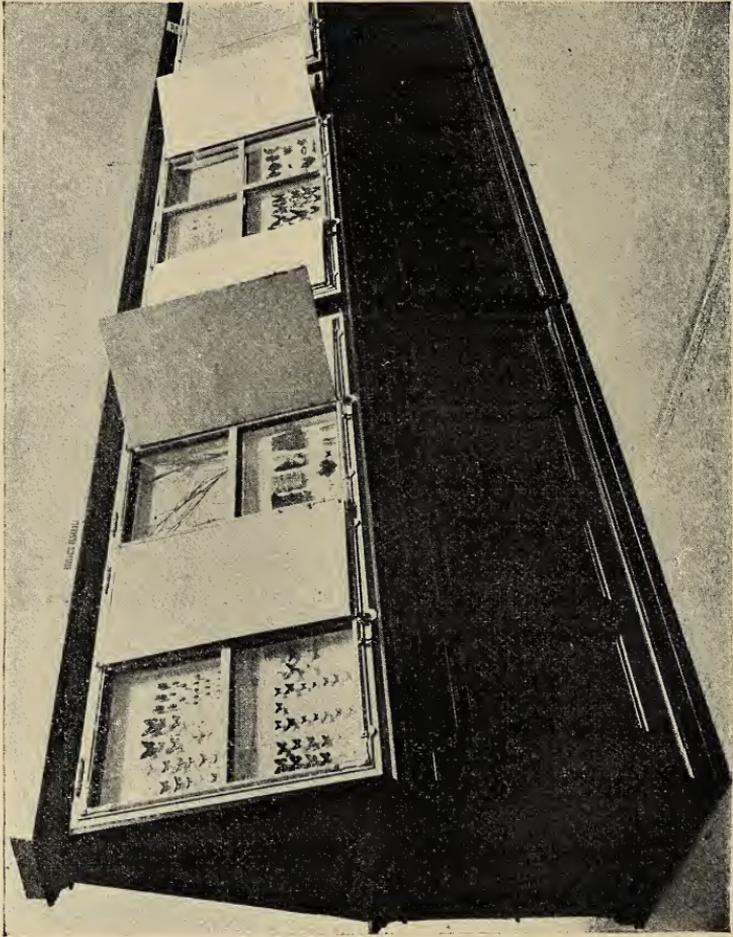


Fig. 4.

à exposer nous a été ainsi beaucoup facilité, nous aidant encore pour cela de petits bancs en fer fixés selon les besoins aux porte-rayons et aux crémaillères.

On voit souvent les séries des objets exposées dans les vitrines séparées les unes des autres par des cloisons en

bois, qui font que certaines d'entre elles sont moins bien éclairées que d'autres ; or, pour obvier à cet inconvénient,

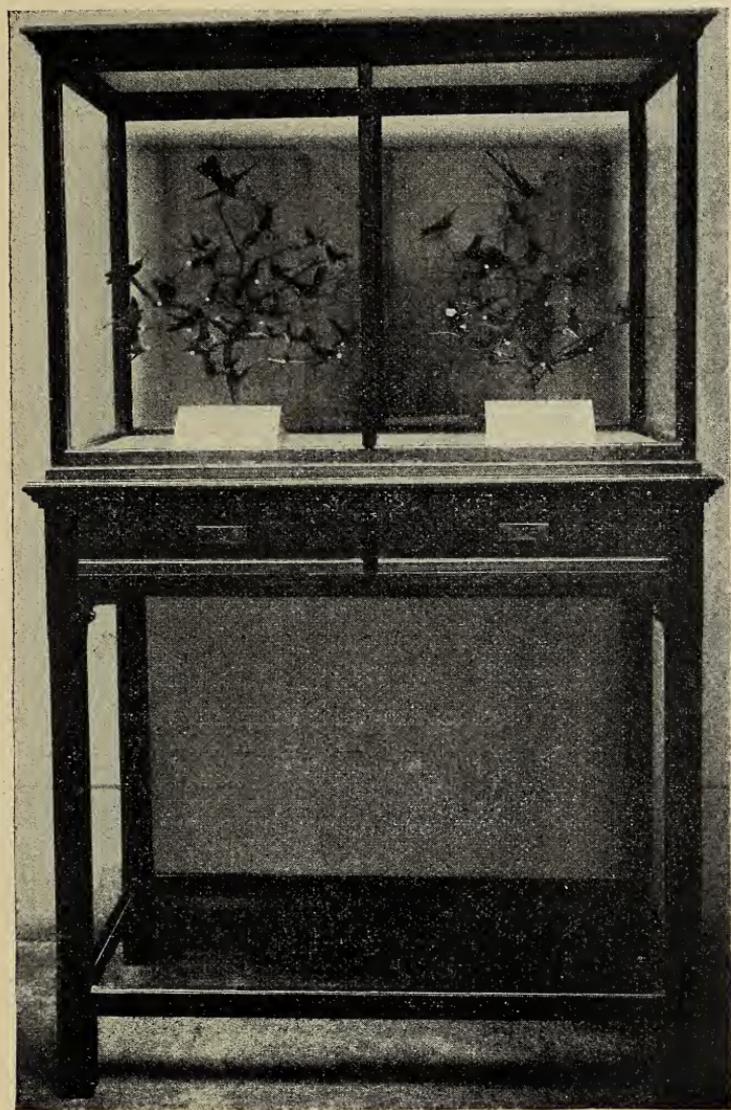


Fig. 5.

nous avons adopté comme cloison séparative un rideau fait de gaze légère, jaune pâle, collé pour le maintenir tendu, à

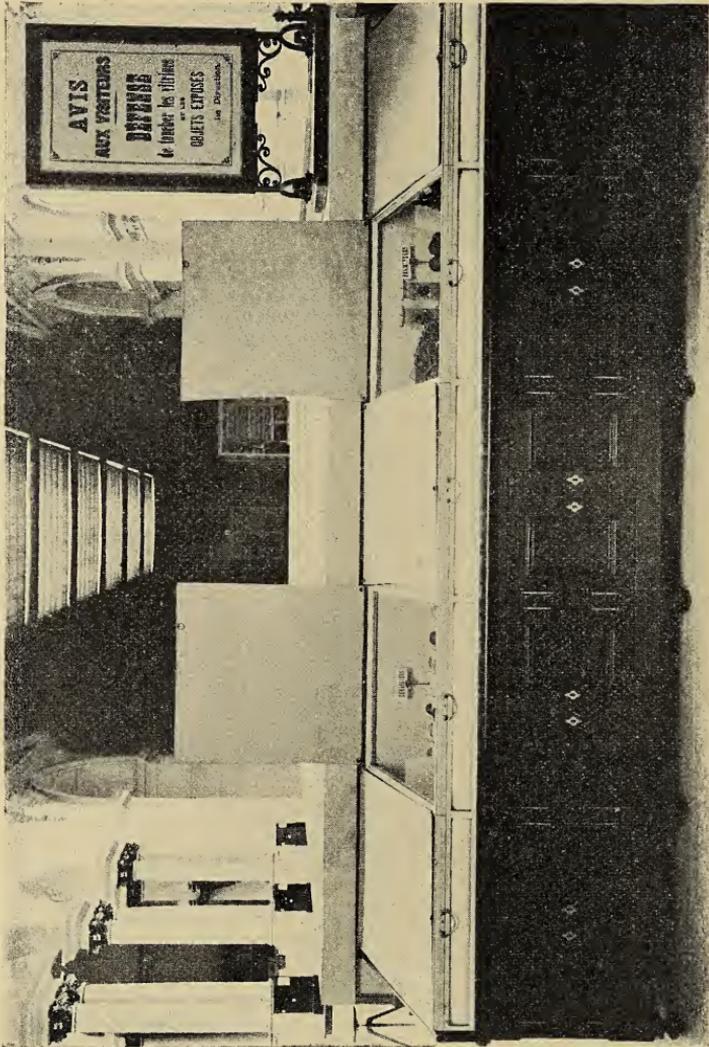


Fig. 6.

deux tringles dont une est retenue en haut de la vitrine à des crochets, l'autre reposant sur son fond. La séparation

désirée est ainsi obtenue sans difficulté et la lumière pénètre également dans tout l'intérieur de la vitrine ; les crochets internes sont en outre très utiles pour suspendre certaines pièces ou des tableaux explicatifs.

Les vitrines de la collection d'enseignement et de la faune vaudoise ont été faites selon le type ci-dessus, mais comme elles devaient être en grande partie adossées contre les parois des salles, leur fond est en tôle épaisse remplaçant avantageusement le bois le plus sec qui travaille encore exposé au chauffage central. (Fig. 3, 7.)

Meuble *b*. Le buffet à pans coupés vitrés, adopté pour l'exposition des insectes et des mollusques, est fait de deux parties inséparables en bois pitchpin ; le corps inférieur à deux portes sur ses deux faces, mesure 95 cm. de haut, 2.30 m. de large et 1 mètre de profondeur. Le corps supérieur mesure 1 m., il a ses pans vitrés à l'inclinaison de 70° qui représentent 3.40 m² de surface d'exposition. (Fig. 4.)

Les oiseaux-mouches, trop petits pour figurer dans de grandes vitrines, ont été placés dans deux meubles spéciaux (Fig. 5) ; les nids et œufs d'oiseaux sont exposés dans deux petits meubles vitrés, placés à l'entrée des deux ailes nord et sud de la galerie principale. (Fig. 6.) Les quelques squelettes de grands mammifères que nous possédons reposent sur un meuble à trois gradins, et les gros crânes, pour faciliter leur démonstration, sont sur de petites tables tournantes. Ajoutons que la couleur jaune clair des parties en fer et de leurs accessoires s'harmonise avec celle des parois des salles.

Nous avons la satisfaction de constater que tous les meubles du Musée zoologique ont pu être établis par des industriels lausannois, d'après des croquis que nous avons livrés aux architectes qui les ont mis au point pour assurer leur exécution définitive.

Exposition. Etiquetage. Conservation des collections.

Exposition. — Nous aurions bien aimé pouvoir ordonner quelques grands groupes biologiques dans la galerie centrale du Musée de Lausanne, destinés à montrer au public certains mammifères et oiseaux surpris dans leur milieu habituel, avec des attitudes diverses donnant l'illusion de la vie tels qu'on en voit dans les nouveaux musées d'histoire naturelle¹; mais nous n'aurions plus eu de place pour exposer tout ce qui était digne de figurer encore dans les vitrines de la Collection générale. Pour l'instant, celle-ci ne renferme que quelques modestes exemples de biologie, mais, en attendant mieux, nous avons tenu à rappeler, au moins pour les mammifères, divers reptiles, le terrain sur lequel ces animaux vivent. Si les oiseaux de la collection générale sont restés montés sur des perchoirs, sauf les grands rapaces qui sont sur rochers, ceux de la faune vaudoise ont été naturalisés biologiquement, et, quand nous le pouvions, en famille, avec le nid, les œufs et les petits. Une partie de nos animaux alpestres sont réunis dans une grande vitrine avec rocailles et un fond rappelant un coin de nos Alpes vaudoises, exécuté par un de nos bons artistes, feu le peintre Renevier (Fig. 7); une seconde vitrine, encore en travail, est destinée à recevoir quelques hôtes de nos bois et de nos champs.

Il va sans dire que le quadrupède ou l'oiseau *empaillé*, bourré de chiffons ou d'étoffe, n'entre plus dans nos collections; il a été remplacé par l'animal modelé, préparé selon les nouveaux procédés de la taxidermie. Cet art nouveau comporte, à côté de l'habileté professionnelle, la con-

¹ Le Musée d'histoire naturelle de Francfort, récemment installé dans ses nouveaux locaux de l'Allée Victoria, possède, en particulier, de beaux groupes dioramiques et zoogéographiques.

naissance exacte des formes anatomiques dictées par l'ossature, la musculature, leurs rapports avec la peau et l'étude des formes animales vivantes dans leur milieu,

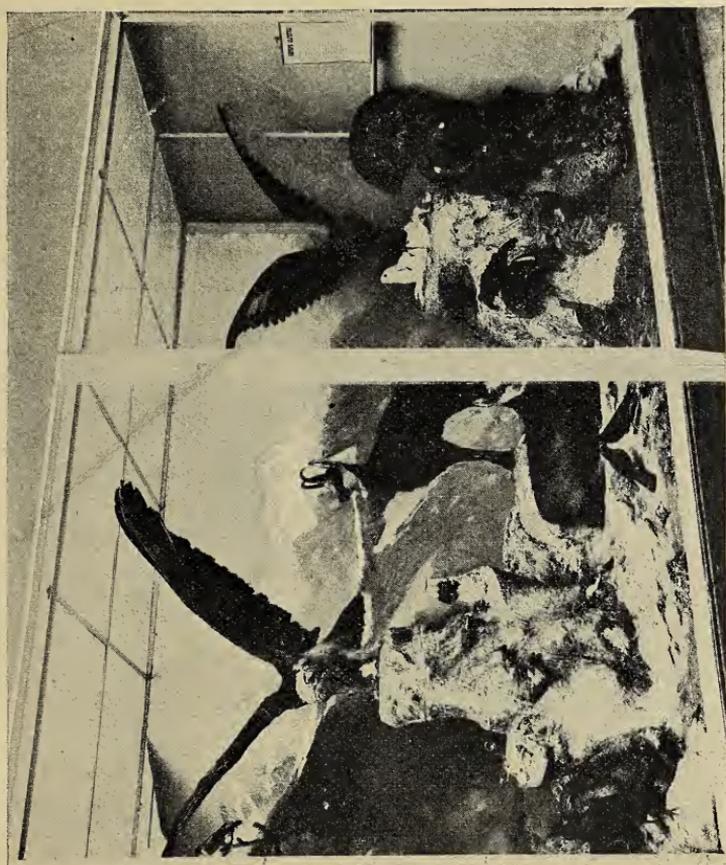


Fig. 7. — Groupe alpestre.

pour en reproduire fidèlement la physionomie, la pose, les allures diverses. Le taxidermiste actuel n'est plus l'empailleur d'autrefois, c'est un professionnel qui doit être à la fois artiste et naturaliste, bon observateur du vivant, s'il veut pouvoir naturaliser comme il le faut les animaux devant entrer en vitrines.

Pour rajeunir le Musée, nous avons dû brûler pas mal de vieux sujets dont les poils ou les plumes tombaient, « ayant subi des ans l'irréparable outrage » ; ce fut, entre autres, le cas d'un grand renne empaillé au commencement du siècle passé. Sa peau avait été tendue sur de l'étope entourant un grossier gabarit fait de planchettes clouées sur une poutre traversant le corps ; les yeux de ce sujet étaient deux verres de montre, en dedans desquels deux boutons noirs de bottines avaient été collés pour représenter les pupilles. Les figures 8 et 9 permettent de se rendre compte des étapes successives par lesquelles a passé un daim naturalisé selon les procédés actuels, par le préparateur taxidermiste attaché au musée. La figure 8 fait voir comment la musculature du corps, des membres, soigneusement mesurée sur le cadavre de l'animal, est reproduite à l'aide de faisceaux de paille tressés et cousus ensemble. La figure 9 montre la même pièce plus avancée dans sa préparation ; le corps de l'animal est recouvert d'une couche de terre à modeler, prêt à recevoir la peau qui sera tendue et cousue pendant qu'elle est encore humide du bain désinfectant dans lequel elle trempait. Des yeux d'émail, reproduction fidèle de ceux de l'animal, seront placés derrière les paupières dans le moulage de la tête. Le corps des petits mammifères, celui des oiseaux est reproduit en tourbe, en bois et en filasse, d'après les mesures prises sur le sujet.

Toutes les préparations anatomiques, tous les animaux conservés à l'alcool à 70% ou à 80% ont été montés dans des cylindres de verre avec pied, fermés avec des plaques collées à la colle de poisson. Pour obtenir encore une fermeture plus hermétique, les plaques des bocaux de la collection d'enseignement sont, en outre, recouvertes d'un morceau de vessie de porc solidement attaché, verni au ripolin noir. Nous pouvons recommander ce procédé de fermeture qui nous satisfait mieux que d'autres, puisque depuis quatre

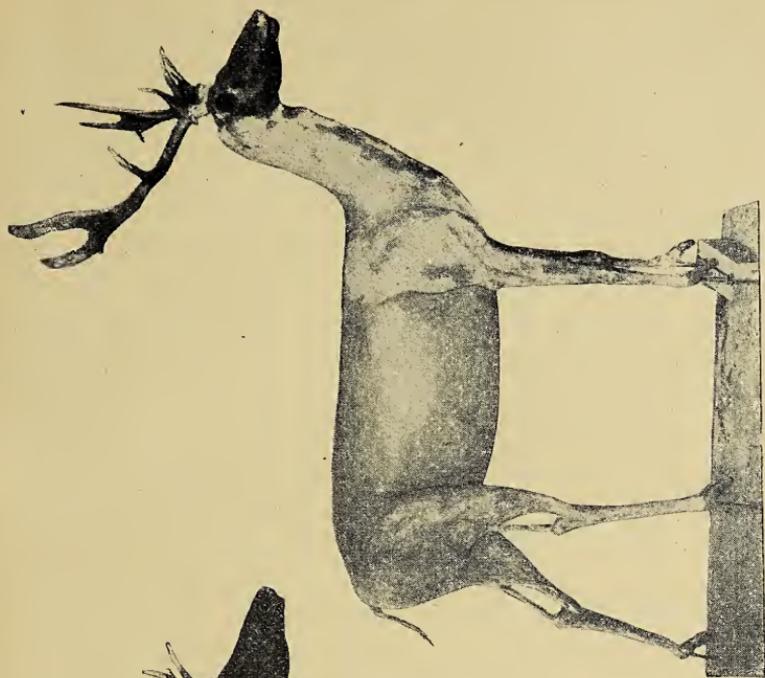


Fig. 9.

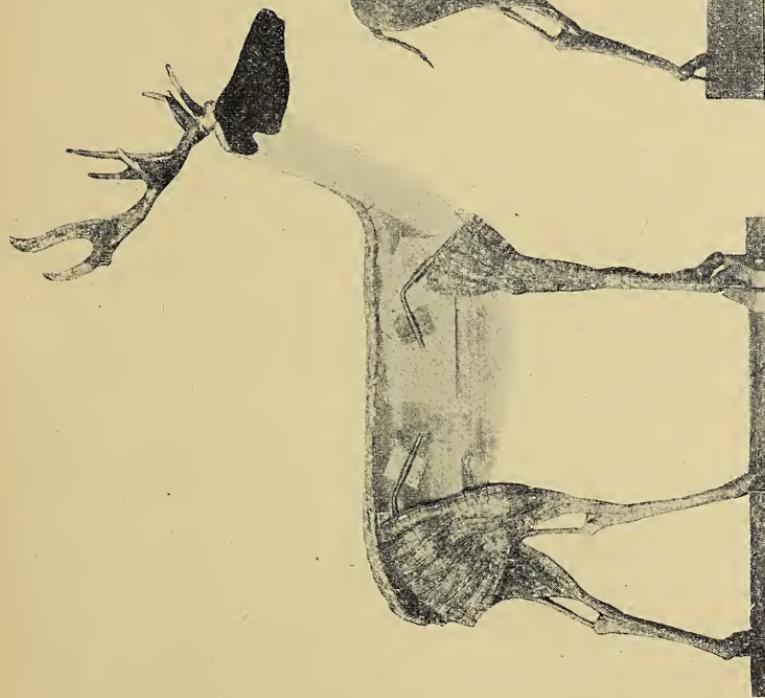


Fig. 8.

ans, nous n'avons eu à reviser que 15 bocaux, dont l'alcool s'évaporait, sur les 937 qui sont entrés en vitrine en septembre 1906. Nous aurions désiré enfermer tous les poissons que nous possédons dans des bocaux rectangulaires, afin de pouvoir les y fixer nageant, comme ils sont dans leur milieu ; mais, vu le prix élevé de cette verrerie spéciale, nous avons dû renoncer à ce mode d'exposition.

Afin de mieux révéler au visiteur les spécimens de petite taille, conservés à l'alcool, ceux-ci, comme on le fait ailleurs, sont placés dans de petits tubes de verre ; d'autres reposent sur de la ouate blanche, afin qu'ils ne tombent pas tassés dans le fond du bocal où on ne peut plus les distinguer convenablement. Pour faciliter la lecture ou l'étude des préparations anatomiques de la collection d'enseignement conservées en alcool, elles ont été fixées avec de la colle de poisson sur des plaques de verre opale blanc ou bleu cobalt très foncé, selon la couleur des organes : une plaque de tôle vernie en noir placée derrière le bocal, nous sert, mieux que tout autre dispositif, à faire ressortir les formes des animaux transparents ou les squelettes cartilagineux enfermés en alcool ; c'est un procédé pratique et bon marché.

La plupart des pièces sèches et des modèles en cire qui font partie de la collection d'enseignement, sont exposés à l'abri des heurts et de la poussière, dans des boîtes en verre à fond blanc ou noir, en sorte que ces préparations peuvent être mises sans danger entre les mains des étudiants qui ont à en faire l'étude ou à les dessiner en laboratoire.

C'est dans le même but, que les crânes de petites dimensions sont placés dans des cylindres de verre fermant avec un couvercle de gutta percha. Les autres pièces ostéologiques sont montées sur socles, seuls les squelettes désarticulés sont en boîtes vitrées.

Étiquetage. — Toutes les étiquettes de la collection générale sont calligraphiées, avec bords aux couleurs conventionnelles, rappelant les provinces zoologiques remaniées et étendues par Ortmann¹, pour les faunes marines et d'eau douce. De grandes cartes géographiques coloriées suspendues aux parois de la galerie, renseignent le public sur la signification des couleurs adoptées. Les étiquettes des animaux marins ont comme signe distinctif un triangle, celles des animaux d'eau douce ont un carré ; nous n'avons pas voulu distinguer plus spécialement les animaux côtiers des animaux pélagiques, afin de ne pas surcharger les étiquettes d'autres signes, exigeant des visiteurs des connaissances zoogéographiques spéciales. Mais, comme certains groupes d'animaux ont une aire de distribution parfois restreinte, étant donné leurs habitudes, leur passé, les changements survenus dans la configuration des contrées qu'ils habitent, nous employons encore de petites cartes en projection Mercator, où nous fixons plutôt à l'encre de Chine la zone de la province géographique qu'ils occupent plus spécialement.

L'espèce animale exposée est désignée par son nom latin avec les initiales de l'auteur qui l'a dénommée et décrite ; il est accompagné de son nom vulgaire, quand il existe ; l'étiquette mentionne aussi le nom de la localité d'où provient le spécimen et éventuellement le nom du donateur. Les noms des divisions et subdivisions du règne animal ont été imprimés sur de grandes plaques d'email ou sur des écriteaux en celluloïde.

En attendant que l'importante publication *Das Tierreich*² soit terminée, nous avons dû nous contenter de classer nos collections d'après les systèmes généralement adoptés ; cependant, les Oiseaux, les Reptiles et les Batraciens ont

¹ Ortmann. *Gründzuge der Marinen Tiergeographie*. Jena 1896.

² *Das Tierreich*. Eine Zusammenstellung und Kennzeichnung der rezenten Tierformen Berlin. Verlag von Friedländer und Sohn.

été ordonnés d'après les catalogues du Musée d'histoire naturelle de Londres (British Museum). Nous n'avons pas pu nous préoccuper autrement des règles de la nouvelle nomenclature, qui sont, du reste, quelque peu critiquées aujourd'hui¹. L'étiquetage des spécimens et objets de la collection d'enseignement a été fait selon la classification suivie dans nos cours de zoologie et d'anatomie comparée professés à l'Université².

Conservation des collections. — Tout préposé à la garde d'un musée zoologique sait qu'il a à lutter contre trois ennemis, la lumière, la poussière et les insectes qui s'attaquent aux objets naturalisés.

Pour nous défendre contre la lumière grande mangeuse des couleurs des corps organisés privés de vie, des rideaux jaunes, faciles à manier, ont été installés au-dessous des plafonds vitrés. Afin de protéger pendant les longues heures d'ouverture les insectes, les mollusques, les œufs d'oiseaux exposés, nous avons imaginé un modèle de rideau de toile épaisse, jaune, tendue sur un cadre de métal très léger fixé au corps vitré par deux articulations. Pour voir ces séries, le visiteur n'a qu'à soulever le rideau par sa boucle et il peut le laisser retomber sans crainte d'endommager quoi que ce soit; l'air faisant résistance empêche qu'il ne tombe trop fort. L'emploi de ce dispositif original remplace avantageusement le volet de bois, la plaque de carton, voire même le store à ressort dont on use maintenant, mais dont le jeu n'est pas sans danger pour les spécimens qu'ils doivent protéger.

Le fer ayant remplacé le bois dans la construction des vitrines, il est maintenant plus facile de se défendre contre

¹ H.-E. Ziegler. Ueber die neue Nomenklatur. *Zoologischer Anzeiger*. Bd. XXXVIII. Nr. 9/10. 1909.

² H. Blanc. *Résumé de la Classification zoologique à l'usage de l'étudiant*. Lausanne 1911.

l'entrée de la poussière. Pour cela on emploie divers procédés, le meilleur consiste à garnir de plusieurs mèches de coton les battues des portes des meubles afin d'en assurer la fermeture hermétique. La conciergerie du Palais de Rumine a à sa disposition deux appareils pour enlever la poussière par absorption, dont cas échéant, nous pouvons nous servir.

Il semblait qu'avec la naphthaline en boule ou en poudre, le remède souverain était trouvé pour défendre les collections entomologiques, les animaux taxidermisés contre les insectes destructeurs, dermestes, anthrènes, teignes, bruches, etc.; hélas, ce produit n'a pas donné ce que l'on attendait de lui. Expérience faite, nous l'avons avantageusement remplacé par la créosote de hêtre, dont nous remplissons les petites fioles Sauvinet piquées dans les cadres d'insectes ou des récipients en verre que nous plaçons dans les vitrines des animaux naturalisés. La désinfection d'objets attaqués par les insectes destructeurs qui rongent les peaux de mammifères et d'oiseaux mal préparés est faite dans une caisse à désinfection à l'aide du sulfure de carbone.

Aperçu des collections.

a) *Collection générale.*

Comparée à celles que possèdent d'autres musées d'histoire naturelle en Suisse, pour ne pas sortir de nos modestes frontières, nous devons avouer qu'à part quelques séries et certains sujets rares, il manque à cette collection une quantité d'animaux que le public aime à voir exposés dans un musée zoologique.

La classe des *Mammifères*, qui compte aujourd'hui 2300 espèces vivantes, n'est représentée que par 260 d'entre elles, dont la plupart faisaient partie de la collection privée de D.-A. Chavannes, et qui, préparés d'après les anciens

procédés, devront être tôt ou tard remplacés ; nous espérons bien pouvoir, avec le temps, nous procurer les géants de cette classe qui nous font défaut, soit un éléphant, un rhinocéros, un hippopotame, une baleine, puis-

que nous disposons maintenant d'assez de place pour les recevoir. En attendant ces acquisitions nous pouvons signaler une série à peu près complète de Singes anthropomorphes qui com-

prend entre autres un groupe biologique de deux *Orangs-outangs*, de Bornéo, mâle et femelle (fig. 10), cinq espèces de *Gibbons* ; plusieurs petits Rongeurs américains provenant du Parc national des Etats-Unis un *Castor* à peu près albinos

provenant d'Avignon, une espèce d'Antilope (*Nemorhedus sumatrensis*), qui vit dans la montagne à Sumatra, un bel Edenté, le Tatou géant (*Dasypus giganteus*) espèce qui devient de plus en plus rare dans l'Amérique du Sud et un Chlamyphore tronqué (*Clamydophorus truncatus*) petit mammifère découvert en 1824, aux environs de Mendosa province de Rio de la Plata, qui est un type rare et



Fig. 10. — *Satyrus orang* L.



Fig. 11. — *Nemorhadus Sumatrensis*. Shaw.

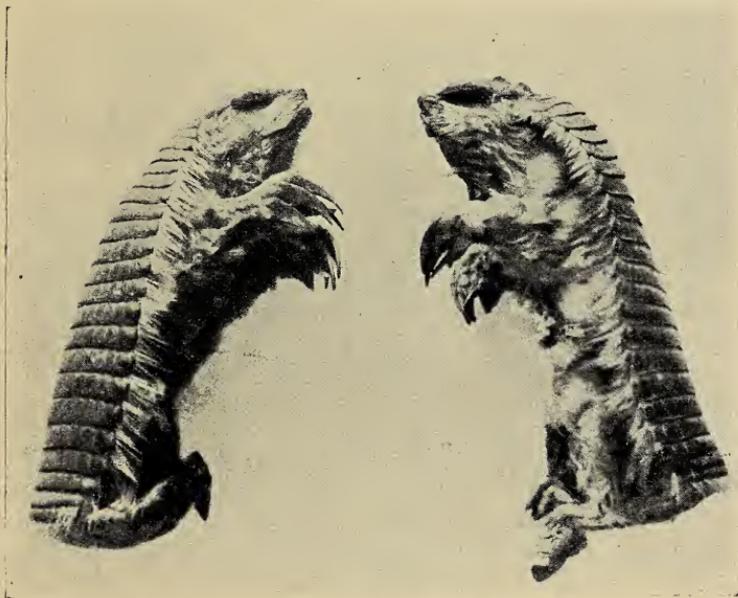


Fig. 12. — *Chlamydophorus truncatus* Harlan.

curieux, ressemblant au Tatou par sa cuirasse et ayant la tête et les pattes de la taupe dont il a les mœurs (Fig. 12.)¹

La classe des *Oiseaux* est mieux représentée que la pré-

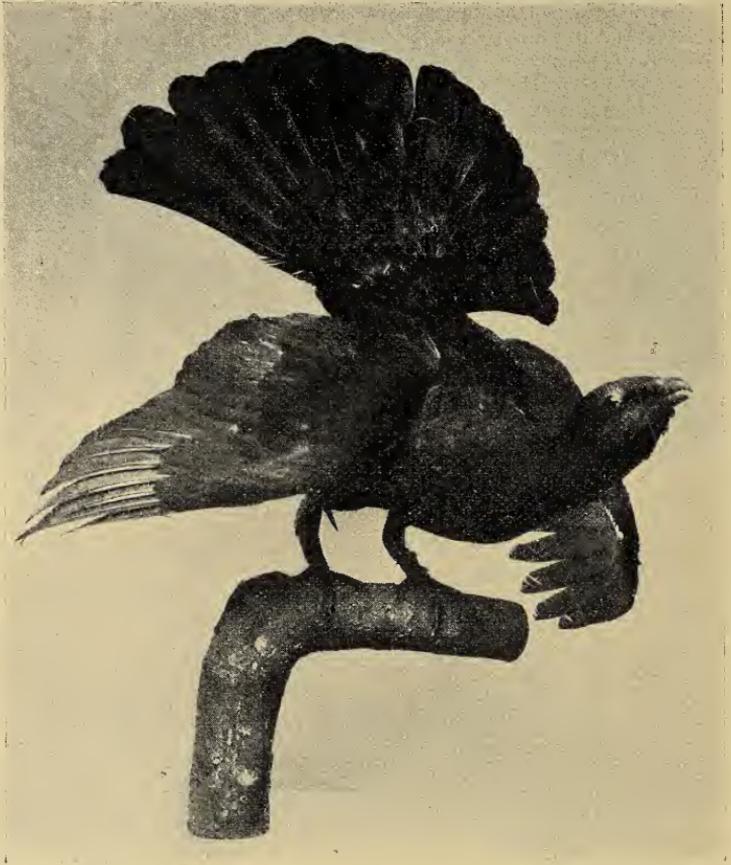


Fig. 13. — *Tetrao medius*. Meyer.

cédente : elle compte 1526 sujets exposés appartenant à 141 familles. Citons parmi eux : divers cas d'albinisme, ou couleur isabelle, de Pipi, Moineau, Bergeronnette,

¹ Les deux sujets conservés en formaline ont été récemment offerts au Musée par M. le docteur Métraux, médecin à Mendoza.

Alouette, Chardonneret, Pinson, Bouvreuil, Hirondelle, Pie grièche, Merle, Grive, Etourneau, Pie, Corneille, Corbeau, Caille, Bécassine et Grèbe. Trois exemplaires mâles du



Fig. 14. — *Fregilupus Varius*. Bodd.

Tetrao medius hybride de la femelle du grand Tetras (*Tetrao urogallus*) et du mâle du petit Coq de bruyère (*Tetrao tetrix*). (Fig. 13.)

Un beau Paon sauvage (*Pavo cristatus*) provenant de

¹ Meyer. Mag. O. Gesellschalt. *Naturf. Gesellschaft zu Berlin*. 3. Jahrg. 1811. A. B. Meyer. *Auerwild*. Wien. 1887.

l'Himalaya. Un Passereau rarissime (*Fregilupus varius*), espèce éteinte aujourd'hui, qui habitait autrefois l'île de la Réunion. (Fig. 14.)

Ne pouvant pas nous procurer l'ouvrage très coûteux publié par M. W. Rothschild¹ sur les oiseaux aujourd'hui disparus, nous nous sommes adressé à M. Ménégaux, assistant au Muséum d'histoire naturelle de Paris, qui a bien voulu nous faire parvenir les renseignements que nous désirions par M. Louis Demise, bibliothécaire principal à la Bibliothèque nationale à Paris et directeur de la *Revue française d'ornithologie*, auquel nous devons l'extrait suivant; nous lui exprimons ici tous nos remerciements.

« Cet oiseau, écrit M. Rothschild dans son ouvrage, semble avoir disparu au milieu du dernier siècle. Feu M. Pollen écrivait en 1868: Cette espèce est devenue si rare qu'on n'en a pas entendu parler depuis une douzaine d'années. Elle a été détruite dans tous les districts littoraux et même dans les montagnes près des côtes. Cependant des personnes dignes de foi nous ont assuré qu'il pourrait bien en exister dans les forêts de l'intérieur, près de St-Joseph. Des vieux créoles m'ont dit que dans leur jeunesse ces oiseaux étaient encore communs et qu'ils étaient si stupides qu'on pouvait les tuer avec des bâtons. Ce n'est donc pas à tort que M. Legras, habitant distingué de la Réunion, parlait de cet oiseau dans les termes suivants: La *Huppe* est devenue si rare que nous en avons à peine vu une douzaine dans nos courses pour découvrir des oiseaux. Nous avons même eu le chagrin de la chercher vainement dans notre muséum. Nous sommes certains que *Fregilupus* existait encore à la Réunion en 1835, puisque M. Desjardins, habitant de l'île Maurice, écrivait dans une lettre qui appartenait récemment encore à feu le professeur Milne Edwards: Mon ami Marcelin Sauzier m'en a envoyé

¹ W. Rothschild. *Extinct Birds*. Londres, 1907.

quatre individus vivants de Bourbon, en mai 1835. Ils mangent de tout. Deux se sont échappés quelques mois après et il pourrait bien arriver qu'ils peuplent nos forêts. Il semble en effet que ces spécimens aient été tués en 1837 à Maurice, où l'espèce n'existait pas originairement. Verreaux en tua un exemplaire à la Réunion en 1832. Spécimens connus dans les collections : Paris, 2 exemplaires en peaux, 2 dans l'alcool. Troyes, 4 exemplaires en peaux. Londres (Brit. Mus.) 1 exempl. (collect. Riocour). Florence 1. Turin 1. Pise 1. Leyde 1, mauvais et vieux. Stockholm 1. Muséum de Port-Louis, Ile Maurice, 1. Collection de feu de Selys Longchamp 1. Gènes 1.»

M. Rothschild n'a pas connu l'exemplaire du Musée de Caen au sujet duquel M. le professeur Brasil a écrit un très bon article accompagné d'une planche¹. Nous pouvons ajouter que ce savant ornithologiste, qui possède dans son Musée du Tring près de Londres des collections précieuses que nous avons eu l'occasion d'admirer, a été bien surpris quand, lors de sa visite au Musée, il y a deux ans, il vit notre Huppe dont il ne connaissait pas l'existence. M. Rothschild n'a pas su nous indiquer la cause probable de la disparition de cette espèce; elle a été vraisemblablement exterminée par l'homme, à moins que son extinction n'ait été naturelle.

Dans l'aile sud nous avons placé la collection de feu le capitaine Vouga, de Neuchâtel, qui comprend à peu près toutes les espèces d'oiseaux de la faune paléarctique européenne représentée par 1099 sujets, dont plusieurs remarquables par leur rareté, ont été signalés à l'attention des ornithologistes; ce sont, d'après le docteur J. Larguier² :

¹ *Revue française d'ornithologie*, mars 1911.

² La collection d'oiseaux de feu M. Vouga. Procès-verbal de la séance du 11 juillet 1887. *Bulletin de la Soc. vaud. des Sciences nat.*, vol. XXIII.

Une femelle adulte de *Gypaëtus barbatus*, tuée à Zermatt en 1839. Un mâle d'*Haliaëtus leucocephalus*, provenant de

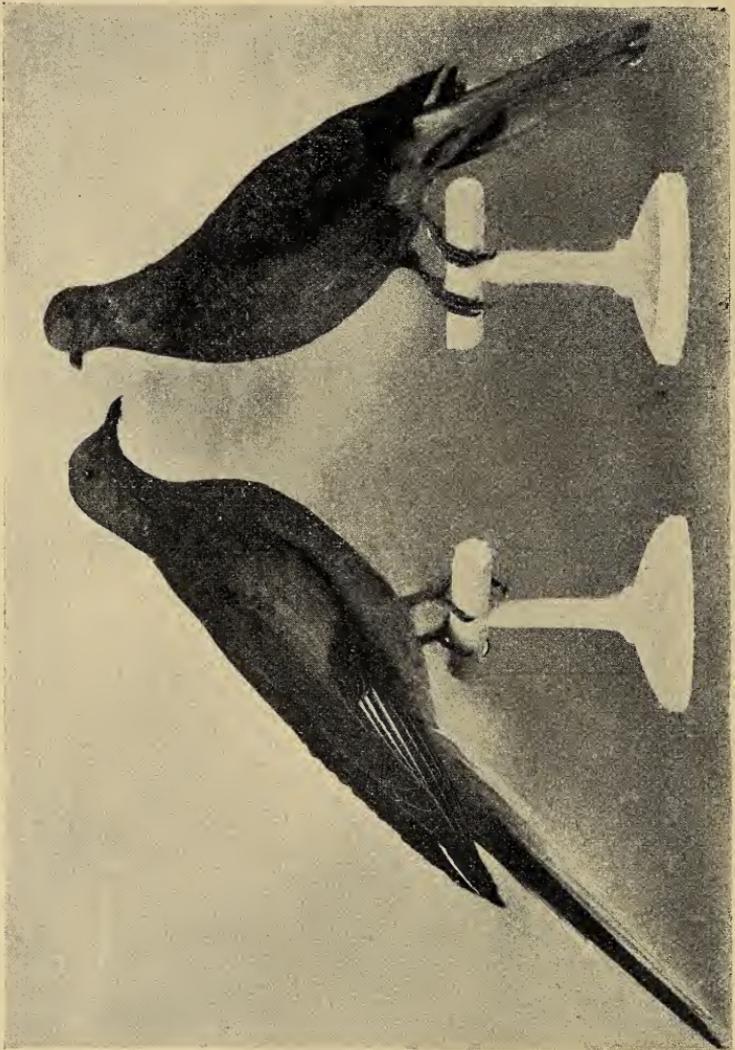


Fig. 13. — *Ectopistes migratorius*. Swains.

Waltern, tué aux Hébrides. Cet oiseau, que les Etats-Unis ont choisi pour emblème, ne fait en Europe que de fort

rare apparitions. Une belle série de *Hierofalco caudicans* et ses variétés. Une *Ulula lapponica*, un *Bubo scandiacus*, des *Bouvreuils* des régions boréales.

Une série intéressante de *Merles* orientaux ; le *Corvus*

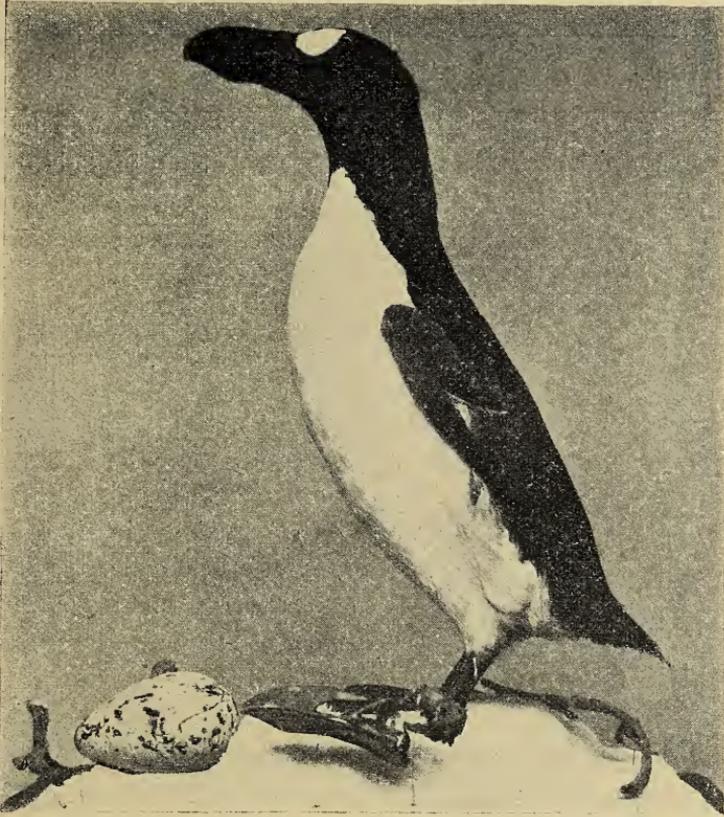


Fig. 16. — *Alca impennis*. L.

dauricus, le *Garrulus krynicki*. Une paire d'*Ectopistes migratorius*, pigeon migrateur tué en Angleterre, oiseau autrefois très commun en voie de disparition aujourd'hui. (Fig. 15.) Une paire de *Tetraogallus caspius*, la *Terekia cinerea*, tuée au bord du lac de Neuchâtel. Une *Grus leuco-*

geranus, un *Phœnicopterus roseus* capturé en Suisse. Les *Larus marinus*, *gelartes* et *sabinie*, l'*Anser hyperboreus*, les *Querquedula formosa* et *angustirostris*, la non moins rare *Eniconetta Stelleri* et l'*Erimastura leucocephala*. Un exemplaire albinos de *Podiceps cristatus* provenant du lac de Morat. Enfin un magnifique spécimen de l'*Alca impennis*, espèce aujourd'hui éteinte et dont il n'existe qu'un petit nombre d'exemplaires disséminés dans les meilleures galeries. Avant son extinction totale, ce grand Pingouin habitait les côtes de l'Islande et de Terre-Neuve; la valeur marchande de cette intéressante espèce représente à elle seule plus de la moitié du prix d'achat de la collection entière. » (Fig. 16.)

Dans la cage en verre jaune qui protège l'*Alca*, se trouvent son œuf et quelques os. D'après ce que nous savons par les restes de squelettes trouvés dans ces dernières années, l'*Alca* ou *Pingouin brachyptère* avait une aire de distribution géographique assez considérable, s'étendant sur le Groenland, la Norvège, le Danemark et l'Angleterre. Le dernier exemplaire de cet oiseau a été tué en 1844, et dès lors il n'a plus été revu. L'homme a exterminé cette belle espèce en pourchassant ses représentants pour s'en procurer les plumes, la graisse et surtout les œufs fort appréciés des pêcheurs qui fréquentaient alors les mers du Nord¹.

Les classes des *Reptiles et des Amphibiens* sont représentées par un grand nombre de spécimens montés en alcool, appartenant à 484 espèces indigènes et exotiques, et par quelques grands sujets naturalisés à sec. Nous devons rappeler que c'est à la générosité de M. W. Morton que le musée zoologique doit sa collection erpétologique.

¹ Pour plus amples renseignements sur l'*Alca impennis* consulter: Naumann. Longipennes XII, *Alca impennis* p. 169. *Naturgeschichte der Vögel Mittel Europas*. O. zur Strassen. Neues aus der Schausammlung Der Riesenalk. Sonderabdruck aus *Bericht der Senckenbergischen Naturforschenden Gesellschaft*, in Frankfurt a. M., 1910. W. Rothschild. *Extinct Birds*.

La classe des *Poissons* comprend 230 espèces qui en représentent les principales subdivisions, nous possédons encore en magasin bon nombre de ces vertébrés qui n'ont pas été exposés parce qu'ils étaient sans intérêt pour le grand public.

Les types les plus communs des grandes divisions des *Invertébrés* ont été montés en alcool, et quantité de spécimens naturalisés à sec ont été placés dans les meubles à pans. Beaucoup de ces animaux inférieurs ont pu être récoltés à Tatihou, près de St-Vaast la Hougue (Manche), pendant deux séjours que nous avons eu l'occasion de faire au laboratoire maritime du Muséum de Paris, dirigé par M. le professeur Edmond Perrier qui nous avait généreusement accordé l'autorisation d'emporter toutes nos récoltes. La faune de la Baltique est représentée par un assez grand nombre de spécimens collectionnés pendant notre séjour à Kiel.

Des collections spéciales qui ont été offertes au Musée, nous citerons celle des *Mollusques terrestres et fluviatiles*, riche de 1900 espèces et variétés, constituée par Jean de Charpentier¹ et bien connue des malacologistes de son temps; la collection des Microlépidoptères suisses du docteur J.-C. De la Harpe renferme des espèces rares ou peu communes; elle est importante parce qu'elle a servi de base à la publication des Lépidoptères de la faune suisse²; la collection des papillons Rhopalocères et Hétérocères du colonel Agassiz, riche de 20 000 spécimens; les collections plus modestes de A. Chavannes, C.-A. Bugnion, A. Forel, Venetz, Meynet, Auberjonois, faites de Lépidoptères et d'autres insectes enfermées et protégées dans les

¹ Liste des Mollusques terrestres et fluviatiles de la collection de Jean de Charpentier. Bex, décembre 1852. Cette liste autographiée est à la bibliothèque du Musée.

² Faune suisse. *Lépidoptères, Phalénidés, Pyrales et Tortricides*, par J.-C. De la Harpe. *Nouveaux mémoires de la Société helvétique des sciences naturelles*, vol. XIII, XIV, etc.

garde-meubles de la grande galerie où ces collections peuvent être consultées par les spécialistes.

Nous n'avons collé sur carton ou épingle dans des cadres que des séries très générales destinées à marquer les sous-divisions importantes afin que les jeunes collectionneurs puissent facilement déterminer leurs premières récoltes. En organisant ces collections nous avons aussi pensé aux dessinateurs, aux artistes, en leur offrant la vision permanente des formes et des couleurs parfois si élégantes et si belles qui existent dans le monde des animaux inférieurs. Les belles planches du professeur E. Hæckel¹ ont été suspendues au fond de la salle, dans le but encore de rendre service aux amateurs des arts appliqués et industriels en quête de modèles pour l'exécution de certains travaux. Nous avons eu la satisfaction de constater qu'en travaillant dans cette direction, nous avons déjà pu faire plaisir à plusieurs personnes qui viennent dessiner ou peindre au Musée.

Le domaine intéressant de la Biologie des insectes que nous comptons développer encore, comprend pour le moment une bonne série de Papillons séricigènes élevés à Lausanne (collection Auberjonois), plusieurs exemples d'insectes nuisibles aux arbres de nos forêts, à nos arbres fruitiers, à la vigne, aux bois travaillés de nos maisons.

Avant de quitter la grande galerie, nous devons mentionner les quatre appareils stéréoscopiques que le Musée doit à la générosité de notre concitoyen M. Louis Burdet, ornithologiste fixé en Hollande, qui photographie les oiseaux dans leur milieu, surpris couvant leurs œufs ou donnant la becquée à leurs petits. Ces quatre appareils, contenant chacun vingt-cinq vues, ont dû, pour éviter qu'ils ne soient pris trop souvent d'assaut et maltraités, être munis de mécanismes automatiques, qui ne permettent de

¹ *Kunstformen der Natur*, von Ernst Hæckel. Leipzig und Wien, 1904.

voir leur contenu qu'après réception d'une pièce de dix ou de cinquante centimes. Les musées d'Amsterdam et de Lausanne sont les seuls qui soient en possession des tableaux si originaux de M. Burdet.

Une intéressante collection d'œufs et nids d'oiseaux les plus communs, que le musée doit encore à M. Morton, a été exposée le long des deux galeries de l'atrium perpendiculaires aux escaliers (Fig. 5).

En souvenir des importants services rendus par Daniel Alexandre Chavannes à nos collections scientifiques, ses amis et ses admirateurs avaient eu, en 1841, la généreuse pensée de faire exécuter son buste par le sculpteur français Clesinger; nous l'avons fait placer dans la partie de la galerie de l'Atrium qui réunit les deux ailes nord et sud du corps central, puisqu'ils avaient offert cette œuvre d'art au Musée zoologique.

b) *Collection de la faune vaudoise ou régionale.*

Le projet de notre prédécesseur était de doter le Musée zoologique de tous les représentants de la faune suisse. Devant partager l'espace primitivement réservé à cette dernière pour faire place au Musée de botanique, nous avons dû nous restreindre et nous contenter de réunir tous les sujets de notre faune régionale. A part quelques exceptions appartenant à la faune des cantons du Valais des Grisons et du Tessin, les populations animales habitant nos Alpes vaudoises, le Jura, notre Jorat, nos marais, le lac Léman et ses rives, ce sont celles qui vivent partout ailleurs en Suisse¹. Sauf quelques chauves-souris, tous les mammifères de la Suisse sont représentés dans notre faune vaudoise, car les espèces disparues aujourd'hui de notre canton faisaient heureusement partie de la collection

¹ H. Blanc. *Faune du canton de Vaud*. Dictionnaire géographique de la Suisse.

de D.-A. Chavannes. Sont à mentionner : l'Ours brun, tiré vers 1830, aux Paccots, près de Château-d'Œx ; on en aurait tiré depuis deux exemplaires, l'un près du Marchairuz, l'autre vers 1840 au-dessus de Mont-la-Ville. Notre dernier Lynx doit avoir été tiré vers 1830, par un chasseur de l'Etivaz nommé Abram Martin ¹.

Le Musée ne possède pas de Loups tués dans le canton de Vaud, et nous ne savons ce qu'est devenu le dernier sujet de cette espèce, qui doit avoir été tiré au Pays-d'Enhaut, en 1842.

Un jeune Sanglier a été tiré en 1910 dans le canton, près de Suchy ; nous n'en avons pas fait l'acquisition pour le Musée, puisqu'il possédait déjà un beau représentant de cette espèce, tué en 1901 près de Penthérez.

Le Loup et le Sanglier nous viennent accidentellement de France, par les grands bois du Risoux et par les Vosges ; mais, il y a fort longtemps que le premier de ces deux animaux n'a pas réapparu dans le canton ; il se fait rare aussi en France.

Les Oiseaux de notre faune régionale sont représentés par de nombreux sujets, montés pour la plupart en groupes biologiques ; plusieurs espèces manquent encore à l'appel, voire même parmi les plus communes ; par contre, les Echassiers et les Palmipèdes, sédentaires ou de passage, sont nombreux et beaucoup d'entre eux ont été tirés par Charles Bastian, à l'embouchure de la Chamberonne ou de la Venoge ; ces deux endroits étaient autrefois d'excellents refuges pour ces oiseaux, dont le nombre diminue d'année en année, soit parce que les rives du Léman sont toujours plus habitées, soit parce que partout on a transformé le marais en terrain de culture.

Nous signalons, comme espèces rares pour notre faune,

¹ P. Narbel. *Contribution à l'étude de la Faune des mammifères du canton de Vaud*. Bull. Soc. vaud. Sc. nat. Vol. XXXVII, N° 139. 1901.

une Harelde glaciale, mâle (*Harelda glacialis*), Léman. Un Canard tadorne (*Tardorna cornuta*), Vidy. Une Foulque macroule, albinos, (*Fulica atra*, variété albinos), Vaud. Une Glareole (*Glareola pratincola*), Chamberonne. Un Bécasseau violet (*Tringa maritima*), Pierrettes. Un Héron garzette (*Garzetta garzetta*), Yverdon. Un Grimpereau (*Certhia costae*), Duillier, et trois sujets mâles de l'espèce hybride *Tetrao medius* dont deux ont été tirés aux Avants, et le troisième dans la forêt du Risoux, par Ch. Bastian. Les deux premiers ont été placés avec les Gallinacés de la Collection générale.

Les animaux alpestres, mammifères et oiseaux les plus communs de nos Alpes vaudoises, sont réunis en un groupe biologique auquel celui des hôtes de nos bois et de la campagne sera joint, quand nous aurons trouvé un peintre habile et généreux. Le *Gypatëus barbatus* ou Lämmergeier, le vautour des agneaux, placé sur un rocher dans le groupe alpestre, n'est pas vaudois ; cet oiseau magnifique, probablement le dernier représentant de son espèce en Valais, a été acquis par le Musée en 1886 ; connu depuis longtemps des habitants du Balschiederthal, au pied du Bietschhorn, il a été trouvé empoisonné aux environs de Viège ; il est remarquable par ses dimensions extraordinaires et par la coloration particulière de son plumage.

Les *Reptiles*, les *Amphibiens* et les *Poissons* de la collection vaudoise ont tous été montés en bocaux ; la série de ces derniers comprend les vingt-sept espèces qui vivent dans les eaux du bassin du Rhône et du Rhin. Une grande carte du canton de Vaud permet au visiteur de se rendre compte de leur distribution géographique. Plusieurs préparations rappellent quelles sont les maladies les plus communes de nos Poissons et d'autres sont destinées à démontrer les principales étapes du développement de la truite, dès la fécondation jusqu'à la résorption de la vésicule ombilicale.

Les séries d'Invertébrés du pays sont encore à organiser, leur récolte ne se fait que très lentement parce que les collaborateurs nous ont manqué jusqu'ici pour nous les procurer.

Diverses anomalies qui faisaient partie de la collection de D.-A. Chavannes, telles que veau, chèvre, mouton bicéphales et acéphales ou avec membres supplémentaires, ont été rajeunies pour le grand plaisir du public qui est toujours intéressé par ces monstruosité.

c) *Collection d'enseignement et Musée d'anatomie comparée.*

Si la collection générale n'est pas à comparer à celles que l'on voit dans nos grandes villes en Suisse, nous avons par contre réussi à doter le Musée zoologique et l'enseignement universitaire de la Zoologie et de l'Anatomie comparée d'une collection que celles-ci ne possèdent pas encore ; qu'il nous soit permis de détailler son contenu.

Située dans l'aile sud (Pl. 1 et 2), à proximité immédiate de l'auditoire de zoologie et des laboratoires, la collection d'enseignement, mesurant 200 mètres carrés, est meublée avec 36 vitrines dans lesquelles sont aujourd'hui 970 préparations anatomiques et spécimens montés en alcool ou en formaline, liquide dans lequel les animaux de consistance gélatineuse, tels que Méduses, Cténophores, œufs d'Amphibiens gardent leur transparence, 510 pièces sèches, squelettes et préparations ostéologiques, Insectes, Crustacés désarticulés, 189 modèles en cire, 96 cadres dans lesquels des objets délicats ont été enfermés, et 250 planches, aquarelles et photographies. Tout ce matériel qui sert au professeur pour les cours et aux étudiants qui travaillent au laboratoire, a été classé en quatre divisions distinctes, qui sont : 1. *Zoologie générale* ; 2. *Zoologie systématique* ; 3. *Anatomie comparée des vertébrés* ; 4. *Anatomie humaine* (Fig. 17).

1. *Zoologie générale.* — Le matériel scientifique que comporte cette division doit avant tout renseigner l'étudiant,

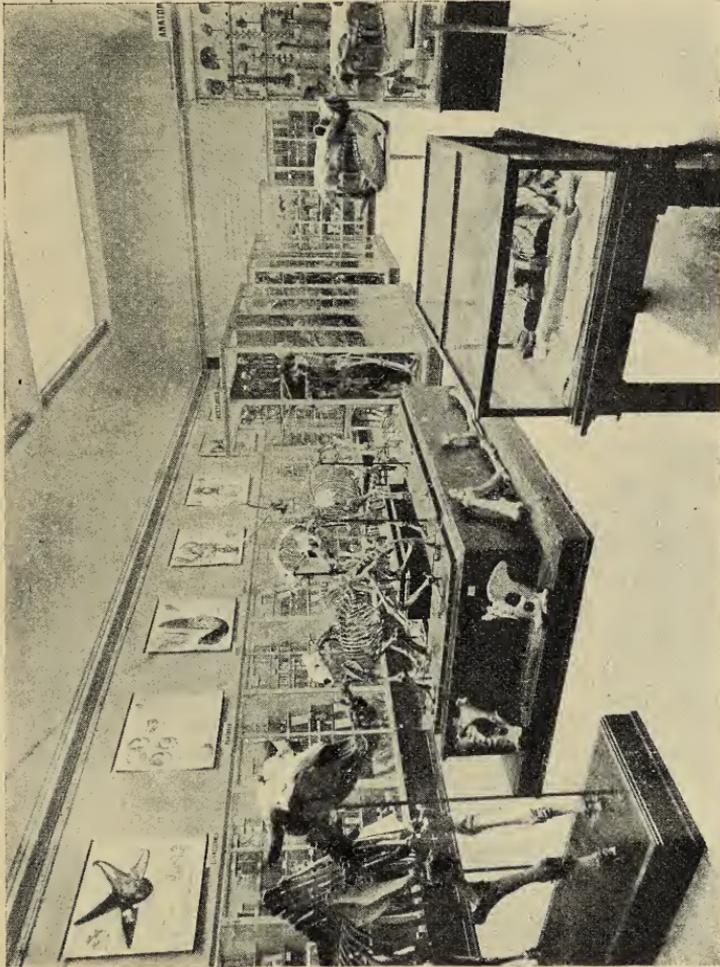


Fig. 17. — Collection d'enseignement.

sur ce qu'est l'espèce, sa variabilité à l'état domestique et à l'état sauvage ; lui rappeler les preuves de la théorie de l'évolution que les naturalistes tirent de la paléontologie, de la distribution géographique des animaux, de la morphologie, des diverses adaptations, de l'embryologie, de

la ressemblance protectrice, du mimétisme, du polymorphisme et du dimorphisme sexuel; puis suivent des exemples de symétrie rayonnée, bilatérale et d'animaux vivant en colonies ou en sociétés. Divers modèles en cire, accompagné de planches¹, rappellent les notions d'embryologie générale, les phénomènes de la maturation et de la fécondation de l'œuf, ainsi que les divers modes de segmentation et l'origine des premiers feuilletts embryonnaires. Quelques préparations tératologiques ont été jointes à l'Embryologie pour démontrer que le développement ne suit pas toujours son cours normal et qu'il présente parfois des accidents.

2. *Zoologie systématique.* — Cette division comprend la grande majorité des formes animales dont nous devons nous occuper à l'auditoire; elles ont été rangées en vitrines selon la classification que nous suivons et ce sont les représentants les plus connus des embranchements des *Protozoaires*, *Spongiaires*, *Coelentérés*, *Platodes*, *Vers*, *Vermidiens*, *Arthropodes*, *Mollusques*, *Procordés* et *Vertébrés* divisés en classes, sous-classes, ordres et sous-ordres. Nous nous sommes arrêtés à cette dernière catégorie de la hiérarchie systématique ne voulant pas charger l'étudiant, qui ne doit pas devenir un naturaliste, d'un bagage inutile fait d'une quantité de noms. Il va sans dire que les plus petits d'entre les Invertébrés dont l'étude ne peut être faite qu'au microscope, ont été représentés par des dessins, alors que tous les autres dont beaucoup proviennent de nos récoltes faites à Kiel et à Tatihou (Manche) ont été montés en alcool ou en formaline de façon à être bien vus; des dessins accompagnent ceux-ci ou ceux-là, destinés à faire voir les détails de leur organisation. Les préparations anatomiques d'animaux

¹ Planches tirées de l'ouvrage K. Guenther «*Vom Urtier zum Menschen.*» Stuttgart, 1909.

aits de laboratoire tels que l'Etoile de mer, l'Oursin, l'Ascaris, la Sangsue, le Ver de terre, l'Ecrevisse, l'Insecte, l'Anodonte, l'Huitre, le Solen, la Seiche qui sont dissé-

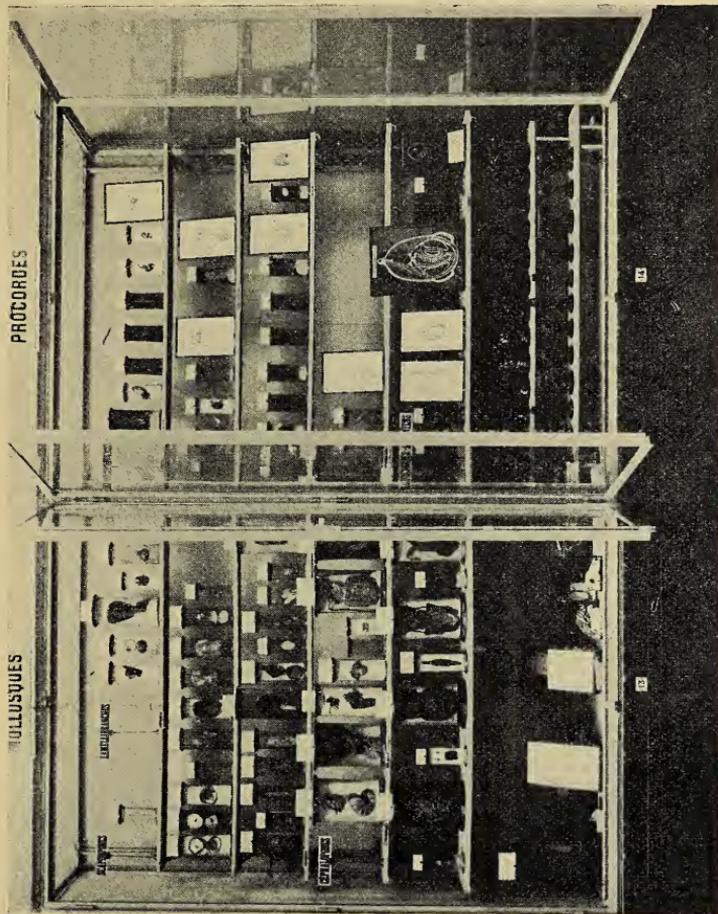


Fig. 18. — Collection d'enseignement.

qués en laboratoire comme exemples d'Invertébrés ont été soigneusement préparés. L'étudiant ayant ces préparations devant lui peut mieux atteindre le but qu'il poursuit dans ses exercices zootomiques. Aux modèles en cire des états larvaires, nous avons joint des spécimens fossi-

lisés accompagnés de tableaux qui renseignent le visiteur sur le développement phylogénétique de telle ou telle série.

Pour récapituler la systématique des Vertébrés qui devait prendre le moins de place possible dans la collection d'enseignement, des types de Poissons, d'Amphibiens et de Reptiles ont été montés en alcool ou à sec; mais pour marquer la classification des Oiseaux et des Mammifères nous nous sommes servis des planches coloriées, reproductions d'aquarelles de Kuhnert extraites de publications récentes¹.

3. *Anatomie comparée des Vertébrés.* — Nous exposons cette discipline à l'étudiant en lui présentant les dispositions anatomiques des systèmes et appareils chez les Poissons, les Amphibiens, les Reptiles, les Oiseaux et les Mammifères. Nous préférons de beaucoup cette méthode d'enseigner l'anatomie comparée à celle qui consiste à considérer les organes d'abord chez les Poissons pour les reprendre les uns après les autres, chez les autres Vertébrés; elle permet, mieux qu'une autre, d'établir des comparaisons et des séries non interrompues de développement organique qu'interprètent des lois connues de l'anatomie et de la physiologie comparées et dont l'essence est exprimée par l'aphorisme toujours vrai de H. Milne Edwards que nous avons mis en vedette dans la salle de la collection : « La nature va du simple au complexe grâce à une différenciation des formes toujours plus accentuée liée à une différenciation toujours plus grande du travail vital. »

Les préparations anatomiques sèches ou montées en alcool, les modèles en cire et les divers tableaux explicatifs qui se rapportent aux systèmes et appareils tégumentaire, squelettique, musculaire, nerveux, organes des sens, digestif, respiratoire, circulatoire, urogénital et au déve-

¹ *La Vie des animaux illustrée. Les mammifères* par A. Menegaux; id. *Les oiseaux*, par J. Salomon.

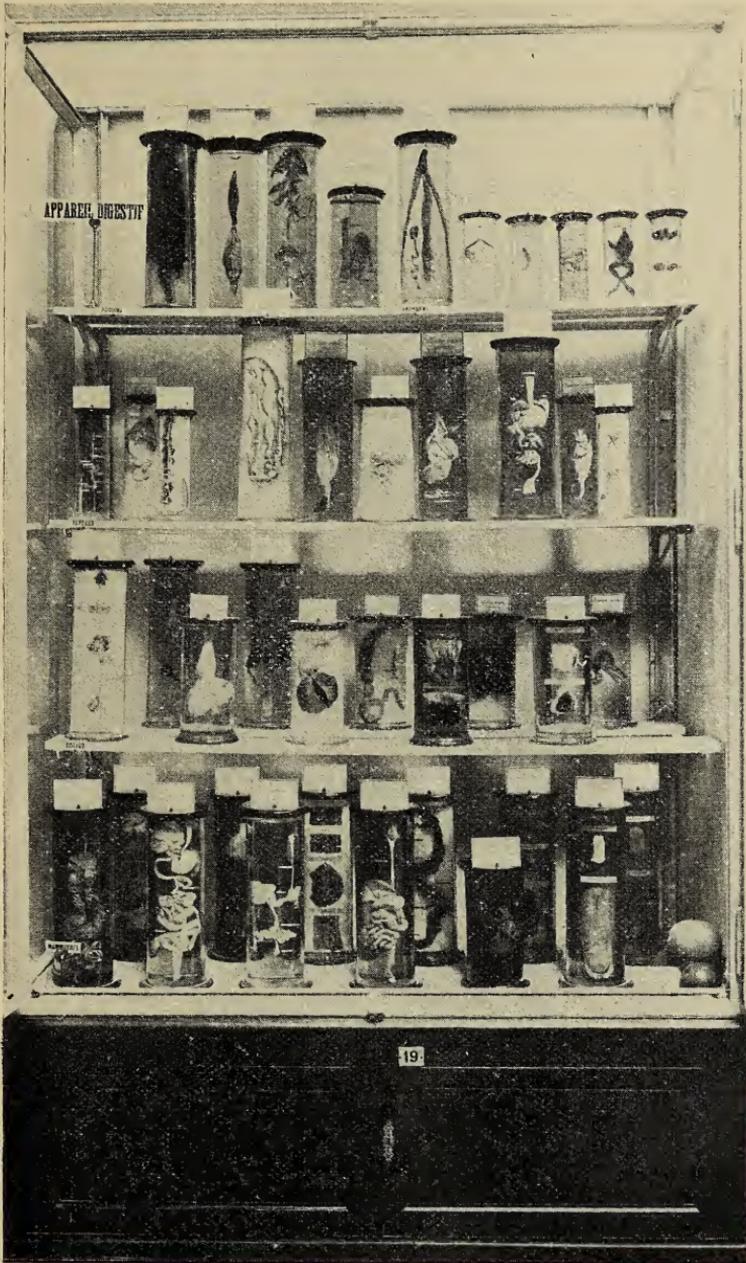


Fig. 19. — Vertébrés : Anatomie comparée.

loppement des Vertébrés sont exposés dans quatorze vitrines. Les squelettes des grands Mammifères sont placés sur un meuble en gradins ; près d'eux sont ceux d'une Girafe et d'un Bison. Si le Musée ne possède pas encore un grand Cétacé, le visiteur remarquera la belle mâchoire inférieure d'un Cachalot (*Physeter macrocephalus*) qui mesure $5\frac{1}{2}$ mètres de long et un fanon de Baleine (*Balaena mysticetus*) de $3\frac{1}{2}$ mètres.

Nous n'énumérerons pas les préparations nombreuses d'organes rangées en collection, ce serait fastidieux ; nous attirerons plutôt l'attention des spécialistes sur les modèles en cire inédits œuvre de M. Murisier, assistant et préparateur au Musée ; ce sont : 1° un encéphale de Perche destiné à démontrer l'origine des nerfs crâniens et les relations des paires de nerfs olfactifs optiques et auditif, qui innervent les fosses olfactives, l'œil et l'oreille interne dans leurs parties essentielles. 2° douze modèles en cire de cœurs de divers Vertébrés démontrant la constitution anatomique de cet organe avec ses vaisseaux artériels et veineux efférents et afférents. Plusieurs de ces modèles ont été faits d'après des préparations originales. Les organisations des divers types de Vertébrés que l'étudiant doit apprendre à connaître au laboratoire, ont fait l'objet de dissections soignées qui se distinguent d'entre beaucoup d'autres par l'étiquette spéciale « *Zootomie* ».

4. *Anatomie humaine*. — Le matériel de démonstration dont nous disposons pour le cours d'Anatomie et de physiologie générales donné à la Faculté des sciences est encore peu conséquent. Le public s'arrête plus volontiers devant un bon modèle en cire sorti en 1824 de l'atelier de l'artiste florentin Serantoni, auquel le Musée d'histoire naturelle de Florence doit une remarquable collection de pièces qui ont trait à l'anatomie humaine. Le modèle exposé représente un tronc humain ouvert pour montrer divers détails anatomiques ; il fut offert au Musée par les héritiers de Daniel Grand d'Hauteville pour qu'il servît à l'enseigne-

ment de la zoologie et de l'anatomie donné alors par Daniel-Alexandre Chavannes aux étudiants de l'Académie de Lausanne.

Il ressort de la présentation qui vient d'être faite des collections du Musée zoologique vaudois qu'il mérite, malgré ses lacunes, d'être visité par le grand public et par les naturalistes qui s'occupent plus spécialement d'ornithologie, de malacologie et d'entomologie.

Loin de nous l'idée de vouloir faire du Musée dont nous avons la garde, un temple de la science; les ressources dont il dispose sont trop modestes; laissons aux grands musées d'histoire naturelle, largement subventionnés, la tâche d'accumuler des richesses, de favoriser par des subsides des explorations scientifiques, de publier des catalogues ou d'autres travaux précieux pour les spécialistes. Ce que nous désirons, c'est de voir le Musée zoologique de Lausanne devenir une institution toujours plus populaire et utile aux profanes, offrant aux étudiants de l'Université, aux autodidactes, les moyens de s'instruire en dehors des cours et des laboratoires. Aussi pour réaliser ce but, adressons-nous un chaleureux appel à tous ceux qui, dans notre petit pays, s'intéressent de près ou de loin à l'histoire naturelle et à son enseignement. Si parmi eux se trouvait quelque Mécène, nous serions servi à souhait parce qu'il nous serait enfin possible d'acquérir certains spécimens et des ouvrages indispensables pour la détermination que nous n'avons pas l'espoir de pouvoir nous procurer de sitôt, étant donné le modeste budget annuel dont le Musée dispose. On nous pardonnera cet appel intéressé: mais notre désir est de voir le Musée zoologique et toutes les collections scientifiques réunies au Palais de Rumine s'enrichir toujours davantage; leur ensemble représente un domaine important de notre patrimoine national.

L'ANALYSE DES VINS

PAR

VOLUMÉTRIE PHYSICO-CHIMIQUE

PAR

MM. Paul DUTOIT et Marcel DUBOUX



PREMIÈRE PARTIE

CHAPITRE PREMIER

La volumétrie physico-chimique.

Généralités.

Sous le nom de *volumétrie physico-chimique*, il faut comprendre tous les procédés d'analyse volumétrique quantitative chez lesquels la fin de la réaction n'est pas indiquée par un virage coloré, mais par la variation brusque d'une propriété physique du liquide en examen.

Cette nouvelle méthode d'analyse chimique exige donc la détermination d'une propriété physique caractéristique (conductibilité électrique, potentiel, viscosité, etc.) effectuée à plusieurs reprises après l'addition de quantités mesurées du réactif. On détermine, en d'autres termes, la variation de la propriété physique en fonction du réactif ajouté à la solution soumise à l'analyse. Chaque détermination pourra être notée graphiquement, en choisissant les deux variables (propriété physique et volume de réactif)

comme coordonnées. Les points représentatifs se placent sur une courbe dont l'interprétation doit donner le résultat analytique cherché. Pour abrégé, nous donnerons à ces courbes le nom de *courbes de neutralisation, de saturation, de précipitation, d'oxydation, de réduction, etc.*, suivant la nature de la réaction dont elles représentent un des aspects.

On voit d'emblée que lorsque la courbe est continue elle ne fournit aucun renseignement analytique précis, mais qu'il n'en est plus de même lorsqu'elle présente un ou plusieurs points singuliers. Le volume de réactif qu'il aura fallu ajouter à la solution pour que la propriété physique qui sert d'indicateur change brusquement de valeur, correspondra au volume nécessaire pour qu'une réaction chimique intégrale se soit produite entre la solution à analyser et le réactif. Si l'on connaît la nature exacte de la réaction dont on a ainsi déterminé le point final, le problème est résolu ; mais cela ne va pas toujours sans difficulté.

Tant qu'il s'agit de réactions simples, comme la précipitation d'un sel insoluble, la neutralisation d'acides en l'absence d'autres substances, etc., l'interprétation de la courbe est immédiate. Lorsqu'au contraire plusieurs réactions simultanées ou successives sont provoquées par le même réactif, et c'est un cas extrêmement fréquent, il faudra établir à la fin de quelle réaction correspond le point singulier de la courbe. On n'y parvient souvent qu'après des recherches très longues.

Toute propriété physique, facile à déterminer avec précision, peut servir, en principe, d'indicateur volumétrique, et de fait on en a déjà utilisé beaucoup. La viscosité, les points de fusion, l'indice de réfraction, la densité, la tension superficielle ont rendu des services dans cet ordre d'idées et ont permis de déceler des combinaisons dont la formation n'était pas mise en évidence par les méthodes analytiques

usuelles. Mais ces procédés d'investigation physico-chimiques, précieux pour le théoricien, ne sont pas utiles à l'analyste. La volumétrie physico-chimique ne peut entrer dans la pratique courante des laboratoires qu'en offrant certains avantages de simplicité, de sensibilité et de précision, qui seuls lui permettent de supplanter celles des méthodes gravimétriques et volumétriques avec lesquelles elle fait double emploi. Ces avantages existent lorsqu'on choisit les conductibilités électriques ou le potentiel comme indicateur de fin de réaction.

Des recherches entreprises depuis cinq ans au laboratoire de chimie physique de Lausanne, par l'un de nous et ses collaborateurs, ont établi que l'un et l'autre de ses indicateurs « physiques » se prêtent à des applications multiples.

Le potentiel comme indicateur de fin de réaction.

Le potentiel électrique d'une lame métallique plongeant dans une solution peut être déterminé avec précision par une opération presque instantanée; il varie dans beaucoup de cas par addition d'un réactif approprié au liquide en examen et passe par une valeur caractéristique à la fin de la réaction. L'expérience a montré que les dosages et séparations d'un grand nombre de métaux (argent, cuivre, zinc, cadmium, etc.) sont plus rapides par volumétrie physico-chimique, avec le potentiel comme indicateur, que par les méthodes gravimétriques ou électroanalytiques usuelles; ils sont aussi possibles quand les métaux soumis à l'analyse n'existent qu'à l'état de traces. La même méthode permet la séparation des traces d'iodures d'avec les chlorures ou bromures en excès.

Mais c'est surtout en oxydimétrie que les résultats sont intéressants¹. Plusieurs réactifs qui ne peuvent être utilisés

¹ Dutoit et Otero. C. R. Soc. Vaud. Chimie, 1912.

directement en volumétrie ordinaire, faute d'indicateur coloré, trouvent un emploi et complètent les renseignements que fournit le permanganate de potassium. Dans les procédés basés sur la décoloration de cet agent on n'obtient jamais qu'un seul résultat analytique, soit la quantité de permanganate nécessaire pour oxyder tous les corps oxydables qui se trouvent dans la solution à analyser. Avec la méthode du potentiel on peut remplacer le permanganate par n'importe quels réactifs (hypochlorites, chlore, persulfates, percarbonates, eau oxygénée, etc.) de pouvoir oxydant très différent. Une seule opération conduit quelquefois à plusieurs résultats analytiques, c'est-à-dire que la courbe d'oxydation indique plusieurs points d'inflexion. Ce cas se présente chaque fois que les substances soumises à l'oxydation ont un pouvoir réducteur très différent (mélange d'un sel ferreux et d'acide oxalique, par exemple).

Si intéressante que soit cette méthode, nous n'avons pas trouvé jusqu'ici qu'elle soit susceptible d'un emploi généralisé à l'analyse des vins. Elle se prête au dosage quantitatif des chlorures, mais on arrive plus simplement au même résultat par un autre procédé. Elle permet de doser le cuivre dans les vins qui en contiennent, mais c'est un dosage si peu fréquent qu'il n'offre guère d'intérêt.

Les applications les plus probables se rencontreront dans les séparations, par oxydimétrie, de certains constituants du vin. Les sucres réducteurs, les tanins, les matières colorantes, les acides tartrique et malique, etc., sont oxydables par le permanganate, tandis que d'autres oxydants moins énergiques ne les détruisent pas tous. Des essais ont été entrepris dans cette direction et il n'est pas impossible qu'ils aboutissent à des procédés rigoureux de dosages de certains éléments du vin. Comme ce n'est pas encore le cas, nous n'insistons pas sur la méthode du potentiel électrique, qu'il convenait cependant de mentionner à cause du rôle qu'elle est peut-être appelée à jouer dans l'analyse des vins.

La conductibilité électrique comme indicateur de fin de réaction.

La détermination de la conductibilité électrique d'une solution est presque aussi rapide que la détermination du potentiel, lorsqu'on ne se propose pas d'obtenir des valeurs absolues d'une très grande précision. L'opération qui consiste à prendre la conductibilité d'un liquide après chaque addition de réactif, puis à construire la courbe de réaction, n'est pas beaucoup plus longue que les dosages volumétriques ordinaires avec indicateurs colorés; elle n'offre pas non plus de difficulté spéciale de nature à limiter son emploi.

Les cas où cette méthode conduit à des dosages rigoureux sont nombreux et se multiplient chaque jour. Citons les principaux dosages qui ont été bien étudiés jusqu'ici :

- a) Titration des acides et des bases même excessivement faibles, comme l'acide borique, le phénol, la pyridine;
- b) Dosage des halogénures à l'état de sels d'argent, de thallium, en solution aqueuse, ou de sels de plomb, en milieu alcoolique¹;
- c) Dosage des sulfates à l'état de Ba SO_4 dans l'eau, ou de sels de baryum, de strontium, de plomb, etc., en milieu alcoolique²;
- d) Dosage des phosphates à l'état de $\text{UO}_2 \text{ HPO}_4$ dans l'eau, ou de phosphates de métaux lourds;
- e) Dosage des chromates (plomb, argent, baryum), des oxalates (calcium), des carbonates (baryum), des sulfures (argent)²;
- f) Dosage de calcium, baryum, strontium, magnésium, argent, plomb, à l'état d'oxalates, de sulfates, de fluosilicates, de chromates, etc.³;

¹ Mojoïu, Thèse, Lausanne, 1909.

² Dutoit et Guérini, C. R. Soc. Vaud, Chimie, 1911.

³ Dutoit et Mojoïu, *J. Ch. phys.* t. VIII, 27, 1910.

g) Dosage de cuivre, zinc, cadmium, bismuth, etc., à l'état de sulfures¹.

La méthode des conductibilités ne se prête pas seulement au dosage d'un élément isolé, mais permet aussi d'effectuer des séparations, soit qu'une même courbe présente plusieurs points singuliers dont chacun a une signification précise, soit que l'on dose successivement chaque élément dans des opérations distinctes.

Les séparations actuellement bien étudiées sont celles de :

a) acides forts — acides faibles, bases fortes — bases faibles ;

b) chlorures — bromures — iodures ;

c) calcium — strontium — baryum ;

d) calcium — magnésium ;

e) cuivre — argent, zinc — argent, plomb — argent — cuivre, etc.

Mais à côté de ces séparations qui ont fait l'objet d'une étude complète, il en existe quantité d'autres que l'expérience montre être possibles, bien qu'elles n'aient pas encore été examinées d'aussi près.

Des recherches ont enfin été entreprises pour fixer le degré d'exactitude dont ces dosages sont susceptibles. Il résulte d'un travail encore inédit² que le point d'inflexion de certaines courbes peut être apprécié à $\frac{1}{4000}$ près, c'est-à-dire que le poids de réactif, se combinant avec un poids donné du corps en analyse, peut être déterminé avec cette précision, soit à peu près celle avec laquelle les meilleurs rapports atomiques sont fixés par gravimétrie. Une pareille exactitude n'a encore été réalisée que dans le dosage de BaSO_4 , SrSO_4 , CaC_2O_4 , AgBr et PbCrO_4 .

Aux différents points de vue de la variété des dosages, de leur rapidité et de leur précision, la méthode des con-

¹ Dutoit et Reyewska, C. R. Soc. Vaud. Chimie, 1911.

² Dutoit et Guérini, » » » » »

ductibilités présente donc de nombreux avantages, auxquels il faut adjoindre encore celui de la sensibilité. Plusieurs titrations sont possibles en solution très diluée, alors que l'analyse porte sur quelques milligrammes de substance.

Application à l'analyse des vins.

Les premières applications pratiques de la méthode des conductibilités ont concerné l'analyse des vins. En 1908, nous avons montré la possibilité de doser simultanément par une seule titration avec la baryte: les sulfates, l'acidité et les matières tannantes dans les vins¹. Les deux premiers dosages sont de ceux que l'on fait toujours, tandis que le troisième était nouveau. Une étude plus serrée du dosage des matières tannantes nous a conduits à modifier l'interprétation que nous avons donnée au début, tout en conservant le mode opératoire et en exprimant les résultats de l'analyse par les mêmes chiffres. D'autres publications ont été consacrées aux courbes de neutralisation des distillats acide et basique². Après avoir déterminé ensuite la concentration des ions H — c'est-à-dire l'acidité réelle — de quelques vins par la catalyse avec l'éther diazoacétique³ nous avons donné une formule empirique permettant de calculer les cendres ou matières minérales fixes, à partir de la conductibilité électrique du vin⁴. Deux petites notes ont également été consacrées par l'un de nous au dosage de la chaux⁵ dans le vin et au mode opératoire⁶.

Enfin, dans un autre mémoire⁷, nous avons comparé les

¹ Dutoit et Duboux, *C.R.* 147, 134; *Journ. suisse de Chim. et pharm.*, 1908, 690.

² » » » 351; » » » » » 703.

³ Dutoit et Duboux, *Journ. suisse de Chim. et pharm.*, 1910, 133.

⁴ Dutoit et Duboux, *Journ. suisse de Chim. et pharm.*, 1909, 402; *Ann. et Revue de Chim. anal.*, 1910, 333.

⁵ Duboux, *Journ. suisse de Chim. et pharm.*, 1910, 592.

⁶ » *Ann. et Revue de Chim. anal.*, 1910.

⁷ Dutoit et Duboux, *Bull. soc. vaud. sc. nat.*, 1909, XLV, 417.

résultats fournis par les méthodes officielles et la méthode des conductibilités en ce qui concerne le dosage des sulfates, des cendres et de l'acidité, en insistant sur les renseignements qualitatifs que fournit la courbe de neutralisation des vins par la baryte. Ces indications qualitatives sont certaines, mais elles ont l'inconvénient de ne pouvoir s'exprimer en chiffres, et l'on ne peut leur accorder la même confiance qu'aux dosages quantitatifs.

Dans ces dernières années, nous avons mis au point le dosage des chlorures, des phosphates et de l'acide tartrique par des courbes de précipitation, et le dosage de l'acidité faible organique et de l'alcalinité totale (inorganique et organique) par des courbes de saturation¹. Les titrations des acides malique et succinique, de la magnésie et de la potasse, par des courbes de précipitation, sont à l'étude et les résultats — sans être encore définitifs — deviendront probablement aussi précis que ceux des autres dosages.

CHAPITRE II

Mode opératoire.

Généralités.

Une analyse par volumétrie physico-chimique, dans laquelle on utilise les conductibilités électriques comme indicateur de fin de réaction, comporte les opérations suivantes : 1° détermination de la conductibilité du liquide en examen; 2° additions de volumes exactement mesurés du réactif et déterminations de la conductibilité après chaque addition; 3° construction de la courbe de réaction.

Les erreurs entachant le résultat final proviennent donc : a) de la détermination de la conductibilité, b) de la mesure des volumes de réactif, c) de la construction ou l'inter-

¹ Duboux, *Trav. de Chim. alim. et d'Hyg.*, 1914, 333.

prétation de la courbe. Laissons provisoirement de côté cette dernière cause d'erreurs qui demande à être examinée dans chaque cas particulier — et sera traitée dans le chapitre suivant — pour nous attacher aux erreurs purement expérimentales.

On remarquera d'abord que la détermination de la conductibilité, comme la mesure d'un volume de liquide, sont des opérations qu'il est loisible d'exécuter avec une extrême précision. On trouve dans le commerce des « ponts » rendant sensibles des variations de conductibilité de $\frac{1}{10000}$. Comme notre méthode n'exige pas la connaissance de la valeur absolue de la conductibilité, mais se base sur les variations de conductibilité produites par l'addition de réactif au liquide en examen, on pourra dire que la précision est de $\frac{1}{10000}$ si l'on peut encore noter un déplacement de l'index sur le pont, lorsque la conductibilité augmente ou diminue d'un dix-millième de sa valeur.

La température influençant les conductibilités des solutions aqueuses en ce sens qu'une élévation de 1° provoque une augmentation de la conductibilité de 1,5 à 3 % (en moyenne 2,5 %), il faudra que la température soit constante aux 4 millièmes de degré pendant la durée de la titration pour que toutes les valeurs de la conductibilité soient exactes à $\frac{1}{10000}$.

La mesure d'un volume de réactif au moyen d'une burette graduée ne conduit jamais à des valeurs très exactes, mais en opérant par pesées sur une quantité suffisante de réactif, on peut facilement augmenter la précision et rendre l'erreur sur chaque mesure de volume inférieure à $\frac{1}{10000}$.

C'est dire qu'en principe les erreurs expérimentales entachant les analyses par conductibilité peuvent être rendues excessivement faibles. L'un de nous a établi qu'en opérant dans les conditions les plus favorables (température constante à $0^{\circ},005$, pont de 5 mètres, réactif pesé), on arrive

sans grande difficulté à des résultats analytiques exacts à $\frac{1}{5000}$ qui seront peut-être meilleurs par la suite. Il va sans dire que la méthode perd alors son caractère de simplicité, qu'elle nécessite des manipulations délicates et longues. Ces essais ont du reste été entrepris dans le but de fixer quelques poids atomiques par volumétrie physico-chimique, expériences pour lesquelles on ne recherche pas la rapidité des opérations.

Si nous avons commencé ce chapitre par une description succincte des dispositifs convenant à des analyses de précision, c'est pour pouvoir insister sur ce point que le mode opératoire des titrations par la méthode des conductibilités est déterminé par le degré d'exactitude que l'on se propose d'obtenir, et qu'il sera d'autant plus simple que l'on se contentera d'une approximation moins grande.

Dans l'analyse des vins, il n'est pas nécessaire que les différents dosages soient très précis. Aussi bien, les méthodes officielles en usage dans les principaux pays ne visent-elles pas à l'obtention de valeurs rigoureuses. Sauf dans le cas du dosage de l'alcool, exact à $\frac{1}{200}$ environ, la précision des dosages n'atteint pas $\frac{1}{100}$ (acidité fixe, volatile et totale, acide lactique, extrait sec, sucres réducteurs, cendres, différents dosages minéraux, etc.). Dans quelques cas même (glycérine, acides tartrique, malique et succinique) les erreurs de méthode faussent les résultats de 5 à 10 % et plus encore peut-être.

Les analyses de vins étant parmi les plus fréquentes que le chimiste ait à faire, il y a par contre un intérêt de premier ordre que les dosages soient rapides et puissent s'effectuer sur une petite quantité de vin. Le mode opératoire que nous décrivons sous le titre de « méthode courante » est celui qui convient le mieux aux dosages des divers éléments du vin. Les erreurs d'expérience peuvent atteindre 2 à 3 % mais la durée d'une titration dépasse rarement 10 à 15 minutes, et chaque analyse porte sur 20-50 cm³ de vin.

La comparaison entre les méthodes chimiques ordinaires et cette méthode des conductibilités simplifiée — lorsqu'il s'agit de dosages qui peuvent être effectués par les deux procédés — reste encore à l'avantage de la méthode physico-chimique, aux divers points de vue de la précision, de la rapidité et du volume de liquide soumis à l'analyse.

Il pourra cependant se présenter des cas — même dans l'analyse des vins — où l'on cherchera une précision plus grande : lorsqu'il s'agit d'identifier deux vins, par exemple. C'est pour cela que nous décrirons un mode expérimental avec lequel les erreurs d'expérience sont de 0,1 à 0,2 %. La titration porte alors sur un volume de liquide considérable (300 à 400 cm³) et est un peu plus longue. Ce dispositif convient aux dosages soignés des éléments minéraux : on peut s'en passer pour toutes les analyses de vins usuelles.

Méthode courante.

On disposera d'un appareil pour la détermination des conductibilités électrolytiques, d'une cuve à résistance ou cellule destinée à recevoir le liquide à analyser, de burettes graduées.

Burettes. La théorie et l'expérience montrant que les courbes de réaction sont d'autant plus nettes que le réactif est plus concentré, les burettes devront être de petites dimensions et permettre la lecture de très faibles volumes. C'est dans l'emploi de petites burettes que réside la caractéristique de ce mode opératoire courant. Les erreurs sur les mesures de très petites quantités de réactif surpassent généralement toutes les autres erreurs expérimentales, aussi commençons-nous par la description des burettes à réactif.

Pour toutes les titrations effectuées sur 20 à 50 cm³ de vin avec un réactif concentré (dosages des chlorures, phos-

phates, chaux, alcalinité, etc.) le point final de la réaction se produit après l'addition de 0,2 à 1,5 cm³ de réactif. Cette faible quantité doit pouvoir être mesurée à 1 à 2 % près, c'est-à-dire que la burette doit permettre d'apprécier quelques millièmes de cm³.

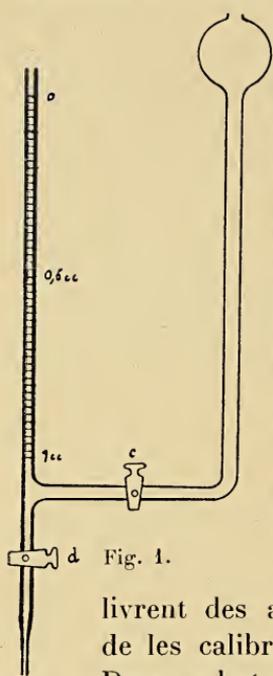


Fig. 1.

Pour cela on divise une burette de 1 cm³ en centièmes. La distance entre deux divisions est de 2,5 à 3,0 mm., et l'on pourra apprécier à l'œil le millième. Un réservoir de 5 à 10 cm³ relié à la burette par un robinet (fig. 1) facilite le remplissage.

Une cause d'erreur fréquente vient de ce que les robinets à émeri *c* et *d* ne ferment pas hermétiquement. Il est facile de s'en assurer en établissant une différence de niveau dans les deux branches de la burette et en notant la position du ménisque de temps en temps.

Il est rare que les constructeurs livrent des appareils bien jaugés, aussi convient-il de les calibrer soigneusement avant de s'en servir.

Dans ce but on remplit la burette d'eau distillée (ou de mercure) et on détermine le poids de liquide compris entre les divisions 0 — 0,5 et 0,5 — 1,0. Lorsque les chiffres obtenus diffèrent sensiblement de 0,500 (ou de 6,77) grammes, il est nécessaire d'établir une table de correction¹.

Il faudra naturellement veiller à ce que l'intérieur de la burette soit parfaitement propre, et nettoyer le verre de temps à autre avec de l'eau de savon et de l'alcool. Nous

¹ La maison H. Baudin, à Paris, nous a cependant livré deux de ces appareils où les erreurs de calibrage étaient inférieures à 0,1 %.

avons remarqué que l'acide acétique concentré est excellent dans beaucoup de cas ; après un nettoyage avec cet agent, les liquides mouillent parfaitement le verre.

Autant que possible, avoir une burette pour chaque réactif.

S'il est facile d'éliminer ces différentes causes d'erreurs, il est plus délicat de recueillir la totalité du liquide qu'on laisse écouler par l'extrémité effilée de la burette. C'est cette opération qui fausse souvent les analyses des débutants.

Lorsqu'il s'agit de mesurer un volume de réactif de 2 à 5 cm³ (dosage de l'acide tartrique, par exemple) nous utilisons des burettes de 10 cm³ divisées en cinquantièmes. Les burettes ordinaires de 50 cm³ suffisent pour les titrations de l'acidité totale par la baryte.

Cuve à résistance. — Une bonne forme et une construction soignée de ces cuves en verre sont un des facteurs de réussite des opérations. Il faut en tout cas : 1° que les électrodes soient verticales, de manière que les précipités formés dans la cuve ne puissent se déposer sur l'électrode ; 2° que 50 cm³ de liquide recouvrent entièrement les électrodes et qu'il reste après cela assez de place pour pouvoir

porter le volume total à 120-150 cm³ ; 3° qu'un thermomètre sensible fasse corps avec la cuve.

La figure ci-contre est une réduction au 50 % du modèle de cuve qui nous a paru convenir le mieux ; il ressemble

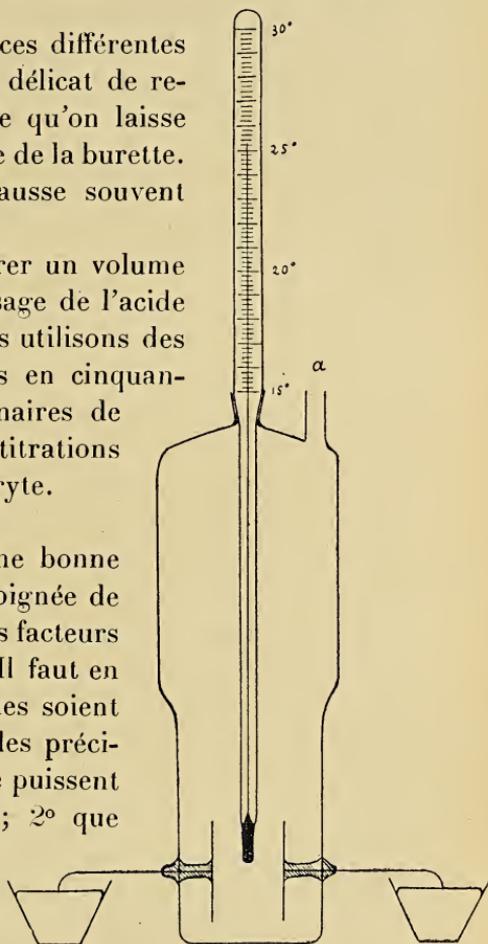


Fig. 2.

beaucoup au modèle d'Arrhenius. Les dimensions sont : hauteur 13 cm., diamètre en bas 3,5 cm., diamètre en haut 4,5 cm. Section des électrodes en platine $2,5 \times 2,2$ cm., épaisseur 0,03 cm., écartement 1,8 cm. Le thermomètre est divisé en cinquièmes de degré ; son échelle, longue de 10 cm., va de 15 à 30°.

Le réactif est introduit dans la cuve par une petite ouverture latérale *a* fermée par un bouchon en liège.

Les fils de platine, soudés aux électrodes, sont coudés à leur sortie du verre et pénètrent dans les godets à mercure du support en bois. Le contact entre les électrodes et l'appareil de mesure est ainsi assuré simplement en posant la cuve sur son support.

Les électrodes sont platinées en électrolysant lentement une solution de chlorure de platine à 3 ‰ renfermant un peu d'acétate de plomb (0,02 à 0,03 ‰).

Le dépôt de noir de platine s'altère à la longue en absorbant un peu des précipités gélatineux qu'on forme dans la cuve ; il devient blanchâtre et granuleux. Pour maintenir les électrodes propres, on évitera autant que possible qu'elles restent en contact prolongé avec les précipités, et on remplira la cuve d'une solution diluée d'acide chlorhydrique pendant qu'elle reste inutilisée. De temps en temps, on électrolysera une solution diluée de cet acide dans la cuve, en changeant deux ou trois fois les pôles. En prenant ces précautions, les minima du téléphone et par conséquent les déterminations de conductibilités sont très sensibles.

Si ces soins ne suffisaient pas pour obtenir de bons minima, il faudrait platiniser à nouveau les électrodes. Normalement cette opération doit être faite tous les deux mois, en cas d'usage journalier de la cuve.

Il n'est, en général, pas nécessaire de connaître la *capacité* ou *constante* des cuves, sauf pour la courbe à la baryte (p. 214) qui est repérée sur un graphique spécial, et pour le calcul des cendres du vin (p. 251).

La capacité des cuves du type décrit est généralement comprise entre 0,100 et 0,130; on la déterminera en introduisant 50 cm³ de la solution $\frac{N}{50}$ de KCl, car elle n'est pas toujours indépendante du volume de liquide contenu dans la cuve. Lorsque les électrodes platinées ont absorbé des précipités, elles deviennent moins conductrices, et la capacité de la cuve change. On fera donc bien de vérifier de temps en temps cette constante, pour éviter des mécomptes dans le dosage des cendres du vin par conductibilité. Le contrôle de la capacité renseigne du reste sur le bon état des électrodes : une augmentation sensible de cette constante est la preuve d'un encrassement du noir de platine, qu'il faut combattre par des lavages à l'acide chlorhydrique dont nous avons parlé.

Titration. — On introduit dans la cuve à résistance, lavée au préalable avec de l'eau distillée, la quantité de vin que prescrit le dosage, et les substances destinées à favoriser la réaction (alcool, acide acétique, etc.). L'indication précise est donnée, pour chaque cas particulier, dans le dernier chapitre de ce mémoire. Après avoir mélangé les liquides, en renversant deux ou trois fois la cuve, on chauffe celle-ci légèrement en la tenant dans la main. La température à laquelle la titration s'effectuera peut être quelconque, mais doit rester absolument constante pendant toute la durée de l'opération. On y parvient le plus simplement en choisissant une température de 4 à 5 degrés supérieure à celle de la chambre; le liquide tend ainsi à se refroidir et sera réchauffé de temps en temps par le contact de la main avec le verre de la cuve. L'habileté de l'opérateur joue ici un grand rôle. Tandis que le débutant perd un temps considérable à régler la température, le chimiste familiarisé avec la méthode parvient à maintenir une constance presque rigoureuse. Il faut en tous cas que

les déterminations de conductibilité qui constituent la titration soient effectuées à des températures ne différant pas de plus d'un dixième de degré.

Après avoir pris la conductibilité initiale du mélange, on introduit le réactif par l'ouverture *a* munie d'un bouchon de liège; on agite quelques secondes, en renversant la cuve, on note la nouvelle valeur de la conductibilité, puis on procède à une nouvelle addition de réactif, et ainsi de suite.

Une variation brusque de la conductibilité indique que l'on a dépassé le point final de la réaction; il suffit alors de faire encore deux ou trois additions de réactif pour que l'opération soit terminée.

Suivant la titration en œuvre, le réactif sera ajouté par quantités de 0,03, 0,05, 0,1 cm³, etc., et le dosage nécessitera plus ou moins d'additions successives. Alors que quatre ou cinq points suffisent pour construire la courbe de précipitation des chlorures, par exemple, il faudra une quinzaine de points pour la courbe de neutralisation par la baryte. Le guide pratique renseignera sur ces particularités pour chaque dosage.

L'introduction du réactif dans la cuve peut occasionner des erreurs par pertes, surtout quand la réaction est terminée après l'addition de quelques dixièmes de cm³ (dosage de Cl, P²O⁵, CaO, etc.). Chaque perte, si minime soit-elle, se traduit par une erreur considérable dans le résultat final. Pour les éliminer, nous recommandons d'ajouter le réactif en enfonçant autant que possible la pointe effilée de la burette dans l'ouverture *a*, de manière qu'elle touche la paroi intérieure. Le réactif adhérant aux parois du col sera recueilli en renversant la cuve, avant que le bouchon de liège soit enfoncé profondément.

Construction du graphique. — Pour des titrations courantes, on établira la courbe sur du papier quadrillé ordi-

naire en portant les conductibilités en ordonnées et les volumes de réactif en abscisses. Comme la méthode est basée sur les variations de la conductibilité, et non sur sa valeur absolue, on notera directement les valeurs $\frac{a}{bR}$ qui sont proportionnelles à z . Il est encore plus expéditif, et plus exact, d'utiliser la même résistance de comparaison R pendant toute la titration, et de porter simplement les valeurs $\frac{a}{b}$ en ordonnées.

L'échelle du graphique doit être proportionnée à la précision des déterminations et les unités seront choisies de telle sorte que les inflexions soient bien marquées.

Méthode de précision.

Le liquide à analyser est placé dans un verre cylindrique (fig. 3) d'une contenance de 300 à 500 cm³, muni d'un agitateur central A et d'un thermomètre divisé en centièmes. Pour maintenir la température constante au centième de degré, on aura le choix entre plusieurs dispositifs dont le plus sensible sera une résistance électrique R , isolée du liquide par un tube de verre et chauffée par le courant. En réglant à la main l'intensité de ce courant, on arrive facilement à assurer la constance voulue de la température. Un opérateur exercé peut même se passer de la résistance électrique et réchauffer le liquide en touchant le verre avec la main, à condition naturellement que le refroidissement soit très lent, la température de l'expérience étant à peine supérieure à la température de la chambre. Nous avons aussi expérimenté un procédé consistant à introduire dans la cuve une ampoule contenant un liquide volatil, au-dessus duquel on crée un vide partiel. Quel que soit le mode adopté, on obtient généralement sans difficulté une constance suffisante de la température pendant les dix à quinze minutes que dure une titration.

Les électrodes E servant à mesurer la conductibilité ne sont pas fixées dans la cuve, mais y plongent seulement (électrodes plongeantes). Pour l'analyse de solutions très diluées on adoptera un modèle assez grand, tandis que l'une ou l'autre des électrodes représentées en demi-grandeur dans la figure 3, suffisent pour les titrations courantes.

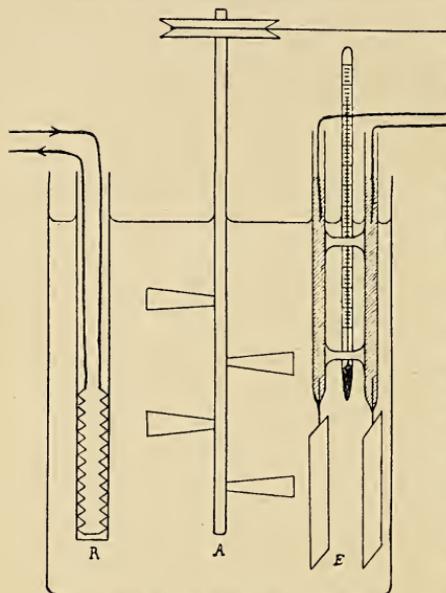


Fig. 3.

Le platine peut être remplacé dans ce cas par le métal blanc (alliage de Sn) qui, par galvanoplastie, est d'abord argenté, puis doré, et enfin platiné. Ces électrodes sont peu coûteuses et pourtant assez durables. Nous en utilisons depuis une année sans que le dépôt de platine soit altéré.

Le réactif est contenu dans une burette de 10 cm^3 , divisée en cinquantièmes de cm^3 et soigneusement calibrée. Les erreurs de volume ne dépassent pas $0,015 \text{ cm}^3$, quand les parois intérieures sont très propres.

Comme pont, il est préférable de remplacer le fil calibré d'un mètre par un fil de cinq mètres, dont deux mètres sont enroulés à chaque extrémité de la règle graduée. La maison Leclerc et *C^{ie}*, à Genève, nous a construit quelques ponts de cinq mètres avec fil très bien calibré, permettant des mesures de grande précision. La position de l'index correspondant au minimum est généralement fixée à $0,1-0,2 \text{ mm.}$, ce qui entraîne une erreur de 1 à $2/25\,000$ sur la valeur de $\frac{a}{bR}$.

Cette précision est cependant illusoire si le fil n'est pas parfaitement calibré et si l'on change les résistances de comparaison.

La précision d'une titration effectuée avec cet appareil est rarement inférieure à 0,1 ou 0,2 %, les causes d'erreurs étant : la mesure du réactif, le calibrage du fil et les résistances de comparaison. La représentation graphique de ces titrations se fera à grande échelle sur du bon papier millimétré.

Pour arriver à la précision de 0,01 à 0,02 %, il faut des précautions multiples qu'il est inutile de signaler ici, car le dosage aussi rigoureux d'un élément du vin n'aurait en effet aucun sens.

CHAPITRE III

Etude théorique de quelques courbes de réaction.

I. Courbes de précipitation.

Des divers types de réactions susceptibles d'être « suivies » par des déterminations de la conductibilité électrique (précipitation, oxydation, formation de complexes, saturation, etc.), seules les précipitations et les saturations intéressent l'analyse des vins. Nous nous bornerons à exposer quelques-uns des cas différents qui se présentent dans ces analyses, en classant et en généralisant les observations¹.

Précipités insolubles.

Pour fixer les idées, reproduisons d'abord les résultats expérimentaux obtenus dans une des titrations les plus simples qui soient, celle d'un sel d'argent par un bromure.

¹ Voir Dutoit, *J. Ch. phys.*, t. VIII, 42, 1910.

En ajoutant à 900 cm³ d'une solution $\frac{N}{1600}$ de nitrate d'argent du bromure de sodium $\frac{N}{10}$, par petites portions, nous avons obtenu les valeurs suivantes de la conductibilité :

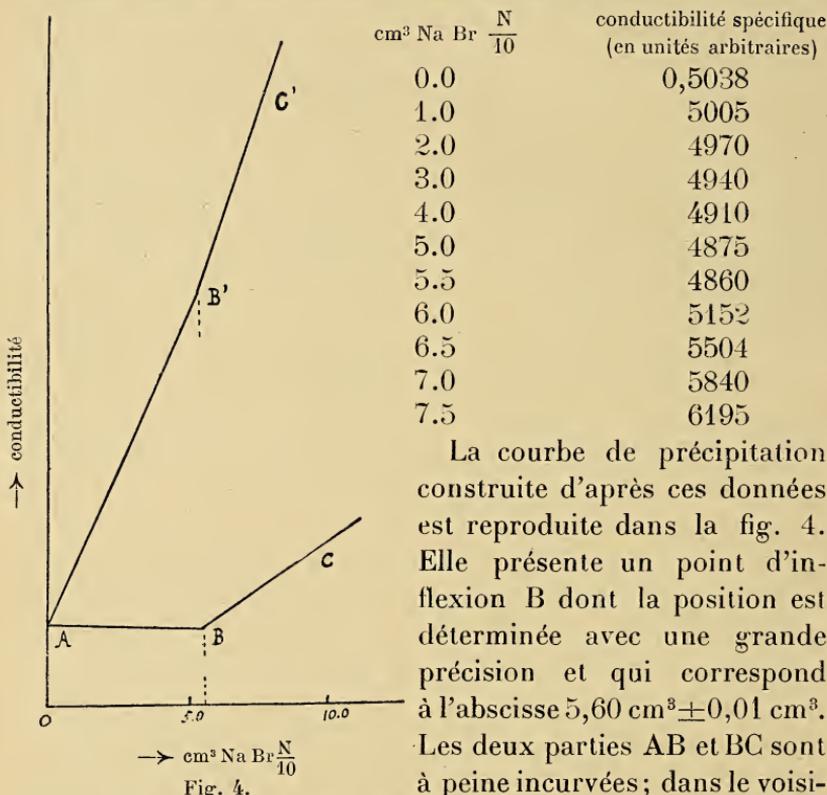


Fig. 4.

La courbe de précipitation construite d'après ces données est reproduite dans la fig. 4. Elle présente un point d'inflexion B dont la position est déterminée avec une grande précision et qui correspond à l'abscisse 5,60 cm³ ± 0,01 cm³. Les deux parties AB et BC sont à peine incurvées; dans le voisinage de B ce sont des droites parfaites.

L'interprétation de ces résultats n'offre pas de difficulté. En A, la solution contient seulement le nitrate d'argent (OA = conductibilité spécifique de $\text{AgNO}_3 \frac{N}{1600}$). De A en B, le nitrate d'argent est remplacé progressivement par le nitrate de sodium; chaque molécule de AgNO_3 qui disparaît est remplacée par une molécule de NaNO_3 . Le nitrate

de sodium existe seul en B, la solubilité du bromure d'argent étant négligeable ($Bb =$ conductibilité spécifique de $\text{Na NO}^3 \frac{N}{1600}$). En C, on a simultanément du nitrate et du bromure de sodium, soit $Cc =$ conductibilité spécifique de $\text{Na Br} +$ conductibilité spécifique de Na NO^3 .

Le réactif étant 160 fois plus concentré que la solution à analyser, son addition n'a pas sensiblement altéré le volume total. D'autre part, les sels binaires Ag NO^3 , Na Br et Na NO^3 sont pratiquement entièrement dissociés en solution millièrne normale; la conductibilité de mélanges de ces sels sera la somme des conductibilités des composants et pourra être calculée par la règle des mélanges.

Les courbes AB et BC seraient des droites parfaites si la solubilité du bromure d'argent était nulle, la concentration de la solution du nitrate d'argent excessivement faible et celle du réactif bromure de sodium très forte: conditions dont nous étions très rapprochés.

Comme il est plus facile de déterminer avec précision le point de rencontre de deux droites que celui de deux courbes, dont la construction exige la connaissance d'un grand nombre de points représentatifs, on aura avantage à s'inspirer de la règle suivante applicable à toutes les titrations.

Règle I. *La solution à analyser doit toujours être beaucoup plus diluée que le réactif.*

En pratique, on choisira généralement des réactifs normaux et on diluera le liquide à analyser si c'est nécessaire.

La netteté du point d'inflexion B dépendra aussi de l'angle ABC qu'il faut s'efforcer de rendre aussi marqué que possible¹. On peut y arriver en changeant le radical

¹ Dans le cas général de la double réaction saline



Sel à analyser Réactif Sel insoluble

dans laquelle le sel à analyser AB est en solution très diluée, le réactif CD en solution très concentrée, le précipité formé AD complètement insoluble, nous

du sel réactif qui n'entre pas dans la combinaison insoluble. Le remplacement du bromure de sodium par l'acide bromhydrique dans la titration précédente aurait déplacé le point B en B' (fig. 4), car la conductibilité de l'acide nitrique, qui existe seul en ce point, est environ 3,6 fois plus forte que celle du nitrate de sodium. On voit de suite que l'angle ABC est plus petit que l'angle A'BC'. Le calcul montre du reste que l'angle ABC sera minimum si l'on choisit comme réactif le bromure le moins conducteur, d'où, en généralisant, la

Règle II. *La netteté de l'inflexion est d'autant plus grande que le radical du réactif qui n'entre pas dans la combinaison insoluble a une plus faible conductibilité ionique.*

Cette règle est une des plus importantes à suivre dans les analyses qui nous occupent.

Les sels de lithium ou de bases organiques fortes sont ceux dont le radical positif a la plus faible conductibilité; on les emploiera donc fréquemment. Ainsi le sulfate ou le chromate de lithium sont les meilleurs réactifs du baryum, etc. On utilisera également, chaque fois que ce sera possible, les sels dont le radical négatif a la plus faible

appellerons m la longueur qui représente le nombre de cm^3 de réactif nécessaire pour que la réaction s'effectue intégralement, a , b , c et d les longueurs qui représentent la conductibilité due aux radicaux A, B, C et D.

L'angle α sous lequel les droites reliant les points représentatifs de la conductibilité se coupent sera défini par

$$\text{tg. } \alpha = \frac{-(a + d) m}{m^2 + (c - a)(c + d)}.$$

La discussion de cette formule montre que :

- 1° α est indépendant de b ;
- 2° α est d'autant plus petit que d est grand ;
- 3° α augmente lorsque c augmente tant que $c > \frac{a - d}{2}$, il passe par un minimum quand $c = \frac{a - d}{2}$;
- 4° α est d'autant plus grand que m est grand.

conductibilité. Ainsi l'acétate de baryum sera un meilleur réactif des sulfates que le chlorure de baryum, etc.

Une autre règle que la discussion de l'exemple permet de poser est la

Règle III. *La présence de substances étrangères, conductrices ou non, qui ne prennent pas part à la réaction, ne modifie pas l'inflexion.*

En effet l'addition, au nitrate d'argent, de sels étrangers ne réagissant pas avec les bromures, déplacera la courbe sans modifier l'angle ABC.

Les exceptions à cette règle, que l'on peut rencontrer dans la pratique, proviennent de difficultés expérimentales.

La titration du nitrate d'argent est une des plus simples qui puissent se présenter, parce que le précipité se forme instantanément, qu'il se dépose toujours à l'état pur sans entraîner par adsorption des sels étrangers, et enfin que sa solubilité est extrêmement faible (10^{-5}).

Il nous reste à examiner l'allure que prend la courbe de précipitation quand ces conditions ne sont pas remplies.

Précipités légèrement solubles.

Reproduisons d'abord les résultats d'une titration de nitrate d'argent par le *chlorure de baryum*, effectuée par M. Guérini. La courbe de précipitation construite d'après ses données est presque identique à la précédente (fig. 4), cependant lorsqu'on la trace à une grande échelle on remarque que les deux droites AB et BC ne se coupent plus, mais sont reliées par une partie incurvée. Le tableau numérique et la fig. 5 ne donnent que la partie intéressante de cette courbe de précipitation, c'est-à-dire les points représentatifs qui sont dans le voisinage de l'inflexion.

Dosage de 1 litre $\text{Ba Cl}^2 \frac{\text{N}}{500}$ par $\text{Ag NO}^3 \frac{\text{N}}{10}$	
$\text{cm}^3 \text{ Ag NO}^3 \text{ N}$	conductibilité (en unités arbitraires)
18.8	0.8408
19.0	8408
19.2	8416
19.4	8421
19.6	8435
19.8	8455
20.0	8487
20.2	8534
20.4	8593
20.6	8660
20.8	8724
21.0	8790
21.2	8865
21.4	8940

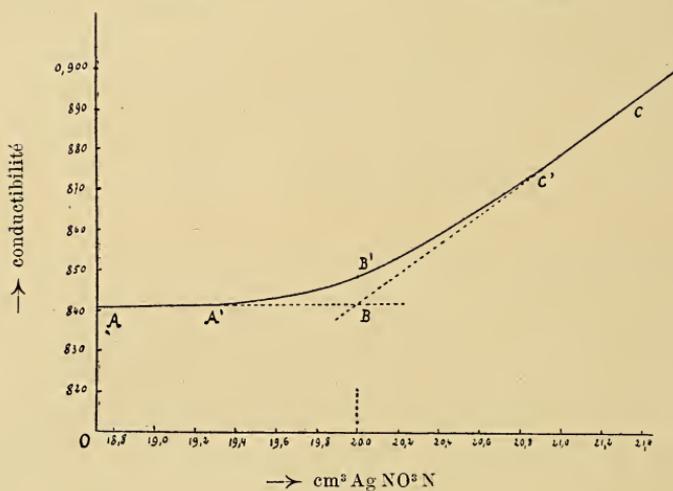


Fig. 5

Après addition de 20 cm^3 de nitrate d'argent, le chlorure de baryum est entièrement précipité : la solution contient donc du nitrate de baryum et est saturée de chlorure d'ar-

gent. Il est facile de démontrer que l'ordonnée du point B (rencontre des deux droites prolongées) représente la conductibilité du nitrate de baryum, tandis que l'ordonnée BB' représente la conductibilité de la solution saturée de chlorure d'argent.

La solubilité de ce dernier est maximum en B car la présence de nitrate d'argent, comme celle de chlorure de baryum, a pour effet de la diminuer (lois des ions communs). En A' la solubilité du chlorure d'argent est devenue négligeable par suite d'un excès de chlorure de baryum, en C' elle est négligeable par suite d'un excès de nitrate d'argent.

La généralisation de cette observation permet de poser :

Règle IV. *Lorsque le précipité est un peu soluble, il faut éviter de faire des déterminations de conductibilités dans le voisinage du point final de la titration. On obtient plus exactement le point d'inflexion cherché en prolongeant les parties droites de la courbe, avant et après l'inflexion.*

Cette règle est une des plus importantes ; elle montre que la méthode des conductibilités permet d'utiliser, pour des analyses volumétriques, des précipités légèrement solubles qui ne conviendraient pas pour des analyses gravimétriques.

Il va sans dire que l'influence de la solubilité du précipité sur l'allure de la courbe est d'autant plus marquée que la solution à titrer est plus diluée. Ainsi la courbe de précipitation du nitrate d'argent par le chlorure de lithium

en solution $\frac{N}{50}$ donne deux droites parfaites, car la conductibilité de la solution saturée de chlorure d'argent est alors négligeable par rapport à la conductibilité d'une solution $\frac{N}{50}$ de sel ; les points B et B' se confondent et

l'on retombe dans le cas des précipités insolubles.

On évitera de titrer des solutions trop diluées, lorsque le précipité est légèrement soluble, ou l'on diminuera préalablement la solubilité par l'addition d'un liquide dissociant (alcool ou acétone). Il est nécessaire que le liquide qu'on ajoute soit un bon dissociant, sans quoi les parties AB et BC s'incurvent fortement et le point d'inflexion est plus difficile à déterminer avec précision.

Rappelons que la précipitation de corps aussi solubles que le sulfate de calcium ou de plomb, le chlorure de plomb, le bitartrate de potassium, etc., peut fournir des résultats analytiques absolument précis par la méthode des conductibilités, lorsqu'on l'effectue en milieu alcoolisé.

Précipités adsorbants.

La plupart des précipités très peu solubles sont plus ou moins adsorbants, c'est-à-dire qu'ils entraînent une partie des substances étrangères contenues dans la solution où ils ont pris naissance. On sait combien cette cause d'erreurs est fréquente et complique souvent les dosages gravimétriques.

La caractéristique des titrations avec formation de précipités adsorbants est que la conductibilité varie irrégulièrement avec le temps, l'agitation du liquide, la manière d'ajouter le réactif, la nature des substances étrangères existant dans la solution, etc. L'iodure d'argent, par exemple, est légèrement adsorbant : la courbe de précipitation de KI par Ag NO_3 , construite à une petite échelle, est identique à celle de la fig. 4. En exagérant les dimensions du graphique, on voit cependant que les points ne se placent pas sur des droites parfaites mais sur une ligne brisée. Le dosage est encore possible, mais sa précision est diminuée.

D'autres précipités, comme les hydrates de quelques métaux lourds, les ferrocyanures, etc., sont si adsorbants que la titration devient impossible.

On sait le rôle considérable que jouent les ions polyvalents

lents (surtout trivalents) dans les phénomènes d'adsorption, ainsi que la basicité ou l'acidité du milieu. Sans qu'il soit possible de poser des règles absolues, on se trouvera généralement bien de rendre le milieu acide lorsqu'il contient des radicaux polyvalents négatifs, ou d'activer la floculation d'un précipité en fausse solution. Ainsi la précipitation du sulfate de baryum en milieu acide est exacte, même lorsque la solution contient des ions polyvalents, de Al ou de Fe par exemple, tandis que dans les mêmes conditions mais en solution neutre, l'adsorption de Al est considérable. La titration de l'acide arsénieux par le sulfure de sodium est impossible en l'absence d'un peu de lanthane qui flocule le sulfure d'arsenic¹.

D'autre part, l'adsorption est toujours maximum en milieu aqueux et diminue quand on ajoute de l'alcool ou de l'acide à la solution à titrer. Il suffit souvent d'une petite addition d'alcool pour que la courbe de précipitation soit régulière et la titration rigoureuse.

Comme nous l'avons déjà dit, l'adsorption fausse aussi bien les analyses gravimétriques que celles par conductibilités ; mais l'avantage de cette dernière méthode est ici considérable. Alors que l'examen de la courbe de précipitation indique de suite s'il y a eu entraînement par la précipitation ou non, le chimiste opérant par gravimétrie n'est pas averti et doit faire de nombreuses analyses de contrôle pour s'assurer de la pureté de son précipité.

Cet avantage des procédés physico-chimiques est d'autant plus important qu'on ne connaît pas encore de loi permettant de prévoir à priori si tel ou tel précipité est adsorbant ou pas. En général les précipités qui se forment lentement (solution colloïdale) et floculent brusquement au point final de la titration sont toujours adsorbants, d'autant plus, semble-t-il, qu'ils sont moins solubles.

¹ Hengeveld, Thèse, Genève, 1911.

Précipitations lentes.

Certains précipités apparaissent lentement et la conductibilité ne prend pas de suite sa valeur définitive après chaque addition de réactif. Ce cas ne diffère du précédent que par la possibilité d'effectuer une titration rigoureuse, à la condition de faire les mesures de conductibilités suffisamment longtemps après l'addition du réactif. Les courbes sont alors aussi régulières que si la précipitation avait été rapide.

Au point de vue théorique, il semble probable que l'adsorption et la précipitation lente sont souvent deux phénomènes connexes.

Lorsque la conductibilité diminue avec le temps après chaque addition de réactif, cela peut provenir réellement d'une réaction lente, mais lorsqu'au contraire elle augmente, cette explication n'est plus possible. On peut alors supposer que la précipitation est instantanée — comme c'est du reste le cas de toutes les réactions ioniques simples — mais que l'accroissement du précipité est lent. L'accolement des petites particules du précipité provoque une diminution de la surface de la phase solide, donc de l'adsorption, et par contre-coup une augmentation de la conductibilité.

Quoi qu'il en soit de l'interprétation du phénomène, les précipitations lentes sont fréquentes (Ca CO_3 , Sr CO_3 , Ba CO_3 , UO_2HPO_4 , etc.) et il convient de rechercher cette cause d'erreurs dans chaque titration nouvelle. La présence d'alcool ou d'acétone augmente presque toujours la vitesse de précipitation, comme elle diminue l'adsorption et la solubilité.

Précipitations successives et simultanées.

Lorsque le réactif peut provoquer la précipitation de plusieurs éléments, celle-ci sera simultanée ou successive, suivant les différences de solubilité des solides qui ont pris naissance. Le cas le plus favorable sera celui où les solubilités sont très différentes : le composé le moins soluble précipitant alors intégralement avant tous les autres. Lorsqu'il y a des différences de conductibilité appréciables entre les divers éléments susceptibles d'entrer en combinaison avec le réactif, la fin de chaque précipitation sera marquée par un point singulier de la courbe.

Un des exemples les plus typiques de précipitations successives est la titration d'un mélange de sulfocyanure et d'halogénure par un sel d'argent. M. Mojoïu¹ a montré qu'il était possible de séparer un sulfocyanure d'avec un chlorure, bromure ou iodure, grâce au fait que l'ion CNS migre plus lentement que les ions halogènes. Nous reproduisons ci-dessous le détail d'une expérience :

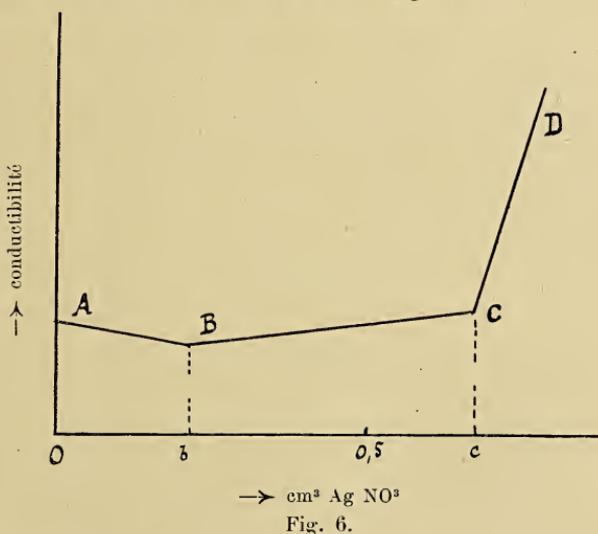


Fig. 6.

¹ Thèse, Lausanne, 1909.

$$\text{Concentration du réactif Ag NO}^3 : \frac{N}{1,102}$$

Volume de la solution soumise à l'analyse : 40 cm³

$$\text{Concentration mol. en KI} : \frac{N}{200}$$

$$\text{Concentration mol. en NH}^4 \text{ CNS} : \frac{N}{101,5}$$

$$\text{Concentration mol. totale} : \frac{N}{67,5}$$

cm ³ Ag NO ³	conduct. électrique (en unités arbitraires)
0.0	0,02086
0.1	2066
0.2	2048
0.3	2056
0.4	2070
0.5	2082
0.6	2094
0.7	2215
0.75	2362
0.8	2504

1^{er} point d'inflexion à 0,215 cm³

2^{me} » » » 0,660 »

$$\text{Concentration mol. en KI trouvée} : \frac{N}{205}$$

$$\text{Concentration mol. en NH}^4 \text{ CNS trouvée} : \frac{N}{99,1}$$

$$\text{Concentration mol. totale trouvée} : \frac{N}{67,2}$$

La partie AB de la courbe (fig. 6) correspond à la précipitation de Ag I et la partie BC à celle de AgCNS. Le dosage de la somme sulfocyanure + halogénure est toujours rigoureux, alors que le dosage de chacun des composants du mélange est moins précis.

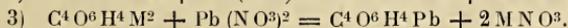
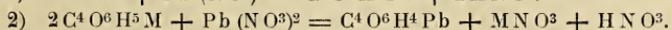
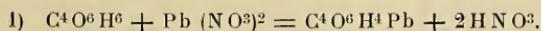
Les cas où une seule courbe de précipitation fournit plusieurs résultats analytiques sont rares; par contre il arrive fréquemment qu'une seule courbe permet le dosage approximatif de plusieurs éléments. Cela se produit chaque fois que la différence de solubilité de deux précipités est faible et que la fin de la précipitation du premier coïncide avec le commencement de la précipitation du second. La courbe est alors formée de trois parties correspondant à : 1° la précipitation exclusive du solide le moins soluble, 2° la précipitation simultanée des deux solides, 3° la précipitation du solide le plus soluble.

Il est évident que le calcul d'une telle courbe, basé sur les lois des équilibres chimiques, n'offre aucune difficulté lorsqu'on connaît les solubilités des précipités. Mais en pratique on n'aura pas intérêt à effectuer ces opérations numériques assez longues, et l'on se contentera des résultats qualitatifs indiqués par la simple allure de la courbe de précipitation.

Réactions couplées.

Il arrive souvent que la précipitation soit accompagnée d'une autre réaction : réduction, oxydation, changement d'acidité, etc. Ce dernier cas se présente souvent dans l'analyse des vins; c'est du reste le plus général. Il se produit chaque fois que le réactif est un sel d'acide ou de base de force très différente des acides ou bases de la solution à titrer.

La titration de l'acide tartrique et des tartrates par le nitrate de plomb suivant l'une des équations



est un exemple de ces réactions. Dans les expériences suivantes, nous avons titré successivement par le nitrate de

plomb normal 50 cm^3 de trois solutions renfermant $\frac{1}{100}$ mole par litre d'acide tartrique, de bitartrate et de tartrate neutre de potassium.

$\text{cm}^3 \text{ Pb}(\text{NO}_3)_2 \text{ N}$	Conductivité électrique (en unités arbitraires)		
	Acide tartrique	Bitartrate	Tartr. neutre
0.0	0.3298	0.4577	0.9084
0.1	—	4993	—
0.2	5187	5468	9380
0.3	—	6000	—
0.4	6910	6598	9705
0.5	—	7438	—
0.6	8622	8536	1.002
0.7	—	0.9802	1.020
0.8	1.012	1.101	1.041
0.9	1.119	1.227	1.066
1.0	1.262	1.336	1.085
1.1	1.392	1.448	1.137
1.2	1.491	1.541	1.210
1.3	1.584	1.639	1.285
1.4	1.717	—	1.361

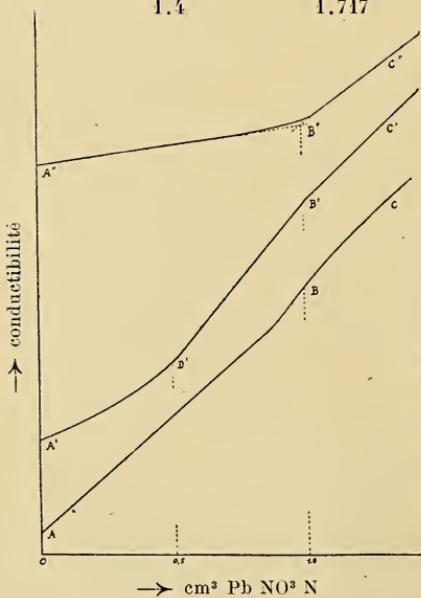


Fig. 7.

L'addition de nitrate de plomb à la solution d'acide tartrique $\frac{N}{50}$ n'est pas accompagnée de la précipitation immédiate de tartrate de plomb, qui s'effectue lentement en présence d'un excès de réactif — $0,9 \text{ cm}^3$ environ. L'acide nitrique, mis en liberté, provoque l'allure irrégulière de la courbe ABC (fig. 7) sans aucune inflexion marquée. En titrant au contraire le tartrate acide de potassium, le précipité apparaît dès la seconde addition de

réactif — par suite de la plus faible acidité du milieu — et la courbe de précipitation A'D'B'C' présente deux inflexions : la première D', assez nette, indique la fin de la neutralisation de la potasse du bitartrate par l'acide nitrique du nitrate de plomb ; la deuxième B', à peine marquée, correspond à l'acide tartrique. Enfin lorsqu'on titre le tartrate neutre, la courbe de précipitation A''B''C'' présente un seul point d'inflexion B'', toujours très net, au moment où l'alcali est entièrement neutralisé et tout l'acide tartrique précipité.

Ces expériences montrent que la précipitation de l'acide tartrique par le nitrate de plomb est subordonnée à la neutralisation de l'acide nitrique du réactif. Les courbes A'D'B'C' et A''B''C'' sont à la fois des courbes de précipitation et de neutralisation.

Pour obtenir une bonne courbe de précipitation de l'acide tartrique, à inflexion nette, il faudra supprimer la réaction accessoire de mise en liberté d'acide nitrique en ajoutant un léger excès d'acétate alcalin par exemple.

Beaucoup de titrations qui nous avaient paru, au premier abord, ne pas donner de courbe caractéristique ont été rendues possibles en supprimant les réactions qui accompagnaient la précipitation. C'est un point à ne jamais perdre de vue dans le travail de recherche, car les réactions accessoires sont souvent imprévues. Rappelons à ce propos que le dosage volumétrique des métaux à l'état de sulfures est rigoureux quand on évite l'oxydation par l'air du sulfure, accompagnant toujours la précipitation.

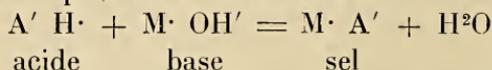
II. Courbes de saturation¹.

Neutralisation d'acides et bases forts.

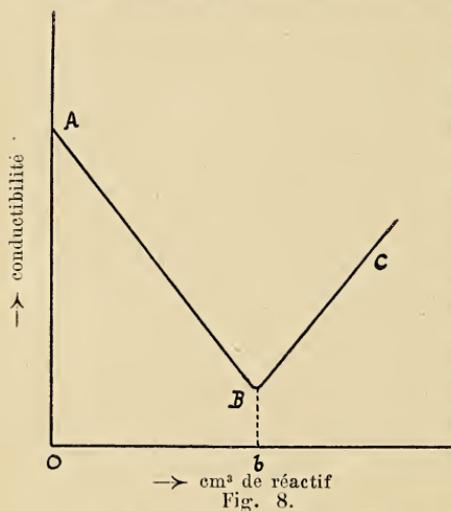
Le remplacement des ions H d'un acide par un autre

¹ Pour la bibliographie de ce chapitre voir : D. Berthelot, *Ann. Ch. et Phys.*, 1891, [6], 24 ; Miolati, *Zeitschr. f. anorg. Chem.*, 22, 445 ; Thiel et Røemer, *Zeitschr. f. Phys. Chem.* 63, 711, 1908 ; Duboux, Thèse, Lausanne, 1908.

ion positif, ou celui des ions OH d'un alcali par un ion négatif, qui se produit dans les réactions



est toujours accompagné d'une diminution de la conductibilité : la conductibilité ionique de H et OH étant plus forte que celle des autres ions. Les courbes de neutralisation d'un acide fort par une base forte ou, inversement, d'une base forte par un acide fort, auront donc toujours l'allure



de la fig. 8, avec un point de rebroussement B correspondant à la fin de la saturation. Les deux parties AB et BC seront des droites parfaites si l'acide et la base à titrer sont très forts, c'est-à-dire entièrement dissociés. C'est pratiquement le cas des acides chlorhydrique, nitrique, etc., des hydrates de potassium, de sodium, calcium, baryum, etc., même en solution assez concentrée.

La netteté de l'inflexion est augmentée quand le réactif est beaucoup plus concentré que la solution à titrer, pour les mêmes raisons que nous avons déjà exposées (p. 145). Répétons encore que toutes les courbes reproduites dans ce chapitre ont été obtenues par titration avec un réactif assez concentré pour que l'augmentation de volume, produite par l'addition du réactif, soit négligeable.

La titration d'acides ou bases forts par la méthode des conductibilités, bien que très rigoureuse, n'offre pas d'intérêt tant qu'elle peut être remplacée par une titration volumétrique ordinaire avec un indicateur coloré. Cette dernière méthode fait cependant défaut quand la dilution de

la solution à analyser est très grande, tandis que l'on peut encore fixer par conductibilités le titre d'une solution acide $\frac{N}{100\ 000}$.

Neutralisation d'acides et bases très faibles.

Les courbes sont toujours caractérisées par deux branches montantes, la fin de la saturation correspondant à leur point d'intersection. La fig. 9 reproduit les courbes de neutralisation de l'acide borique par la soude caustique et de la pyridine par l'acide chlorhydrique.

La conductibilité des solutions d'acide borique est extrêmement faible; par addition de l'alcali il se produit du borate de sodium conducteur dont la formation est terminée en B. A partir de ce point la solution s'enrichit en soude plus conductrice que le borate de sodium; l'inclinaison de la courbe change brusquement.

L'interprétation de la courbe de neutralisation de la pyridine par l'acide chlorhydrique est absolument symétrique de la précédente.

Les courbes de saturation d'acides ou de bases

très faibles sont intéressantes, car il n'est pas possible d'effectuer les mêmes titrations avec les indicateurs colorés. Il était donc important de déterminer la limite

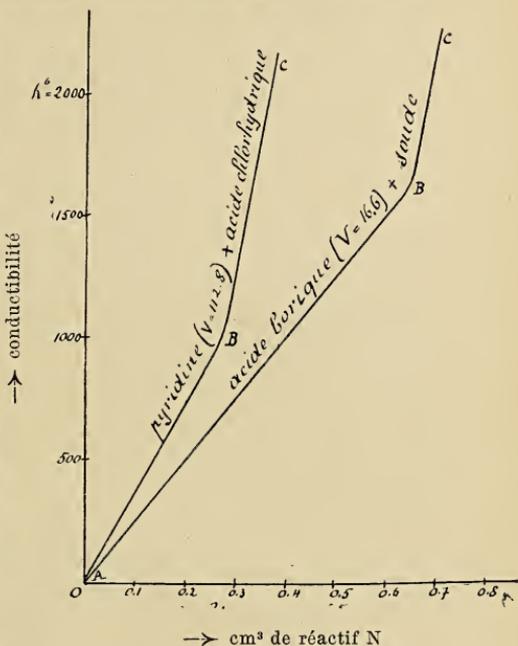


Fig. 9.

de force d'un acide, ou d'une base, susceptible d'être encore titré exactement par la méthode des conductibilités.

L'addition d'acide chlorhydrique à une solution diluée d'urée, dont la constante d'affinité est très petite, comme celle de soude au phosphate dipotassique, dont la constante est $< 10^{-12}$, conduit à des droites sans point d'inflexion. Les courbes de neutralisation de l'o. toluidine et celle de la résorcine présentent une inflexion, beaucoup plus marquée dans le cas du phénol ($K = 0,13 \cdot 10^{-9}$) et de l'acide borique ($K = 1,7 \cdot 10^{-9}$).

Il semble résulter de ces expériences que la méthode des conductibilités permet de titrer exactement les solutions concentrées d'acides ou de bases dont la constante d'affinité est supérieure à 10^{-10} . Des déterminations très précises de la conductibilité permettront probablement de fixer la concentration moléculaire de solutions concentrées d'acides encore plus faibles.

Au fur et à mesure que la force de l'acide à titrer diminue, les deux branches montantes AB et BC ont une inclinaison moins différente et s'incurvent en outre dans le voisinage du point B. La cause de ce phénomène réside dans l'hydrolyse du sel formé, et mérite d'être examinée d'un peu plus près.

Pour cela reproduisons (fig. 10) les courbes de neutralisation par NaOH, 5N, de solutions $\frac{N}{100}$ d'acides de plus en plus faibles.

La courbe ABC correspond à un acide assez fort pour que l'hydrolyse de son sel de soude en solution $\frac{N}{100}$ soit négligeable. L'ordonnée du point d'inflexion B est la conductibilité de ce sel.

La courbe A'B'C' correspond à un acide dont le sel de soude est dissocié hydrolytiquement de 10 % en solution centième normale. L'ordonnée du point B' représente

toutes les courbes $B'C'$, $B''C''$, etc., ont une asymptote commune — lorsqu'il s'agit d'acides organiques à même concentration moléculaire limite — qui est BC et que le point final de la titration se trouve sensiblement à la rencontre d'une tangente (AB) menée depuis l'origine de la courbe avec cette asymptote.

La position du point B sera d'autant mieux fixée, au point de vue expérimental, que l'hydrolyse du sel formé sera faible. L'hydrolyse augmentant — dans le cas qui nous occupe — avec la dilution, on suivra la règle suivante :

Pour titrer les acides ou bases très faibles par une base ou un acide fort, la solution à analyser ne doit pas être trop diluée ($V < 10$) et le réactif doit être aussi concentré que possible (HCl ou $NaOH$, 5 à 10 fois normal).

Neutralisation d'acides et bases de force moyenne.

Les courbes peuvent présenter tous les types intermédiaires entre la neutralisation d'acides forts et celle d'acides très faibles. La concentration de la solution en examen aura aussi une influence sur la courbe de neutralisation d'un acide de force moyenne, car on sait que le degré de dissociation augmente avec la dilution. En solution infiniment diluée, les acides de force moyenne se comportent

$x = f(v)$, dont l'équation est donnée en combinant les relations 1, 2, 3 et 4, présente quelques particularités intéressantes (voir fig. 11).

Sa tangente à l'origine est $\frac{AK + BR}{K + R}$

et son asymptote $x = Av + (B - A)R$

Il en résulte que l'asymptote et la tangente à l'origine passent par le point $(K + R, AK + BR)$.

Pour obtenir graphiquement l'abscisse du point R et par conséquent le dosage chimique cherché, il faudrait tracer la tangente à l'origine de la courbe ainsi que l'asymptote, et retrancher de l'abscisse de leur point de rencontre la longueur K . Comme cette valeur n'est généralement pas connue, on aura tendance à choisir le point final de réaction trop à droite, chaque fois que l'on titre un acide très faible dont le sel de soude est fortement hydrolysé.

comme des acides forts, étant alors entièrement dissociés, et leur courbe de neutralisation aura l'allure reproduite dans la fig. 8. En solution concentrée, les mêmes acides se comporteront comme des acides faibles (fig. 9). A une concentration intermédiaire, les courbes de neutralisation prennent l'allure reproduite dans la fig. 12, la fin de la saturation correspondant à l'abscisse des points B.

Le calcul permet de trouver la *constante d'affinité* de l'acide soumis à la titration, à partir de la position

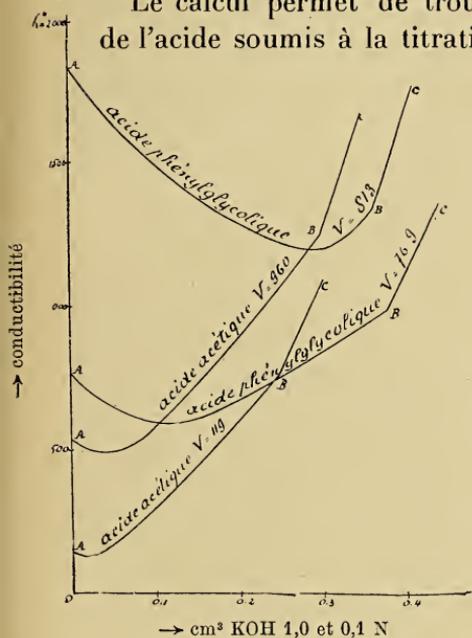


Fig. 12.

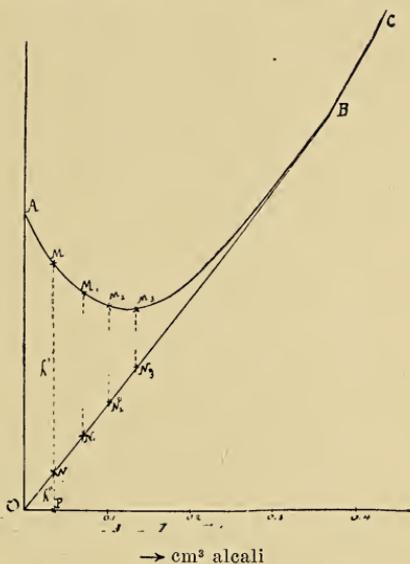


Fig. 13.

Les courbes des acides dilués sont portées à une échelle dix fois plus grande.

du minimum de la courbe par exemple, mais cette opération ne trouve pas d'application dans l'analyse des vins. Il est par contre intéressant de mentionner une construction graphique (fig. 13) donnant approximativement la force de l'acide (concentration des ions H). La quantité de sel formé par la neutralisation est proportionnelle à la quantité d'alcali ajouté jusqu'en B, si le sel existe seul en solution.

En chaque point de la courbe, M, M' M'', etc., la conductibilité est la somme des conductibilités de l'acide non encore saturé et du sel. Il est facile de prouver que les ordonnées AO, MN, M₁N₁, etc., représentent, à peu de chose près, la conductibilité due à l'acide non saturé¹.

Le même raisonnement peut être fait pour les courbes de neutralisation d'une solution acide contenant d'autres électrolytes ne réagissant pas avec l'alcali de la titration.

Pour déterminer la concentration des ions H d'un acide, on mènera donc depuis B une tangente à la courbe, qui rencontrera l'axe des conductibilités en O. L'ordonnée OA est proportionnelle à la concentration en ions H cherchée².

Neutralisation de mélanges d'acides ou de bases.

La répartition d'une base entre deux acides se fait proportionnellement à leur degré de dissociation. Si l'on ajoute de la soude à un mélange d'acides de force très différente, comme l'acide chlorhydrique et le phénol, dont la dissociation est négligeable par rapport à celle de HCl, l'alcali neutralisera tout d'abord l'acide le plus fort. La courbe de neutralisation du mélange présentera un minimum correspondant à l'acide chlorhydrique, tandis que le dernier point d'inflexion indiquera la neutralisation du phénol.

Lorsque la force des deux acides est voisine, la position du minimum de la courbe de neutralisation ne fournit plus de renseignement exact. Le calcul permet de retrouver la proportion des différents acides soumis à la neutralisation, lorsque: 1^o il n'y a que deux ou trois acides dans le mélange en analyse, 2^o les forces de ces acides sont connues et qu'elles sont différentes.

¹ Chez les acides relativement faibles.

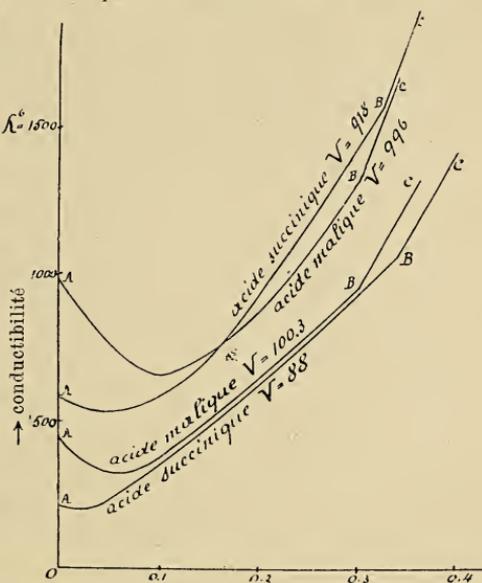
² $OA = x_1 C_H + x_2 C_A$; C_H = concentration en ions gr. H par litre = C_A ; x_1 = conductibilité spécifique provoquée par 1 ion gr. d'H par litre = 0,34; x_2 = conductibilité spécifique provoquée par 1 ion gr. du radical acide A; varie de 0,04 à 0,025 suivant le poids mol. de l'acide.

Nous croyons inutile d'insister sur ces calculs, sans utilité dans l'analyse des vins. La seule application que nous ayons rencontrée concerne un mélange d'acide fort et d'acide faible, c'est-à-dire un cas très simple avec un minimum à la fin de la neutralisation de l'acide fort.

Neutralisation des acides bibasiques.

Les acides bibasiques se comportent comme des mélanges d'acides monobasiques. Lorsque les deux ions H sont fortement dissociés (H^2SO_4), on rentre dans le cas d'un mélange de deux acides forts. Ordinairement, l'un des groupes acides est beaucoup plus dissocié que l'autre; l'acide se comporte alors comme un mélange d'un acide fort et d'un acide faible, mais la position du minimum de la courbe ne correspond à la neutralisation du groupe le plus fort que si la différence de dissociation entre les deux groupes COOH est considérable. Dans la plupart des cas, le minimum se produit avant la saturation du premier groupe acide (fig. 14); sa position est du reste variable avec la dilution.

Chez les acides inorganiques, la différence de force de l'acide et des sels acides est généralement si grande (H^2SO_3 , H^3PO_4) que la courbe de neutralisation possède presque toujours un point de rebroussement après la saturation du



→ cm³ KOH 1,0 et 0,1 N

Fig. 14.

Les courbes des acides dilués sont portées à une échelle dix fois plus grande.

premier H. Chez les acides organiques polybasiques la différence de force est beaucoup moins grande.

Courbes de déplacement.

Un acide fort, introduit dans la solution d'un sel d'acide faible, déplace ce dernier de sa combinaison, comme une base forte met en liberté les bases faibles combinées. Ces réactions sont parmi les plus intéressantes que la méthode des conductibilités permet de suivre. Un grand nombre de dosages rigoureux deviennent possibles, qui ne pouvaient être effectués par les opérations gravimétriques ou volumétriques usuelles.

Le cas le plus simple est celui où la différence de force des acides ou des bases est considérable, comme dans les réactions :

chlorhydrate de pyridine + NaOH = pyridine + NaCl

borate de soude + HCl = acide borique + NaCl

La courbe de déplacement affecte alors la forme suivante (fig. 15). La

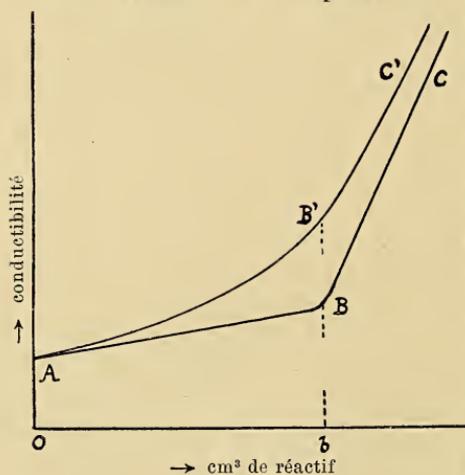


Fig. 15.

droite AB est montante ou descendante suivant que la conductibilité ionique du radical acide faible est plus faible ou plus forte que celle du radical de l'acide fort, ou, s'il s'agit du déplacement d'un sel de base faible, que la conductibilité du radical de la base forte est plus grande ou plus petite.

Le segment AB est toujours descendant chez les courbes de déplacement de sels hydrolysés.

Lorsque la différence de force de l'acide réactif et de l'acide combiné est petite, la courbe devient continue (AB'C'). Le point final se trouve alors « sensiblement » à la rencontre d'une tangente menée depuis l'origine et de l'asymptote de B'C'. La solution exacte est donnée par le calcul de répartition d'une base entre deux acides, que nous ne reproduisons pas ici.

En pratique, les résultats seront d'autant plus précis que les segments AB et BC se rapprochent davantage de droites. Un artifice permet souvent de réaliser cette condition, lorsque l'acide combiné est un acide organique. On sait que dans les milieux fortement alcoolisés (plus de 50 % d'alcool) la dissociation des acides organiques diminue rapidement lorsque la concentration de l'alcool augmente ; la dissociation des acides forts, comme l'acide chlorhydrique, diminue aussi, mais plus lentement. Il en résulte que l'addition d'alcool exagère la différence de force entre l'acide organique combiné et l'acide minéral réactif et qu'une courbe, continue lorsque la titration est effectuée en solution aqueuse, possède une inflexion nette après l'addition d'une quantité suffisante d'alcool.

II^e PARTIE

CHAPITRE PREMIER

Dosage de quelques éléments du vin par les courbes de précipitation.

Chlorures.

Les chlorures existent dans tous les vins, mais en quantité très variable, allant de quelques milligrammes à plusieurs décigrammes par litre. La statistique des vins, faite

dans divers pays, a permis d'établir des normes en ce qui concerne ces éléments. En Suisse, on considère comme suspect un vin contenant plus de 0,5 gr. de Cl par litre; en France, on tolère 1 gr. de chlorure de sodium. Ces normes n'ont cependant rien d'absolu. Ainsi M. Bonjean¹ a constaté que certains vins algériens renfermaient des quantités exceptionnellement fortes de chlorures : 3 et même 4,5 gr. par litre.

Mais, en règle générale, lorsque l'analyse indique une teneur en Cl supérieure à 0,5 gr. ‰ il y a lieu de soupçonner une adjonction de chlorure de sodium. Dans certains pays, on ajoute encore du sel marin au vin pour lui donner plus de « brillant » et de saveur ou pour masquer un mouillage en augmentant le poids des cendres et de l'extrait sec. Cette sophistication, qui tend maintenant à disparaître, est du reste facilement décelée par l'analyse.

La détermination volumétrique des chlorures est rapide, mais elle manque de précision lorsque la quantité de sels à doser est faible, aussi lui préfère-t-on la détermination gravimétrique, plus exacte, bien que longue et délicate. On l'effectue généralement sur les cendres du vin, et la difficulté consiste précisément à éviter toute perte de chlorures pendant la calcination.

Le dosage par la méthode des conductibilités est très rapide et précis. C'est un des plus simples, et nous ne pouvons que le recommander aux débutants qui veulent se familiariser avec la volumétrie physico-chimique.

Le réactif — une solution normale de nitrate d'argent —, additionné directement au vin, précipite seulement les chlorures. Les autres éléments du vin susceptibles d'entrer en combinaison avec le nitrate d'argent (phosphates, succinates, etc.), ne précipitent qu'en solution neutre ou fortement alcoolisée.

¹ Bull. Soc. chim. Fr. 19, 719.

Le principe même de ce dosage ayant déjà été indiqué précédemment (p. 143), il n'y a pas lieu d'y revenir.

La courbe de précipitation a toujours l'allure représentée par la fig. 16. Les deux portions AB et BC sont des droites parfaites, en sorte que le point d'inflexion B, caractéristique de la fin de la précipitation du chlorure d'argent, est déterminé avec une grande précision.

Voici, à titre d'exemple, les résultats qui ont été obtenus en répétant quatre fois le dosage des chlorures dans un même vin : 0,124, 0,126, 0,125, 0,124 grammes de Cl par litre. L'écart entre les valeurs extrêmes est de 2mgr. par litre, ce qui représente l'erreur maximum que l'on puisse commettre.

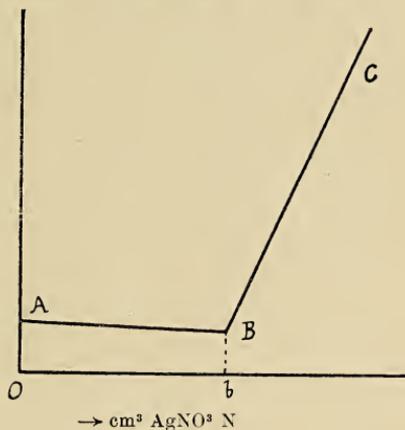


Fig. 16.

Comparée à la méthode de dosage gravimétrique — la seule qui permette d'obtenir par voie chimique les chlorures du vin avec précision — la méthode par conductibilités est de beaucoup la plus avantageuse, car elle réalise une économie de temps très appréciable. En outre le dosage physico-chimique étant un dosage direct, on évite tous les inconvénients de la calcination de l'extrait.

Lorsque le vin contient de faibles traces de chlorures, la détermination gravimétrique exige au moins 100 à 150 cm³ de liquide, alors que le dosage par conductibilités peut être effectué sur un volume de 30 à 50 cm³.

Sulfates.

L'acide sulfurique est à la fois un constituant normal du vin et un produit d'addition; celui qui provient du jus

de raisin est généralement en quantité plus grande chez les vins rouges que chez les blancs, variant du reste avec le plant et le sol producteurs. La plus grande partie de l'acide sulfurique tire son origine des traitements auxquels on soumet le vin dans le but de l'améliorer ou de le conserver. C'est en premier lieu le *sulfitage*, par l'acide sulfureux ou les bisulfites alcalins, procédé très ancien, autorisé dans la plupart des pays.

Sous l'action de l'oxygène de l'air, l'acide sulfureux et les bisulfites s'oxydent à la longue et se transforment peu à peu en sulfates neutres. La richesse d'un vin en sulfates — et jusqu'à un certain point son acidité — dépend ainsi dans une forte mesure des traitements à l'acide sulfureux qu'il a subis.

Une autre pratique qui a pour effet d'introduire de l'acide sulfurique dans les vins est le *plâtrage*, c'est-à-dire l'addition de plâtre dans les cuves de fermentation. Ce procédé, qui contribue à clarifier le vin et à dissoudre des matières colorantes de la pulpe, est employé depuis fort longtemps; il tend aujourd'hui à être abandonné, sauf dans certains pays chauds.

Les lois édictées par les différents pays fixent généralement à 2 gr. (de K_2SO_4) par litre la quantité maximum de sulfates qu'un vin marchand peut contenir; c'est pourquoi l'analyse soignée d'un vin comporte toujours le dosage des sulfates. Ce dosage peut se faire volumétriquement, par une liqueur titrée de chlorure de baryum, ou gravimétriquement, par pesée du sulfate de baryum. Le procédé volumétrique — qu'on trouve décrit dans tous les manuels d'analyse des vins — est rapide mais ne donne le poids des sulfates qu'avec une approximation de 0,1 à 0,15 gr. par litre. Le dosage gravimétrique peut s'effectuer soit sur les cendres, qu'on fait bouillir pendant un instant avec de l'eau acidulée par l'acide chlorhydrique, soit sur le vin directement. Dans ce dernier cas, il est rare que plusieurs analy-

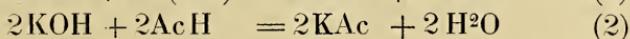
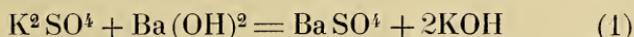
ses de contrôle fournissent des résultats strictement concordants, surtout quand la quantité de sulfate mise en œuvre est faible. Le précipité de BaSO_4 est toujours plus ou moins adsorbant, même en milieu acide; il entraîne des tannins et des matières colorantes qui sont calcinés avec le précipité et lui donnent une couleur grise; il adsorbe aussi des sels (alumine, chaux) qui ne sont éliminés que par un lavage prolongé, dissolvant un peu du précipité.

Le dosage des sulfates par les conductibilités électriques est, comme le précédent, un des plus précis que l'on puisse effectuer par cette méthode. La précipitation de BaSO_4 , PbSO_4 , SrSO_4 , en solution légèrement alcoolisée, conduit à des courbes régulières dont le point d'inflexion correspond exactement à la fin de la réaction.

Appliquée au dosage des sulfates du vin, la méthode n'offre pas non plus de difficulté. Pour que la réaction de précipitation des sulfates ne change pas l'acidité du milieu, il faut que le réactif soit le sel d'un acide aussi fort que l'acide sulfurique: un chlorure par exemple. La courbe de précipitation par le chlorure de baryum est formée, comme la théorie le prévoit, de deux droites parfaites, mais l'angle sous lequel celles-ci se coupent est obtus.

On peut exagérer beaucoup cet angle en précipitant les sulfates par la baryte, aussi préférons-nous ce réactif, bien qu'il donne lieu à deux réactions et que le point d'inflexion soit ainsi déterminé par la rencontre de deux courbes.

Les réactions qui se passent sont:



en appelant Ac le radical négatif des acides du vin neutralisés par la potasse mise en liberté.

La chute de conductibilité de A en B (fig. 17) correspond à la disparition des ions SO_4 . A partir de B la courbe de neutralisation est montante, car on introduit dans le

vin des sels de baryum plus conducteurs (dissociés) que les acides qui leur ont donné naissance (acides tartrique, malique, etc.).

L'incurvation de la partie AB, que l'on observe souvent,

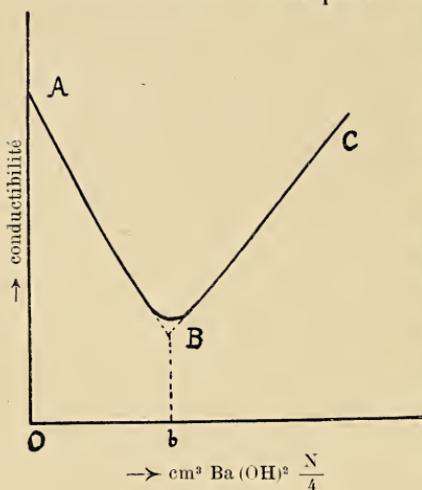


Fig. 17.

est d'autant plus marquée que le vin est plus acide; son interprétation est donnée dans le chapitre suivant (voir p. 207).

Deux autres facteurs influencent encore la forme de la courbe au voisinage de l'inflexion B : ce sont la solubilité du sulfate de baryum qui n'est alors pas négligeable (p. 147) et, quelquefois, l'adsorption des sels de calcium et d'aluminium qui existent

toujours en faibles quantités dans le vin.

Quoi qu'il en soit, l'expérience a montré que le point final de la précipitation des sulfates est indiqué, avec une précision très suffisante, par la rencontre des parties faiblement incurvées de la courbe de précipitation, prolongées de sentiment. On pourrait, à la rigueur, augmenter encore la netteté de l'inflexion en ajoutant au vin le 20 % environ de son volume d'alcool — de façon à éviter la précipitation du tartrate de baryum —, mais ce mode de faire n'est guère avantageux puisque le dosage des sulfates s'effectue simultanément avec la détermination des matières minérales et celle des acidités du vin (voir p. 278), et que la méthode, telle que nous venons de la décrire, fournit des résultats suffisamment précis. Les vérifications auxquelles on a procédé dans divers laboratoires ne laissent aucun doute à ce sujet.

Nous reproduisons, dans le tableau suivant, un certain

nombre de dosages comparatifs effectués par les deux méthodes gravimétrique et physico-chimique.

Sulfates, en grammes de K_2SO_4		Ecart.	Sulfates, en grammes de K_2SO_4		Ecart.
Gravimétrie	Conductibilités		Gravimétrie	Conductibilités	
0.48	0.49	0.01	2.09	2.09	0.00
0.63	0.62	0.01	2.56	2.51	0.05
0.61	0.60	0.01	1.40	1.31	0.09
0.53	0.51	0.02	0.73	0.62	0.11
0.43	0.42	0.01	0.67	0.61	0.06
2.48	2.46	0.02	0.94	0.95	0.01
0.49 ¹	0.48	0.01	1.28	1.20	0.08
0.45	0.44	0.01	1.06	1.00	0.06
0.66	0.62	0.04	1.29	1.30	0.01
0.48	0.50	0.02	0.70	0.67	0.03
0.59	0.60	0.01	0.37	0.38	0.01
0.45	0.45	0.00	0.89	0.78	0.11
0.39	0.45	0.06	0.47	0.37	0.10
0.25	0.22	0.03	0.53	0.49	0.04
0.15	0.12	0.03	0.38	0.26	0.12
0.63	0.63	0.00	0.78	0.73	0.05
0.28	0.35	0.07	1.64	1.65	0.01
0.48 ²	0.47	0.01	0.95	0.96	0.01
0.53	0.51	0.02	0.70	0.69	0.01

La concordance des chiffres est presque toujours remarquable, même s'il s'agit de vins contenant de très petites quantités de sulfates. Les écarts observés sont de l'ordre de grandeur des erreurs gravimétriques.

Un autre point à relever est le fait que le dosage des sulfates par conductibilités conduit à des résultats strictement comparables, ce qui n'est pas toujours le cas du dosage gravimétrique. En répétant quatre fois le dosage physico-chimique des sulfates dans un même vin, nous avons obtenu les résultats suivants :

¹ Dosages gravimétriques provenant du service de la répression des fraudes, à Paris.

² Analyses effectuées au laboratoire du service sanitaire fédéral, à Berne.

I	0,66	gr.	$\frac{0}{100}$	K^2SO^4
II	0,66	»	»	»
III	0,65	»	»	»
IV	0,66	»	»	»

En résumé, le dosage physico-chimique des sulfates du vin par la baryte $\frac{N}{4}$ remplace avantageusement le dosage gravimétrique. Il fournit des résultats tout aussi exacts et réalise une économie de temps considérable : la titration par conductibilités exige quelques minutes.

Phosphates minéraux.

Le phosphore, qu'on retrouve dans tous les vins, provient de combinaisons bien différentes. Une faible partie est fixée dans des molécules organiques, tandis que le reste existe à l'état de sels oxygénés minéraux.

L'existence de combinaisons phosphorées dans le vin a été prouvée et est universellement admise, mais on n'est pas certain que le phosphore organique provienne de la lécithine, comme certains auteurs l'admettent¹, des phospho-glycérates² ou d'autres composés encore³. D'après les recherches de P. Carles, le phosphore organique représenterait le dixième environ du phosphore total.

Une méthode de dosage de ce constituant du vin est basée sur la solubilité des substances organiques phosphorées dans des mélanges d'alcool et d'éther et l'insolubilité des phosphates minéraux dans les mêmes milieux. Les résultats seront trop faibles si toutes les combinaisons phosphorées ne sont pas solubles dans ces mélanges éthéro-alcooliques. Un autre procédé de dosage consisterait à dé-

¹ J. Weirich et G. Ortlieb, *Chem.-Zeit.*, 1904, 28, 153; A. Funaro et J. Barboni, *Staz. sperim. agr. ital.*, 37, 881; Plancher et Manaresi, *Gaz. chim. ital.*, 36, II, 481; F. Muraro, *Gaz. chim. ital.*, 35, I, 314.

² P. Carles, *Bull. Soc. Chim. Fr.*, 5, 962.

³ A. Funaro et A. Rastelli, *Staz. sperim. agrar. ital.*, 39, 35.

duire du phosphore total, trouvé dans les cendres du vin, le phosphore des phosphates minéraux.

Ces analyses ne se font pour ainsi dire jamais dans la pratique; elles sont trop longues et, au surplus, manquent de précision.

La majeure partie du phosphore du vin est constituée par les phosphates minéraux et principalement par les orthophosphates. L'analyse chimique n'a pu déterminer, jusqu'à présent, si d'autres acides phosphoriques n'existent pas à côté de l'orthophosphorique, qui a seul été identifié par quelques réactions caractéristiques. Cet acide tribasique fonctionne comme un acide fort par un de ces hydrogènes substituables, et comme acide très faible par les deux derniers hydrogènes; il existera donc partiellement salifié dans le vin, à l'état d'orthophosphates primaires.

Le dosage des phosphates minéraux du vin est aussi peu fréquent et aussi difficile que celui du phosphore organique. On l'obtient par la différence P. total — P. organique, ou par la méthode de Carles, basée sur la précipitation des phosphates minéraux par la liqueur citromagnésienne. Le phosphore du précipité est titré par le nitrate d'urane.

La seule détermination courante est celle du phosphore total; elle s'effectue sur les cendres et les résultats sont exprimés en gr. de P^2O^5 par litre. On dissout les matières minérales dans de l'acide azotique dilué, on précipite comme phospho-molybdate d'ammoniaque, on filtre, lave, redissout le précipité dans l'ammoniaque, puis précipite à nouveau comme phosphate ammoniac-magnésien qu'on calcine et pèse.

Nous nous sommes proposé de titrer les phosphates minéraux du vin par une courbe de précipitation et y sommes arrivés après des recherches très longues. L'intérêt que présente ce dosage est considérable, car les phosphates minéraux faussent les dosages de plusieurs autres éléments du vin, en particulier ceux de l'alcalinité des cendres et de

l'alcalinité totale. Il est absolument nécessaire de connaître la teneur d'un vin en orthophosphates si l'on veut effectuer ces dernières analyses avec exactitude.

Presque tous les orthophosphates des métaux du premier, deuxième, troisième et quatrième groupes sont insolubles en milieu neutre ou alcalin et solubles en milieu acide. Dans l'eau alcoolisée, l'insolubilité de ces composés est encore beaucoup plus grande et telle qu'on pouvait espérer obtenir une bonne courbe de précipitation. Nous avons essayé les titrations avec les sels d'argent, de plomb, de baryum, de lanthane, etc., comme réactifs, en milieu légèrement acide ou neutre et en variant les concentrations de l'alcool. Alors que les résultats des titrations sont excellents, tant qu'il s'agit de doser les phosphates dans une solution qui ne contient pas de sels étrangers réagissant avec les métaux lourds, l'application de la méthode au vin conduit à des courbes difficiles à interpréter et sans une grande valeur pratique. Il y a toujours précipitation simultanée de plusieurs constituants du vin.

La titration par un sel de baryum, en milieu neutre et alcoolique, donne une courbe dont le point d'inflexion final correspond à la somme sulfates + phosphates + tartrates + une partie des succinates, malates et tannates. Il n'y a pas d'inflexion suffisamment nette à la fin de la précipitation des phosphates et des sulfates.

Les titrations avec les sels d'argent, de plomb ou de lanthane, conduisent à des résultats à peu près identiques.

Dans tous ces cas, on pourrait obtenir les phosphates en déduisant de la quantité de réactif nécessaire pour précipiter l'ensemble des sels insolubles, celle qui a servi à précipiter les substances autres que les phosphates. Mais ces dosages par différence sont moins précis que les dosages directs, et nous avons dû les abandonner.

En volumétrie, on dose généralement l'acide phosphorique au moyen d'une solution de nitrate ou d'acétate

d'uranyle de titre connu. La réaction s'effectue à chaud et en présence d'un excès d'acétate de sodium et d'acide acétique; la fin en est indiquée par des essais à la touche sur des gouttelettes de ferrocyanure de potassium, qui se colorent en brun dès que la solution renferme un léger excès de sel d'uranyle.

Cette titration volumétrique, qui a l'avantage de la rapidité et de la simplicité, a été proposée pour doser le P^2O^5 total dans les cendres du vin, mais les résultats qu'elle fournit sont moins précis que ceux que l'on obtient par gravimétrie.

Il est en particulier assez difficile de saisir très nettement la fin de la réaction, ce qui explique pourquoi on lui préfère généralement le dosage par pesée, plus sûr quoique plus long. La critique de cette méthode à l'acétate d'uranyle a du reste été faite par divers auteurs.

Nous avons cherché à doser directement dans le vin les phosphates minéraux, au moyen de la courbe de précipitation du phosphate d'uranyle. De tous les éléments du vin les orthophosphates — et, éventuellement, les métaphosphates s'ils existent — sont les seuls qui donnent avec les sels d'uranyle un composé insoluble. Les acides organiques, dans la proportion où ils sont contenus dans le vin, ne donnent pas de précipité avec ce réactif.

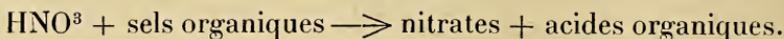
Dans la titration volumétrique ordinaire, on peut utiliser indifféremment l'acétate ou le nitrate d'uranyle. Par la méthode des conductibilités, l'emploi du nitrate, non hydrolysé, est indiqué.

Lorsqu'on ajoute à un vin une solution de nitrate d'uranyle de titre connu, les phosphates qui y sont contenus sont précipités d'après la réaction classique



Mais il se passe au même instant une autre réaction. L'acide nitrique ne peut exister à l'état libre en présence de sels

organiques; il va donc déplacer les acides organiques de leurs combinaisons suivant le schéma



On a simultanément une précipitation et un déplacement.

La réaction, rapide à chaud, se fait très lentement à la température ordinaire. Il y aurait avantage à effectuer les titrations à une température élevée, mais cela ne peut se faire par les conductibilités sans compliquer singulièrement la méthode.

Les courbes de précipitation des phosphates, obtenues en ajoutant directement le nitrate d'uranyle au vin, sont peu nettes et l'inflexion en est bien mal marquée. Les résultats ne sont pas meilleurs lorsqu'on attend quelques minutes entre chaque addition de réactif. La lenteur de la précipitation est telle — du moins chez les vins renfermant peu de phosphates — que la méthode fournit tout au plus un dosage approximatif du P^2O^5 minéral.

On peut toutefois augmenter très sensiblement la vitesse de la réaction en utilisant la propriété du phosphate d'uranyle d'être moins soluble dans les milieux alcooliques que

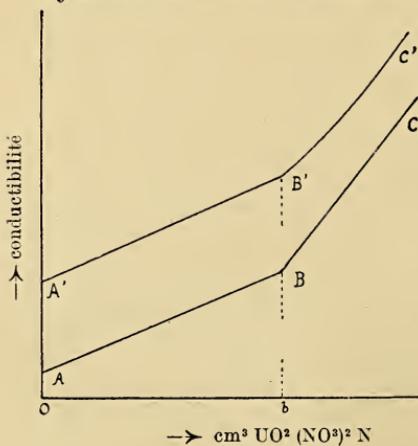


Fig. 18.

dans les milieux aqueux. Lorsqu'on effectue la titration des phosphates d'un vin additionné d'alcool, la courbe de précipitation devient de plus en plus nette, avec un point d'inflexion d'autant mieux marqué que la proportion d'alcool augmente.

L'expérience a montré qu'il convenait d'ajouter au vin les $\frac{4}{5}$ de son volume d'alcool.

La première partie AB de la courbe (fig. 18), qui est rectiligne, correspond donc à la fin de la précipitation du

phosphate d'uranyle. L'allure qu'affecte la courbe après le point B est due à un déplacement autre que celui dont nous avons parlé plus haut. L'acide nitrique du nitrate d'uranyle déplace les acides organiques de leurs combinaisons, et il y a formation successive d'acétate, de lactate, de succinate, de malate et de tartrate d'uranyle solubles :
 nitrate d'uranyle + sels organiques \longrightarrow nitrates + sels organiques d'uranyle.

La forme plus ou moins incurvée de BC dépend donc de la composition du vin.

Même en présence d'alcool, la précipitation du phosphate d'uranyle n'est pas instantanée, et il faut encore attendre quelques minutes après chaque addition de réactif, faute de quoi les titrations seraient moins bonnes.

Pour nous rendre compte de l'exactitude de la méthode, nous avons répété les déterminations de phosphates pour deux vins à teneurs en P^2O^5 différentes, en suivant le mode opératoire décrit à la page 268. Les résultats ont été les suivants :

	Vin blanc (P^2O^5 total = 0.32)		Vin rouge (P^2O^5 total = 0.48)	
	cm ³ UO ² (NO ³) ² N ⁰ /100	gr. P ² O ⁵ 0/100	cm ³ UO ² (NO ³) ² N ⁰ /100	gr. P ² O ⁵ 0/100
1 ^{er} essai.	8.0	0.28	12.1	0.43
2 ^e »	8.1	0.28	12.4	0.44
3 ^e »	8.0	0.28	12.2	0.43

La comparaison de ces chiffres montre que la sensibilité du dosage par conductibilités des phosphates minéraux dans le vin ne laisse rien à désirer. On peut déterminer cet élément à quelques pour cent près, c'est-à-dire avec une précision de 1 ou 2 centigrammes par litre, ce qui est l'ordre de grandeur des erreurs de la gravimétrie.

Remarquons en terminant que le dosage du phosphore minéral conduit à celui du phosphore organique :

$$P \text{ organique} = P \text{ total} - P \text{ minéral}$$

Il est évident qu'on ne peut pas prétendre à un dosage

rigoureux des substances phosphorées du vin. Celles-ci existent à l'état de traces et sont obtenues par différence entre deux dosages dont chacun comporte déjà une erreur, très petite il est vrai, mais qui n'en existe pas moins. En outre, il n'est pas prouvé que tout le phosphore organique se retrouve dans les cendres après calcination. Certains auteurs prétendent au contraire que quelques-unes des combinaisons phosphorées, telle la lécithine, sont volatiles et disparaissent lorsqu'on chauffe le vin au-dessus de 50°.

Quoi qu'il en soit, la différence entre le P²O⁵ total dosé dans les cendres par gravimétrie et le P²O⁵ minéral dosé dans le vin par conductibilités, fournit un résultat analytique intéressant qu'on pourra peut-être utiliser un jour ou l'autre. Le tableau suivant contient quelques-uns de ces dosages comparatifs effectués sur plusieurs vins d'origines et de natures différentes.

	P ² O ⁵ minéral (en gr. par litre) Conductibilités.	P ² O ⁵ total (en gr. par litre) Gravimétrie.	Diff.
Vin rouge italien . .	0.16	0.18	0.02
Vin rouge français . .	0.23	0.28	0.05
Vin rouge vaudois . .	0.28	0.32	0.04
Vin blanc » . .	0.31	0.34	0.03
Vin blanc » . .	0.32	0.36	0.04
Vin rouge » . .	0.37	0.39	0.02
Vin rouge » . .	0.43	0.48	0.05

La différence entre le phosphore total et le phosphore minéral varie de 0,02 à 0,05 chez les quelques vins que nous avons examinés. Ces résultats confirment les conclusions que M. Carles a tirées de ses dosages de phosphates minéraux et organiques.

Chaux.

La détermination de la chaux dans le vin n'est pas une opération courante ; elle est, d'une part, toujours extrê-

mement longue et délicate, puisqu'elle comporte une calcination et un dosage gravimétrique, et, d'autre part, elle ne présente pas, au point de vue analytique, une grande importance. Il y a cependant certains cas où le chimiste a intérêt à doser cet élément avec précision; c'est, par exemple, lorsqu'il soupçonne une addition de craie au vin, qui a pour but, comme on le sait, de le désacidifier; ou encore dans le cas de mouillage avec une eau calcaire qui aurait modifié la proportion des matières minérales dans les cendres.

Nous avons cherché une méthode de dosage de la chaux dans le vin par les conductibilités électriques, en précipitant cet élément sous la forme d'oxalate de calcium. Mais la titration ne peut pas se faire ici sur le vin directement, parce que la précipitation de l'oxalate de calcium n'est pas instantanée et que la présence des autres sels conducteurs gêne les titrations en rendant peu sensibles les variations de la conductibilité électrique, provoquées par l'addition d'oxalate de sodium. Le point d'inflexion de la courbe de précipitation est si peu marqué que les erreurs d'expériences deviennent considérables.

On peut aisément tourner la difficulté en séparant tout d'abord la chaux des autres électrolytes du vin. On utilise pour cela la propriété du sulfate de calcium d'être pratiquement insoluble dans une solution renfermant environ 70 % d'alcool. Le vin est additionné d'un peu d'acide sulfurique et d'alcool; le précipité de sulfate de calcium — qui se forme au bout de deux heures — est filtré, puis repris par l'eau, et c'est dans cette solution aqueuse, débarrassée de sels étrangers, que l'on titre la chaux par conductibilités avec le réactif oxalate de sodium N. La réaction qui se passe est la suivante :



La courbe de précipitation de l'oxalate de calcium, représentée par la fig. 19, est alors suffisamment nette et

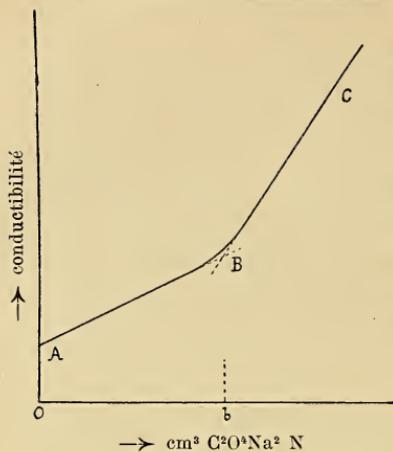


Fig. 19.

	Observé.	Théorique.
Vin	0.14	0.14
Vin + 0.100 gr. $\frac{0}{100}$ CaCO ₃	0.188	0.196
Vin + 0.200 » » »	0.260	0.252

Le tableau suivant contient les résultats comparatifs de quelques dosages de chaux dans le vin, effectués par gravimétrie et par conductibilités.

CaO, en gr. par litre.		
Conductibilités.	Gravimétrie.	Ecart.
0.09	0.10	0.01
0.10	0.09	0.01
0.11	0.11	0.00
0.12	0.13	0.01
0.12	0.13	0.01
0.13	0.14	0.01
0.14	0.12	0.02
0.14	0.13	0.01
0.16	0.15	0.01
0.16	0.15	0.01
0.17	0.17	0.00
0.18	0.19	0.01
0.19	0.18	0.01
0.20	0.19	0.01

permet une détermination à la précision de 0,01 à 0,02 gr. par litre.

Pour contrôler la méthode, nous avons ajouté à un vin des quantités pesées de carbonate de chaux et déterminé la courbe après chaque addition. Les résultats sont consignés ci-dessous.

CaO, en gr. par litre.

Les résultats sont en général très concordants. Chaque fois que nous avons observé des divergences appréciables, la répétition de l'analyse a montré que l'erreur était due à l'opération gravimétrique, toujours assez délicate.

Par analyse gravimétrique¹, la présence des phosphates du vin nécessite la précipitation de la chaux, sous forme d'oxalate, en milieu acide, ce qui est particulièrement défavorable, surtout si l'on songe que la quantité de substance à doser est toujours très faible. Cela explique les écarts, parfois assez considérables, qu'on observe quelquefois entre deux opérations gravimétriques.

En revanche, le dosage de la chaux dans le vin par la méthode des conductibilités électriques conduit à des valeurs strictement comparables. Il offre en outre l'avantage d'être beaucoup plus rapide que le dosage chimique.

Il est probable que l'on pourra encore simplifier par la suite ce dosage physico-chimique; nous étudions en ce moment une méthode de dosage plus rapide qui consiste à titrer non pas la chaux mais le sulfate non utilisé :

On ajoute au vin de l'alcool et, au besoin, quelques cm³ d'une solution titrée d'un sulfate, on mélange, laisse déposer le sulfate de calcium et on titre l'excès de sulfate non utilisé par un sel de baryum. La quantité de sulfate disparue est théoriquement égale à la quantité de chaux dissoute dans le vin.

Magnésie.

Le dosage de la magnésie dans le vin est aussi peu fréquent que celui de la chaux. L'avantage que présente la

¹ On évapore et calcine au moins 200 cm³ de vin; on reprend les cendres à chaud par un peu d'acide chlorhydrique dilué; on neutralise l'excès d'acide libre par quelques gouttes d'ammoniaque, en évitant la formation du précipité des phosphates; on neutralise les dernières traces d'acide fort par de l'acétate de sodium — ce qui a pour effet de mettre de l'acide acétique en liberté — et on précipite enfin la chaux par un excès d'oxalate d'ammoniaque.

connaissance de cet élément pour l'appréciation d'un vin est loin de compenser la perte de temps et le sacrifice de 150 à 200 cm³ de liquide que cette opération nécessite. Ce dosage s'impose seulement dans les cas très rares où, les cendres existant en quantité anormale, on doit procéder à une analyse minutieuse des matières minérales.

Lorsqu'on fait l'analyse des vins par la méthode des conductibilités, la détermination de la magnésie présente au contraire une assez grande importance, car cette base faible est déplacée de ses combinaisons par les bases plus fortes, telles que la soude caustique ou la baryte, et influence les titrations de l'acidité totale du vin. La quantité de magnésie contenue normalement dans le vin est en effet loin d'être négligeable ; elle varie de 0,2 à 0,4 gr. par litre.

Nous étudions actuellement un procédé de dosage basé sur la précipitation simultanée de la chaux et de la magnésie par l'oxalate de sodium. L'addition d'un excès de ce réactif, exactement mesuré, à une solution neutre et alcoolisée contenant des sels de chaux et de magnésie précipite un mélange des deux oxalates. On peut alors doser la somme CaO + MgO par deux méthodes : 1° en titrant en retour par un sel de calcium, avec les conductibilités comme indicateur, l'oxalate de sodium non utilisé ; 2° en filtrant le précipité d'oxalates qui est calciné et pesé.

La première méthode est la plus rapide ; nous l'avons appliquée avec succès au dosage de la magnésie dans les eaux. Dans les deux méthodes on obtient la magnésie comme différence, après avoir dosé la chaux par le procédé qui vient d'être décrit.

L'application de ce dosage au vin n'a été faite que dans quelques cas isolés, et nous nous réservons de revenir sur le mode opératoire.

Acide tartrique total.

De tous les acides du vin, l'acide tartrique est certaine-

ment le plus important. Il forme à lui seul, chez les vins normaux, le 30 à 50 % — et quelquefois davantage — de l'ensemble de l'acidité fixe, libre et combinée, laquelle comprend, outre l'acide tartrique, les acides lactique, malique et succinique. La proportion de ces acides dans les vins est très variable, elle dépend d'une série de facteurs : degré de maturation du raisin, exposition du sol, fermentations, etc., qu'il n'y a pas lieu d'examiner ici. En ce qui concerne plus particulièrement l'acide tartrique, les nombreuses analyses faites dans divers pays montrent que les vins en contiennent généralement de 1,5 gr. à 5 gr. par litre.

L'acide tartrique se trouve dans le vin partiellement neutralisé : une partie est à l'état libre, l'autre forme, avec les bases que ce liquide contient en dissolution, des bitartrates. On a longtemps cherché à doser séparément les acides tartriques libre et combiné ; les méthodes proposées dans ce but sont nombreuses, mais aucune n'a permis d'atteindre le résultat désiré, car elles reposent sur des hypothèses qui ne sont plus conciliables avec les théories actuelles.

En effet, la plupart de ces méthodes admettent que toutes les bases constituant l'alcalinité du vin sont combinées à l'acide tartrique, à l'exclusion des autres acides organiques qui se trouveraient ainsi à l'état libre. Or la loi des équilibres chimiques enseigne qu'au contraire les bases du vin se répartissent sur les différents acides proportionnellement : 1° à leur force, 2° à leur concentration moléculaire. Il y a donc présence simultanée d'acides tartrique, malique, succinique, lactique, acétique, etc., et de tartrates, malates, succinates, lactates, acétates. Cependant, l'acide tartrique étant plus fort que les autres acides du vin, c'est lui qui est le plus salifié.

Il en résulte que l'analyse chimique ne permet pas de déterminer séparément l'acide tartrique libre et les bitar-

trates. La critique des méthodes qui devaient effectuer ces séparations a été faite souvent¹. On sait, par exemple, que le dosage du tartre — basé sur la cristallisation de cet élément — nécessite une modification profonde du milieu, soit par addition d'alcool ou d'éther, soit par concentration ; il ne donnera donc pas le tartrate acide de potassium existant réellement dans le vin, mais bien celui qui a pris naissance au cours de la manipulation chimique. C'est pour cette raison que les divers modes opératoires qu'on a proposés pour doser cet élément ne conduisent pas à des résultats concordants, chacun d'eux donnant le tartre dans le milieu où s'opère la cristallisation. Ces dosages sont donc conventionnels et n'ont pas de signification chimique précise.

Le calcul seul permet de déterminer dans quelle proportion l'acide tartrique est neutralisé dans le vin. Il faut, pour l'effectuer, connaître : 1° la concentration moléculaire de l'acide tartrique total, 2° la concentration des ions H (voir p. 204). Une autre méthode de dosage par le calcul, dont le détail est donné dans un travail de A. Quartaroli², présente un intérêt plutôt théorique, car elle nécessite au préalable le dosage toujours long et incertain des différents acides organiques du vin et de l'alcalinité.

Le dosage de l'acide tartrique libre à côté du combiné a été introduit en chimie analytique, semble-t-il, pour déceler une addition éventuelle d'acide tartrique au vin. Mais sitôt que cet acide est ajouté au vin, il se neutralise partiellement en bitartrate et met en liberté une quantité correspondante des acides plus faibles : malique, succinique, lactique, acétique, etc. Il n'y a donc pas même d'intérêt pratique à connaître la teneur d'un vin en acide tartrique libre.

¹ En particulier par C. v. der Heide et W.-I. Baragiola, *Landwirtschaftliche Jahrbücher*, 1910, 1036.

² *Staz. sperim. agr. ital.*, 1907, 40, 321.

Seule la détermination de l'acide tartrique total du vin possède une signification analytique précise ; elle est obligatoire dans plusieurs pays et tend à remplacer partout la détermination des acides tartriques libre et combiné.

Le dosage de l'acide tartrique total dans le vin a fait et fait encore l'objet de nombreux travaux ; c'est dire qu'aucune des méthodes proposées n'est parfaite. Celles-ci reposent toutes sur l'une ou l'autre des propriétés suivantes : 1° l'insolubilité relative de quelques tartrates neutres et de bitartrates, 2° le pouvoir réducteur de cet acide vis-à-vis de certains oxydants tels que le permanganate de potassium, 3° le pouvoir rotatoire de l'acide tartrique.

Méthodes par précipitation. Les réactifs qui ont été proposés pour le dosage de l'acide tartrique total sont des sels de potassium, baryum, calcium, magnésium, bismuth, zinc, plomb, etc. ; leur addition au vin peut entraîner une précipitation incomplète de l'acide tartrique ou, au contraire, la précipitation simultanée d'une partie ou même de la totalité des acides malique, succinique, tannique, sulfurique et phosphorique. Si l'élimination préalable des acides minéraux est toujours facile, il n'en est pas de même de celle des acides organiques. Les propriétés chimiques de ces corps sont trop voisines, et les solubilités de leurs sels dans l'eau trop peu différentes, pour qu'on puisse les séparer facilement.

Le principe des méthodes de dosage de l'acide tartrique par précipitation consistera donc à augmenter artificiellement la différence de solubilité des tartrates, malates, succinates, etc., en changeant le milieu dans lequel se fait la précipitation, soit par addition d'alcool ou d'éther, soit en modifiant l'alcalinité ou l'acidité.

Comme les titrations volumétriques avec les conductibilités sont basées sur le même principe, nous croyons utile de rappeler brièvement les principaux procédés qui ont été

employés pour le dosage volumétrique et gravimétrique de l'acide tartrique total du vin.

Les déterminations les plus répandues sont certainement celles qui sont fondées sur l'insolubilité du bitartrate de potassium dans différents milieux. En Suisse et en Allemagne, le dosage officiel de l'acide tartrique consiste à ajouter au vin un excès de chlorure et d'acétate de potassium — qui cédera sa potasse à l'acide tartrique — et à précipiter le tartre formé par l'addition d'alcool. La méthode officielle française, qui est l'ancienne méthode de Berthelot-Fleurieu modifiée, préconise l'addition de potasse sous forme de bromure de potassium et la précipitation du bitartrate dans un mélange éthéro-alcoolique. Un autre procédé de dosage de l'acide tartrique du vin, utilisé en France dans quelques laboratoires, est celui de Pasteur-Reboul, amélioré par Hubert¹. Il consiste à ajouter au vin du bromure de potassium, à évaporer jusqu'à consistance sirupeuse et à laisser cristalliser le tartre.

Toutes les méthodes basées sur la précipitation du bitartrate de potassium ont évidemment des défauts communs : leur durée d'abord, car la cristallisation du tartre est toujours lente et n'est complète qu'après 1 à 4 jours, suivant le procédé utilisé ; leur imprécision ensuite. Les résultats obtenus par les différentes méthodes ne sont pas strictement comparables, ce qui est dû, d'une part, à une précipitation plus ou moins complète du bitartrate de potassium dans les divers milieux où elle s'opère, et, d'autre part, à la précipitation d'autres éléments acides du vin qui, de ce fait, sont comptés comme tartre.

Nous avons eu l'occasion de doser l'acide tartrique dans une cinquantaine de vins, par la méthode officielle française, au bromure de potassium, et par la méthode de Reboul-Hubert. La comparaison des chiffres montre que l'écart

¹ *Ann. et Revue de chim. anal.*, 1906, 1.

moyen est de 0,45 gr. par litre. Le procédé de Reboul-Hubert, qui fournit toujours les résultats les plus élevés, est, d'après nous, le moins critiquable. M. Mestrezat a déjà fait une observation analogue ¹.

M. Ferentzy ² a eu l'idée de doser l'acide tartrique dans les vins en utilisant la faible solubilité du tartrate basique de magnésium. Lorsqu'on ajoute au vin, additionné de 50 % de son volume d'alcool, de la mixture magnésienne et de l'ammoniaque concentrée, le tartrate de magnésium seul précipite au bout de 12 heures. Il suffit ensuite de calciner le précipité et de peser la magnésie formée. M. Gowing-Scopes ³ a obtenu également de bons résultats avec cette méthode, et il propose de remplacer la calcination du précipité de tartrate basique de magnésium par une titration volumétrique de l'acide tartrique avec le permanganate de potassium.

M. Pozzi-Escot ⁴ a proposé une méthode basée sur l'insolubilité du tartrate de baryum en présence d'alcool. Il ajoute au vin, préalablement débarrassé de ses sulfates, un excès d'alcool et d'une solution titrée de bromure de baryum, filtre, lave à l'alcool et précipite l'excès de Ba par de l'oxalate d'ammoniaque. L'oxalate de baryum formé est filtré et repris, après lavages, par de l'acide sulfurique dilué. On titre l'acide oxalique mis en liberté par le permanganate de potassium et, de la quantité trouvée, on déduit la teneur du vin en acide tartrique.

Cette méthode ne doit pas fournir des résultats exacts, car — ainsi que nous le verrons plus loin — il est nécessaire que la précipitation du tartrate de baryum s'opère dans un milieu parfaitement défini, au point de vue de la teneur en alcool et de l'acidité, pour qu'elle ne soit pas

¹ *Ann. et Revue de chim. anal.*, 1908.

² *Chem. Ztg.*, 31, 1118.

³ *The analyst*, 33, 315.

⁴ *Ann. et Revue de chim. anal.*, 1908, 266.

accompagnée de la précipitation d'autres sels organiques de Ba.

On a également essayé de doser l'acide tartrique au moyen des sels de plomb, de bismuth, etc., mais les méthodes basées sur l'emploi de ces réactifs, bien qu'elles donnent de bons résultats dans le cas de solutions aqueuses d'acide tartrique, ne s'appliquent plus au vin : les acides malique et succinique précipitent plus ou moins complètement avec les sels de bismuth ou de plomb, et faussent par conséquent le dosage de l'acide tartrique¹.

L'étude de la séparation et du dosage des acides organiques du vin par les courbes de précipitation a été entreprise au laboratoire de Lausanne par M. Henny². Voici, brièvement résumés, les résultats principaux obtenus par cet observateur.

Le dosage de l'acide tartrique, dans une solution aqueuse ne contenant pas d'autres électrolytes, est possible par les courbes de précipitation avec le nitrate de plomb, la baryte et le sulfate de zirconium, tandis que la précipitation par d'autres agents (bismuth, cadmium, etc.) conduit à des courbes continues ou sans point d'inflexion suffisamment marqué. Le dosage de l'acide malique est possible par les sels de plomb ou de baryum. La présence d'alcool ou d'acétone augmente toujours la netteté des inflexions de la courbe.

L'analyse des mélanges d'acides du vin par ces réactifs ne fournit pas de résultat analytique précis en ce qui concerne la séparation de l'un ou de l'autre de ces acides ; par contre la courbe de précipitation par le nitrate de plomb présente une inflexion correspondant toujours au déplacement des alcalis combinés aux acides. Cette observation est intéressante. En effet, les réactifs utilisés par

¹ Voir la bibliographie plus complète du dosage de l'acide tartrique : Henny, *Dissertation*, Lausanne, 1912.

² *Dissertation*, Lausanne, 1912.

M. Henny étaient, à l'exception de la baryte, des sels de bases très faibles (plomb, bismuth, zircone, etc.) presque tous plus ou moins hydrolysés. L'addition au vin de ces sels modifie immédiatement l'acidité du milieu, en ce sens que l'acide du réactif se combine avec un alcali du vin et met une quantité équivalente d'acide organique en liberté. Il y a simultanément précipitation et déplacement, mais l'inflexion de la courbe étant plus caractéristique pour le déplacement, elle masque l'inflexion qui proviendrait de la précipitation.

La conclusion de ces recherches est qu'il convient d'empêcher la réaction de déplacement si l'on veut doser par conductibilités les acides organiques du vin au moyen d'un sel de plomb, bismuth, zircone, magnésium, etc. On y parviendrait en ajoutant au vin suffisamment d'acide acétique et d'ammoniaque pour que l'acidité du milieu ne change pas après l'addition du réactif.

Mais la titration par ces sels a perdu de son intérêt depuis que nous avons trouvé un dosage rapide et précis de l'acide tartrique par la baryte ou un sel de baryum.

La première idée de ce dosage nous a été suggérée par l'examen de la courbe à la baryte $\frac{N}{4}$ (voir p. 214). Nous avons déjà mentionné ici même¹ que la partie BC de la courbe est d'autant plus inclinée que le vin contient davantage d'acide tartrique, et nous espérons obtenir une relation précise entre ces deux phénomènes. La relation existe, mais elle ne permet pas de déduire la teneur du vin en acide tartrique à plus de 1 gr. près, car d'autres facteurs contribuent à modifier l'inclinaison de la partie BC de la courbe.

Nous avons ensuite neutralisé par la baryte $\frac{N}{4}$ des vins

¹ *Bull. soc. vaud. sc. nat.*, 1909, XLV, 417.

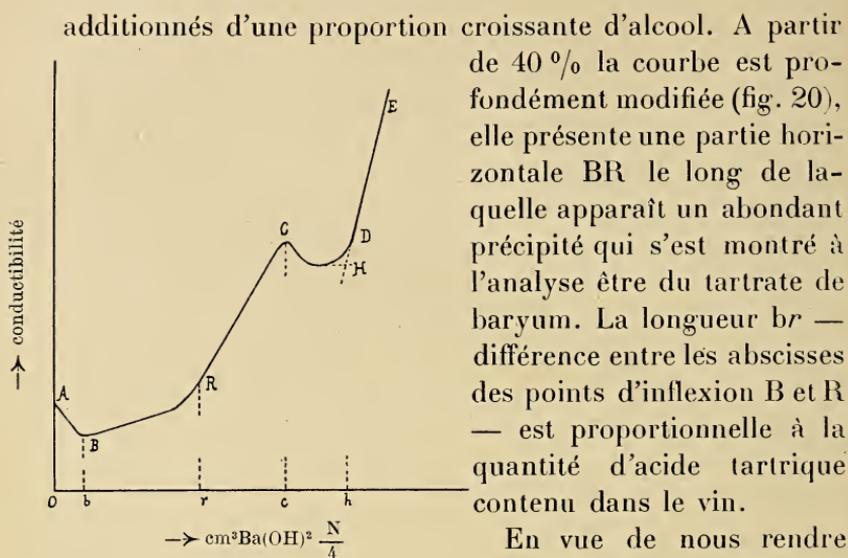


Fig. 20.

En vue de nous rendre compte de la précision de ce dosage de l'acide tartrique, nous l'avons effectué sur un vin artificiel — préparé en ajoutant à de l'eau, tous les éléments connus d'un vin naturel — renfermant par litre : 3,0 gr. d'acide tartrique, 1,01 gr. d'acide malique et 1,14 gr. d'acide succinique. La « courbe à la baryte » de ce vin, additionné d'alcool, montre que la fin de la précipitation du tartrate de baryum se traduit par une courbure ; le point d'inflexion R n'est pas exactement à la rencontre des deux droites BR et RC prolongées, mais celui indiqué sur la figure. Nous avons additionné à ce même vin artificiel des quantités croissantes d'acide tartrique et déterminé chaque fois la courbe de neutralisation par la baryte. Les résultats ont été les suivants :

	Sulfates, en gr. ‰ K_2SO_4 .		Acide tartrique, en gr. ‰.	
	Conductibilité.		Conductibilité.	
	Observé.		Observé.	Théorique.
Vin	0.90		3.10	3.00
Vin + 1,87 ‰ acide tartrique	0.92		4.60	4.87
Vin + 2.65 ‰ » »	0.91		5.40	5.65

La concordance des chiffres est satisfaisante et parle en

faveur de ce mode opératoire si simple, qui donne simultanément les quatre dosages : sulfates, acide tartrique, acidité forte et acidité faible. Cependant, nous y avons renoncé parce que les résultats qu'il fournit ne sont pas toujours exacts en ce qui concerne l'acide tartrique.

Quand le vin contient peu de cet acide, l'inflexion R est mal marquée; lorsqu'il en contient beaucoup, elle est nette mais un peu déplacée vers la droite. Ces constatations auraient pu être prévues. La solubilité du tartrate de baryum, comme celle des malate et succinate, dépend du degré alcoolique et de l'acidité du milieu. En ajoutant de la baryte au vin, les acidités libre et réelle (concentration des ions H) diminuent progressivement. Si l'acide tartrique ne constitue donc qu'une faible partie de l'acidité totale, la fin de la précipitation du tartrate de baryum s'effectuera en milieu encore fortement acide, dans lequel le précipité est partiellement soluble. La courbe de précipitation prend alors la forme que la théorie fait prévoir (p. 147); l'inflexion est peu nette.

Si, au contraire, l'acide tartrique forme la plus grande part de l'acidité libre, la fin de la précipitation se fait en milieu très peu acide dans lequel le malate de baryum est moins soluble et précipite partiellement avec le tartrate.

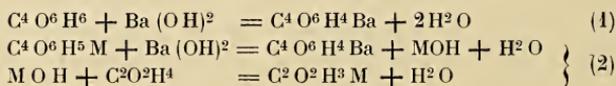
Pour obtenir un dosage rigoureux de l'acide tartrique, il faut absolument que le degré alcoolique et surtout l'acidité du milieu restent constants pendant toute la titration. On y arrive en choisissant un sel de baryum d'acide très faible comme réactif ou, plus simplement, en additionnant le vin d'un énorme excès d'acide acétique qui maintiendra l'acidité constante, même lorsqu'on titre par la baryte. La recherche des meilleures conditions de milieu pour la précipitation exclusive du tartrate de baryum nous a pris beaucoup de temps.

En ajoutant au vin 3 fois son volume d'alcool, 5 % d'acide acétique glacial et un peu d'ammoniaque, la quantité

de baryte $\frac{N}{4}$ nécessaire à la précipitation de l'acide tartrique ne modifie pas l'acidité du milieu et les malate et succinate de Ba restent solubles. Les sulfates et une partie des phosphates précipitent cependant dans ces conditions. On éliminera donc préalablement les phosphates par addition d'une petite quantité d'acétate d'uranyle, et on décomptera la baryte transformée en sulfate.

Le rôle que semble jouer l'ammoniaque dans ces titrations est double. D'une part, cet alcali forme avec l'acide acétique de l'acétate d'ammoniaque dont la présence diminue la dissociation de l'acide acétique (Ici des ions communs). La formation de l'acétate de baryum qui accompagne l'addition de baryte au vin augmentera seulement la concentration des ions $C^2 H^3 O^2$, qui préexistaient, et par conséquent ne modifiera guère la dissociation de l'acide acétique. En l'absence d'ammoniaque, au contraire, les ions $C^2 H^3 O^2$ diminueraient beaucoup la dissociation de l'acide acétique et par conséquent l'acidité du milieu.

D'autre part, l'acide tartrique se trouve dans le vin, en partie à l'état libre, en partie à l'état combiné. La précipitation du tartrate de baryum s'effectue donc suivant les deux réactions :



L'addition au vin d'ammoniaque a aussi pour but de diminuer la quantité d'acide tartrique libre et par conséquent de favoriser la réaction (2).

Lorsqu'on effectue la titration par conductibilités, il est préférable, pour l'obtention d'une courbe régulière, que la précipitation du tartrate de baryum se fasse autant que possible suivant une seule réaction.

La courbe de précipitation a la forme ci-contre (fig. 21).

L'abscisse du point d'inflexion B ou B' donne la somme des acides sulfurique + tartrique contenus dans le vin.

Ce qui distingue nettement cette courbe de celle de la figure 20, c'est l'absence de l'inflexion due aux sulfates. En effet, la précipitation du tartrate de baryum dans un milieu aussi riche en alcool, commence dès la première addition de réactif et se poursuit simultanément avec celle du sulfate de baryum. Une autre particularité de la courbe ABC est l'absence

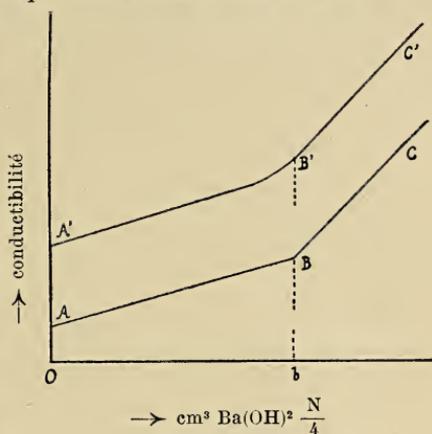


Fig. 21.

presque totale de la courbure au point d'inflexion B. Ce point est, d'une manière générale, fixé très nettement par la rencontre des deux droites AB et BC. Il peut cependant arriver qu'au voisinage de l'inflexion un point représentatif se trouve en dehors des droites. La fin de la réaction correspond alors au point B' (courbe A' B' C') qui termine la courbure.

L'abscisse du point d'inflexion (B ou B') correspond, comme nous l'avons dit, à la somme des acides sulfurique et tartrique du vin. On obtient la part afférente à l'acide tartrique en retranchant la quantité de baryte ayant servi à précipiter les sulfates, quantité qui est donnée par la courbe de neutralisation à la baryte (p. 214).

La précision de ce dosage de l'acide tartrique ne pouvait être établie par comparaison avec les analyses chimiques, beaucoup moins exactes. Nous l'avons fixée : 1° en titrant des vins artificiels à teneur d'acide tartrique exactement connue, 2° en ajoutant à des vins naturels de l'acide tartrique que l'on retrouve ensuite par la titration. Nous avons fait également quelques additions d'acide malique et

succinique, soit au vin artificiel, soit à des vins naturels, pour bien nous convaincre que ces acides n'ont aucune influence sur le dosage de l'acide tartrique. Quelques résultats sont consignés ci-dessous :

	Sulfates + ac. tartr., en cm ³ N ^o / ^{oo}	Sulfates, en cm ³ N ^o / ^{oo}	Acide tartrique		
			observé		théor.
			cm ³ N ^o / ^{oo}	gr. ^o / ^{oo}	gr. ^o / ^{oo}
Vins artificiels contenant :	67.4	8.3	59.1	4.43	4.30
	51.6	10.6	41.0	3.07	3.00
	42.2	15.7	26.5	1.99	2.12
Vin rouge	29.5	5.0	24.5	1.84	1.84
» + 1,87 ^o / _{oo} ac. tartr.	53.0	5.0	48.0	3.60	3.71
» + 3,75 ^o / _{oo} »	78.7	5.0	73.7	5.53	5.59
» + (1,34 ^o / _{oo} ac. mal. } (1,10 ^o / _{oo} ac. succ.)	29.8	5.0	24.8	1.86	1.84

Enfin le tableau suivant contient quelques résultats analytiques obtenus avec des vins de provenances différentes.

	Sulfates + ac. tartr., en cm ³ N ^o / ^{oo}	Sulfates, en cm ³ N ^o / ^{oo}	Acide tartr.	
			cm ³ N ^o / ^{oo}	gr. ^o / ^{oo}
Vin blanc vaudois 1910 . .	53.1	4.8	48.3	3.62
Vin rouge vaudois 1906 . .	33.1	5.0	28.1	2.11
» » 1909 . .	29.5	5.0	24.5	1.84
» français 1909 . .	52.5	5.5	47.0	3.52
» italien 1910 . .	35.0	9.4	25.6	1.92
» » » . .	64.2	14.6	49.6	3.73
» » » . .	48.9	8.2	40.7	3.05
» grec 1910 . .	52.5	19.3	33.2	2.49

La conclusion que nous croyons être en droit de tirer de toutes ces expériences est que la détermination de l'acide tartrique dans les vins, par la méthode des conductibilités électriques, présente sur les dosages chimiques similaires le triple avantage de la constance des résultats, de l'exactitude et de la rapidité.

Lorsqu'on effectue plusieurs fois la même opération, les chiffres obtenus sont toujours constants à quelques pour

cent près. L'erreur qu'on peut commettre sur le dosage de l'acide tartrique est inférieure à 0,15 gr. par litre. Enfin la titration complète demande à peine 10 à 15 minutes.

Acides malique et succinique.

Les acides organiques du vin comptent parmi les éléments que l'analyse chimique ne permet pas de doser avec précision. L'acide lactique seul fait exception et peut être déterminé avec une exactitude suffisante par la méthode de Möslinger¹ basée sur la solubilité du lactate de baryum dans l'alcool. Par contre, il n'existe encore aujourd'hui aucune méthode sûre et rapide pour doser les acides malique et succinique.

On sait que la proportion des différents acides varie suivant les fermentations, et il paraît établi qu'il existe entre eux et d'autres éléments du vin des relations, échappant pour le moment à l'analyse, dont la connaissance serait pourtant des plus utiles aux chimistes.

Il peut être intéressant de rappeler ici brièvement les principales méthodes proposées pour le dosage des acides malique et succinique du vin.

M. Jørgensen² sépare tout d'abord l'acide tartrique en le précipitant sous la forme de bitartrate de potassium ; il dose l'acide succinique en l'extrayant par l'éther et l'acide malique en le précipitant à l'état de malate de baryum dans l'alcool. M. Kunz³ précipite les acides tartrique, malique et succinique par un sel de baryum en présence d'alcool ; il détruit les acides malique et tartrique par le permanganate de potassium et détermine l'acide succinique comme sel d'argent. Cet auteur dose l'acide malique en le

¹ *Zeitschr. f. Unters. d. Nahr.-u. Genussmittel*, 4, 1123, (1901).

² *Zeitschr. f. Unters. d. Nahr.-u. Genussmittel*, 13, 241, (1907).

³ *Zeitschr. f. Unters. d. Nahr.-u. Genussmittel*, 6, 721, (1903).

transformant en acide fumarique. On peut, d'après v. der Heide et H. Steiner¹, déterminer la somme des acides malique et succinique par élimination de l'acide tartrique sous forme de tartre, précipitation des acides malique et succinique par un sel de baryum et extraction de ces deux acides — mis en liberté par de l'acide sulfurique — par de l'éther; on dose l'acide succinique par la méthode de Kunz, légèrement modifiée par les auteurs sus-mentionnés², et obtient l'acide malique par différence. M. Pozzi-Escot³ donne une méthode de dosage de l'acide succinique par laquelle il élimine successivement les autres acides du vin, soit au moyen d'un sel de baryum ou de plomb, soit par oxydation au permanganate de potassium, précipite l'acide succinique à l'état de sel de baryum et le dose comme BaCO_3 .

D'autres auteurs tels que Rau⁴, puis Bordas, Joulin et Raczkowski⁵ ont établi des procédés de dosage de l'acide succinique dans le vin, en profitant de l'insolubilité relative du succinate d'argent. Macagno⁶ le dosait à l'état de sel de fer.

Enfin on a proposé un certain nombre de méthodes pour doser l'acide malique. MM. Girard et Lindet⁷ dosent cet acide dans le jus de raisins en se basant sur la différence de solubilité du malate de plomb à chaud et à froid. Le procédé de Denigès⁸ repose sur la transformation de l'acide malique par le KMnO_4 en acide oxalacétique et la précipitation de ce dernier par l'acétate de mercure. Citons

¹ *Zeitschr. f. Unters. d. Nahr.-u. Genussmittel*, 17, 307, 1909.

² *Zeitschr. f. Unters. d. Nahr.-u. Genussmittel*, 17, 291, (1909).

³ *C. R.*, 147, 600.

⁴ *Arch. f. Hyg.*, 14, 225; *Zeitsch. f. anal. Chem.*, 32, 482 (1898).

⁵ *Journ. de Pharm. et de Chim.*, 1898, 417.

⁶ *Zeitsch. f. anal. Chem.*, 14, 203.

⁷ *Bull. soc. chim. Fr.* 19, 385 (1889).

⁸ *C. R.*, 130, 32.

encore le procédé de Hilger⁴ qui utilise la propriété réductrice de l'acide malique à l'égard du chlorure de palladium.

Par la méthode des conductibilités le dosage des acides malique et succinique est possible, mais nous n'avons pu jusqu'ici l'obtenir que par différence de plusieurs dosages, c'est-à-dire avec une précision d'autant moins grande que les acides à déterminer existent en quantité plus faible dans le vin.

De même que, dans certaines conditions de milieu, le tartrate de baryum seul est insoluble, on peut, en augmentant la teneur en alcool et en diminuant l'acidité, insolubiliser le malate de baryum tout en maintenant le succinate en solution.

Nous avons dosé l'acide malique dans les vins artificiels — contenant tous les éléments du vin naturel qui y ont été spécifiés — en opérant de la manière suivante : On neutralise partiellement, aux $\frac{3}{4}$ environ, le vin avec de l'ammoniaque, ajoute 5 à 6 fois son volume d'alcool et titre par l'acétate de baryum N (la baryte ne convient pas dans ce cas). La courbe de précipitation, dont l'allure est toute semblable à celle de la courbe de précipitation du tartrate (fig. 21), présente un point d'inflexion à la somme sulfates + acide tartrique + acide malique, qui n'est pas déplacé par la présence de l'acide succinique. Connaissant la somme sulfates + acide tartrique, on a l'acide malique par différence.

En ce qui concerne l'acide succinique, on l'obtient — avec une série d'autres substances — en précipitant le vin, neutralisé et alcoolisé, par le nitrate d'argent. Là encore il s'agit d'un dosage par différence.

Nous préférons renvoyer à plus tard la description

⁴ *Verh. d. Vers. deutsch. Naturf. u. Aerzte*, 1899, 668; *Zeitsch. f. anal. Chem.*, 41, 770 (1902).

détaillée de nos expériences, dans l'espoir que les recherches en cours conduiront à rendre ces deux dosages aussi précis que celui de l'acide tartrique.

CHAPITRE II

Dosage de quelques éléments du vin par les courbes de saturation.

I. Acidité.

Répartition des acides et des bases du vin.

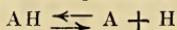
Les acides du vin y existent soit à l'état libre, soit partiellement ou même complètement neutralisés. L'analyse chimique directe ne permet pas de déterminer la part de chaque acide qui est neutralisée ¹, tandis que le calcul des équilibres entre acides et bases pourrait conduire à ce résultat.

Les lois qui sont à la base du calcul sont celle de la dissociation électrolytique des acides et celle des équilibres entre électrolytes ².

Les constantes de dissociation ou d'affinité K des prin-

¹ Les différentes méthodes proposées dans ce but (dosage de l'acide tartrique libre, des acides minéraux libres, etc.) ne peuvent être exactes d'après les notions théoriques actuelles.

² Rappelons qu'un acide monobasique AH se dissocie suivant l'équation



c'est-à-dire met en liberté des ions acides A (radical de l'acide, chargé négativement) et des ions H . Appelant C la concentration totale de l'acide, en molécule gr. par litre, C_{AH} celle de l'acide non dissocié, C_A celle de l'ion acide et C_H celle de l'ion H , l'application des lois d'équilibre en milieu homogène à la réaction précédente conduit à

$$\frac{C_A \cdot C_H}{C_{AH}} = K = \text{constante de dissociation.}$$

Si l'acide existe seul en solution, on a par définition

$$C = C_{AH} + C_A \quad \text{et} \quad C_A = C_H$$

cipaux acides organiques, contenus normalement dans les vins, ont été fixées par différents auteurs et sont parfaitement déterminées. Il n'en est pas tout à fait de même des constantes de dissociation des sels acides ¹.

Le tableau suivant contient ces valeurs d'après Ostwald et R. Wegscheider ².

ACIDES	K	SELS ACIDES	K
Tartrique . .	970.10 ⁻⁶	Tartrate acide . .	45.10 ⁻⁶
Malique . .	395 »	Malate acide . .	7,5 »
Succinique . .	66,5 »	Succinate acide . .	?
Lactique . .	138 »		
Acétique . .	18 »		
Tannique ³ . .	9 »		

La répartition des alcalis du vin (K²O, Na²O, CaO, MgO, etc.) sur les acides s'effectue suivant la loi générale : la saturation des acides par les bases est proportionnelle à leur degré de dissociation et, par conséquent, à \sqrt{K} .

Les acides chlorhydrique et sulfurique, beaucoup plus forts que les acides organiques, sont entièrement neutralisés et se trouvent toujours à l'état de chlorures et de sulfates. L'acide phosphorique est un acide monobasique très fort, tandis que la dissociation des deux derniers H substituables est excessivement faible ; il existera donc à l'état de phosphate primaire dans le vin. L'acide sulfureux, lui aussi,

¹ On sait que la dissociation des acides bibasiques, du type AH^2 , s'effectue suivant les deux réactions



dont la première correspond à la dissociation de l'acide considéré comme monobasique.

La constante de dissociation $K_1 = \frac{C_{AH} \cdot C_H}{C_{AH^2}}$ est toujours facile à déterminer, tandis que la constante $K_2 = \frac{C_A \cdot C_H}{C_{AH}}$ s'obtient avec moins de précision à partir d'expériences plus sujettes à caution.

² *Wiener Monatshefte*, 23, 599-668, (1902).

³ Acide tannique de l'écorce de chêne, qui n'est probablement pas identique à l'acide œnotannique du vin.

est un acide monobasique fort ; il se trouvera à l'état de sulfite acide.

La répartition des alcalis sur les acides organiques du vin est moins simple ; il ne semble même pas qu'un calcul rigoureux soit possible, étant donnée la complexité du milieu. Cependant, on obtiendra une première approximation par la méthode suivante qui nécessite la connaissance de la concentration des ions H dans le vin.

Appelons, comme précédemment, C la concentration moléculaire totale d'un acide quelconque du vin, C_{AH} la concentration de la partie non dissociée de cet acide, C_A celle des ions acides et C_H celle des ions H. Par définition

$$1) \quad C = C_{AH} + C_A$$

C est donné par l'analyse, C_H par un des procédés mentionnés dans le paragraphe suivant.

La concentration des ions acides C_A comprend les ions qui proviennent de la dissociation de l'acide AH et ceux qui proviennent de la dissociation du sel MA, formé par réaction entre l'acide et un alcali MOH du vin. Supposons d'abord, pour simplifier, que le sel MA soit dissocié de 90% ce qui se rapproche beaucoup de la réalité. Nous pourrions donc poser

$$2) \quad C_A = C'_A + 0,9 C_s$$

en appelant C'_A la concentration des ions A provenant de la dissociation de l'acide et C_s la concentration du sel MA.

L'équation d'équilibre

$$\frac{C_A \cdot C_H}{C_{AH}} = K$$

devient, en remplaçant C_{AH} et C_A par leurs valeurs tirées de 1) et de 2)

$$(C'_A + 0,9 C_s) C_H = K (C - C'_A - 0,9 C_s)$$

Tirant la valeur de C_s

$$3) \quad C_s = \left[\frac{KC}{C_H + K} - C'_A \right] 1,1$$

et remarquant que

$$C_n > C'_A > 0$$

on a

$$4) \quad 1,1 \frac{KC}{C_n + K} > C_s > \left[\frac{KC}{C_n + K} - C_n \right] 1,1$$

La formule 4) permettra de calculer une limite supérieure et une limite inférieure de la concentration du sel formé par la neutralisation partielle de l'acide considéré.

Exemple. Un vin contient 3,5 gr. d'acide tartrique total par litre ($C = 0,0233$ mole), sa concentration en ions H est 0,00042 gr.; la concentration moléculaire du tartrate acide sera $> 0,0173$ et $< 0,0178$, c'est-à-dire que le 74-76 % de l'acide se trouve à l'état de tartrate acide, tandis que le 24-26 % sera à l'état libre.

Les calculs qui précèdent ne sont pas absolument rigoureux; il aurait fallu tenir compte: 1° de la neutralisation des sels acides des acides bibasiques, 2° du fait que la constante de dissociation des acides n'est pas exactement la même dans l'eau pure que dans une liqueur alcoolique comme le vin¹, 3° du fait que les sels ne sont pas exactement dissociés de 90 % aux concentrations auxquelles ils se trouvent dans le vin. Les corrections que l'on introduit en tenant compte de ces divers facteurs sont du reste peu importantes et ne changent pas l'ordre de grandeur des résultats.

M. Quartaroli² et plus tard MM. v. der Heide et Baragiola³ ont calculé la répartition des alcalis sur les acides du vin par une formule théoriquement plus précise, mais qui suppose la connaissance préalable de la concentration moléculaire de toutes les bases combinées aux acides organiques du vin. Nous montrerons plus loin que l'alcalinité des cendres ne constitue qu'une fraction, importante il est

¹ Goldewski, *Journ. Chim.-Phys.*, 3, 428.

² *Staz. Sperim. agrar. ital.*, 1997, 40, 321.

³ *Landwirtschaftliche Jahrbücher*, 1910, 1058.

vrai, des bases combinées, le reste étant formé par des bases organiques. Tout calcul de répartition qui ne tient compte que des alcalis minéraux fournit donc des résultats inexacts.

Un autre inconvénient du mode de calcul adopté par ces auteurs est de nécessiter le dosage isolé de tous les acides du vin, même lorsqu'on se propose seulement de calculer la fraction neutralisée d'un seul acide. Les erreurs provenant des variations de la constante d'affinité des acides bibasiques restent les mêmes dans les deux procédés de calcul ¹.

Concentration des ions H (Acidité réelle, degré d'acidité).

On sait que diverses méthodes, dont quelques-unes sont classiques, permettent de déterminer expérimentalement

¹ Dans leur publication, MM. v. der Heide et Baragiola ont calculé la répartition des bases sur les acides d'un vin dont ils possédaient l'analyse complète. Ce vin renfermait :

Acide tartrique	3.00 gr. par litre.
» malique	0.82 » »
» succinique	0.61 » »
» lactique	4.44 » »
» acétique	0.45 » »

$C_H = 0.00077$ ion gr. par litre.

Partant de ces données, nous avons calculé à nouveau, par notre formule, les quantités d'acides organiques libres et combinés, en comparant les valeurs obtenues avec celles de MM. v. der Heide et Baragiola.

I. = valeurs calculées par la formule 4).

II. = » » » MM. v. der Heide et Baragiola.
Millimoles par litre.

	Total.	Combiné (C_s)		Libre.	
		I	II	I	II
Acide tartrique .	20.0	12.4-11.5	11.4	8.5- 7.6	8.6
» malique .	6.1	2.3- 1.4	2.14	4.7- 3.8	3.96
» succinique.	5.2	< 0.46	0.43	> 4.74	4.77
» lactique. .	46.0	7.8-6.9	7.26	39.1-38,2	38.74
» acétique .	7.5	< 0.19	0.18	> 7.31	7.32

On remarquera que pour les acides organiques forts ou concentrés — acides tartrique et lactique — la formule 4) permet de calculer, à quelques pour cent près, la proportion de ces acides qui est neutralisée. Appliquée aux acides plus

avec une grande précision la concentration C_H des ions H dans un liquide. Cette détermination offre un certain intérêt dans le cas des vins, puisqu'elle permet d'effectuer un calcul approximatif de la répartition des alcalis sur les acides. D'autre part, plusieurs observateurs — chimistes ou physiologues — ont établi que le goût ou saveur acide dépend principalement de la concentration en ions H. Cette constante physique devient ainsi une mesure de la saveur acide qu'il peut être intéressant d'exprimer par un chiffre.

Les expressions « acidité réelle » ou « degré d'acidité » ont été employées, dans le cas des vins seulement, pour remplacer l'expression « concentration des ions H » tout en ayant exactement la même signification.

faibles ou plus dilués — acides malique, succinique et acétique — la formule conduit à des résultats moins précis.

Nous avons cherché à simplifier les calculs en admettant — ce qui est logique — que C'_A se rapproche d'autant plus de C_H que l'acide considéré est plus fort. Tenant compte de la concentration réciproque et de la force des acides organiques du vin, nous pouvons poser très approximativement et pour tous les vins :

$$C'_A =$$

Acide tartrique . .	0.5	C_H
» malique . .	0.1	»
» succinique . .	0.02	»
» lactique . .	0.35	»
» acétique . .	0.01	»

La formule 3) permet alors de calculer la quantité d'acides libres et combinés :

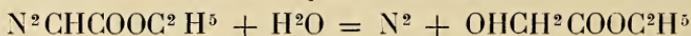
	Milimoles par litre.				
	Total.	Combiné (C_S).		Libre.	
		I	II	I	II
Acide tartrique . .	20.0	11.8	11.4	8.1	8.6
» malique . .	6.1	2.19	2.14	3.91	3.96
» succinique . .	5.2	0.44	0.43	4.78	4.77
» lactique . .	46.0	7.4	7.26	38.6	38.74
» acétique . .	7.5	0.18	0.18	7.32	7.32

La comparaison des chiffres montre que les deux modes de calculs fournissent des résultats concordants. Les valeurs de C_S obtenues par MM. v. der Heide et Baragiola sont légèrement plus faibles que les nôtres, ce qui s'explique par le fait que ces auteurs n'ont pas tenu compte des bases organiques du vin qui augmentent sensiblement la concentration des sels organiques.

MM. Paul et Günther ¹ ont, les premiers semble-t-il, déterminé la concentration des ions H dans un grand nombre de vins, par la méthode de l'inversion du sucre, dont l'inconvénient est d'exiger : 1° la stérilisation du vin, à cause des invertines qui catalysent l'inversion comme le font les ions H, 2° une température d'expérience assez élevée (76° environ). Il n'est pas certain que ces opérations ne modifient pas légèrement le degré d'acidité des vins.

Peu après les belles recherches de MM. Paul et Günther nous avons appliqué la nouvelle méthode de Bredig et Fränkel ² à l'étude du vin.

Ces auteurs ont établi que la réaction



est catalysée par les ions H à un plus haut degré que les réactions classiques — inversion du sucre et saponification de l'acétate de méthyle — et que la vitesse de la réaction, dans un milieu donné, est proportionnelle à la concentration des ions H dans ce milieu. Les vins accélèrent la vitesse de la réaction suffisamment pour que l'opération puisse être conduite à la température ordinaire; il n'est pas non plus besoin de stériliser ³.

La détermination de la concentration des ions H dans le vin par la méthode de Bredig et Fränkel est un dosage des plus rigoureux. En répétant l'expérience à plusieurs reprises, les chiffres obtenus ne diffèrent pas d'un pour cent.

Voici, à titre d'exemple, le détail d'une opération :

a est le volume d'azote dégagé après réaction totale.

x » » » » le temps t .

K est la constante de vitesse de la réaction $\left(= \frac{dx}{dt} \frac{1}{a-x} \right)$

¹ *Arb. a. d. k. Gesundheitsamte.*, 23, 189; 29, 218.

² *Chemische Kinetik des Diazoessigesters und ihre Anwendungen.* Heidelberg, 1907.

³ Dutoit et Duboux, *Journ. suisse chim. et pharm.*, 1910, 133.

K_H est le facteur de proportionnalité entre la vitesse et la concentration des ions H; il est du reste variable avec la teneur du vin en alcool A, soit

$$K_H = \frac{K}{C_H} = 38.5 - 0.816 A, \text{ à } 25^\circ$$

Dézaley 1898.

Alcool 10.30 %. $K_H = 30.1$.

$a = 34.2$ $t = 25^\circ$

t	$a-x$	K
7	30.4	0.0168
15	26.7	0.0165
27	21.8	0.0166
40	17.6	0.0166
55	13.8	0.0165
79	9.3	0.0165
97	7.0	0.0164
		Moyenne 0.0165

$$C_H = \frac{0.0165}{30.1} = 0.000548$$

Il faut ajouter à cette valeur 1 % pour tenir compte de l'augmentation de volume due à l'éther diazoacétique, soit $C_H = 0,000553$ ion gr. par litre.

Si simples que soient en principe ces déterminations de la concentration des ions H, elles exigent des soins et du temps et ne peuvent être introduites telles quelles dans les laboratoires d'analyse.

Nous avons alors songé à appliquer une méthode de détermination indirecte, basée sur l'inflexion du début de la courbe de neutralisation du vin par la soude caustique. Le principe de cette méthode a déjà été donné (p. 163).

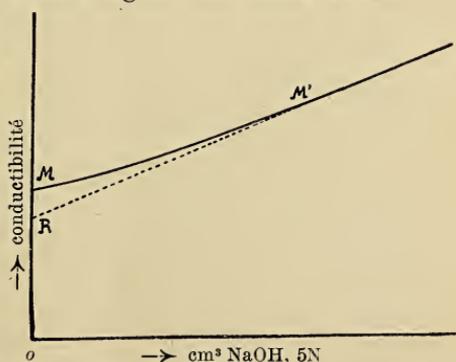


Fig. 22.

La fig. 22 reproduit, à une très grande échelle, le début

de la courbe de neutralisation d'un vin par NaOH, A partir de M' la courbe tend vers une droite et la tangente en ce point coupe l'axe des conductibilités en R. La longueur MR est inversement proportionnelle à la viscosité du vin et proportionnelle à la concentration des ions H.

Ce nouveau procédé de détermination des ions H dans le vin demande à être vérifié dans un plus grand nombre de cas et à être précisé, avant qu'on puisse l'introduire dans la pratique.

Acidité totale.

Ce que l'on est convenu d'appeler, assez improprement du reste, « acidité totale » d'un vin, c'est la concentration moléculaire des acides libres titrables par la soude (ou la potasse) et le tournesol. Cette concentration, que l'on devrait logiquement exprimer en millimoles ou en cm^3 d'acide normal, est presque toujours donnée en grammes d'acide tartrique ou sulfurique, c'est-à-dire que le nombre de cm^3 d'alcali N employé pour titrer un litre de vin est multiplié par le facteur arbitraire 0,075 ou 0,049. Nous préférons exprimer directement nos résultats en cm^3 d'acide N par litre, afin de faciliter les calculs.

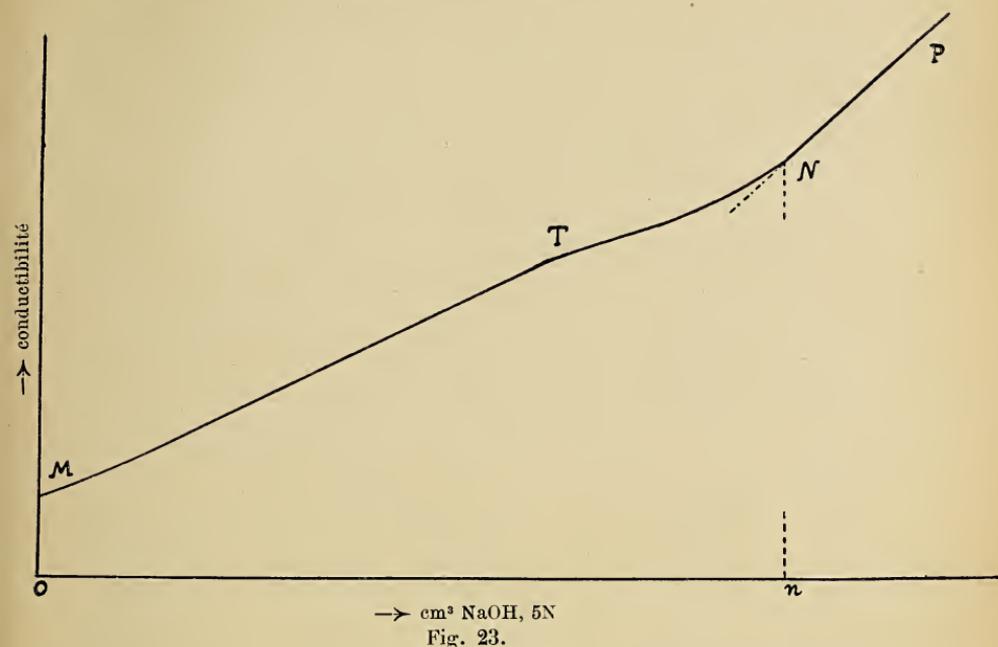
Il va sans dire que l'acidité totale, ainsi définie, ne correspond pas à la somme des acides libres et combinés existant dans le vin, mais seulement aux acides libres. Parmi les auteurs qui se sont occupés le plus récemment de cette question, MM. v. der Heide et Baragiola¹ admettent que la titration avec le tournesol fournit la concentration moléculaire des hydrogènes substituables par un métal, à une correction près due à la neutralisation incomplète des phosphates.

Nous nous proposons d'établir que, même après cette

¹ *Landwirtschaftliche Jahrbücher*, 1910, 1035.

correction, l'acidité totale d'un vin, déterminée au tournesol, ne correspond pas à l'ensemble des hydrogènes substituables et qu'un certain nombre d'acides très faibles échappent à la titration.

Cette démonstration est basée sur la courbe de neutralisation d'un vin par la soude, qui affecte toujours la forme MNP, représentée dans la figure 23. Le point



→ cm³ NaOH, 5N
Fig. 23.

d'inflexion N — qui est exactement à la rencontre de la courbure TB avec la droite BC — n'est pas extrêmement net, mais sa position peut être fixée à 2 ou 3 % près. En déterminant la courbe de neutralisation du vin additionné d'alcool (40 à 50 %) l'inflexion a lieu pour la même quantité de soude.

Le virage du tournesol, lors de la neutralisation du même vin, se produit en T, après l'addition de moins d'alcali.

Le point singulier N doit correspondre à la fin d'une réaction définie, car nous l'avons retrouvé dans les courbes de neutralisation de tous les vins qui ont été examinés ; il apparaît régulièrement après le virage du tournesol. L'excès d'alcali nécessaire pour passer du virage coloré à l'inflexion de la courbe de neutralisation est de 20 à 60 % suivant les cas.

D'après ce qui a été dit dans le chapitre des courbes de saturation et de déplacement (p. 159) la méthode des conductibilités permet de titrer des acides très faibles échappant à la titration avec le tournesol comme indicateur. L'addition d'un alcali, aussi fort que la soude, à une solution contenant des sels de bases faibles, déplace aussi les bases de leurs combinaisons et la fin du déplacement est indiquée par une inflexion.

On doit donc admettre que l'inflexion N de la courbe de neutralisation du vin par la soude se produit *après que tous les H substituables ont été saturés et que tous les sels de bases faibles ont été transformés en sels de sodium.*

Les essais suivants démontrent l'exactitude de cette règle.

Substances	Quantité ajoutée, en cm ³ N par litre	Augmentation de l'acidité titrée avec le tournesol, en cm ³ N par litre	Augmentation de l'acidité titrée avec les conductibilités, en cm ² N par litre
Acide tartrique . . .	30	30	30
» malique . . .	30	30	30
» succinique . . .	30	30	30
» lactique . . .	30	30	30
» acétique . . .	30	30	30
» citrique . . .	30	30	30
» tannique . . .	30	0	30
» carbonique . . .	30	5 à 7	30
» sulfureux . . .	30	15	30

Acide phosphorique . . .	30	13	25 ¹
Chlorure d'ammonium . . .	30	0	30
Sulfate de magnésium . . .	30	0	30
» d'aluminium . . .	30	0	30
Nitrate de manganèse . . .	30	0	30
Chlorure de potassium, sodium, calcium . . .	30	0	0

Ce tableau montre que 1° les acides forts du vin : tartrique, malique, succinique, lactique, acétique et homologues se laissent titrer par l'une et l'autre méthode; 2° les acides faibles : carbonique, phosphorique, sulfureux sont titrés partiellement avec le tournesol et complètement avec les conductibilités; 3° les tannins et autres acides organiques voisins n'influencent pas l'acidité déterminée avec le tournesol, mais sont comptés intégralement dans l'acidité déterminée par la courbe de neutralisation; 4° les sels de bases faibles : Mg, NH³, Al, Fe, Mn n'augmentent pas la quantité de soude caustique nécessaire pour faire virer le tournesol, mais déplacent le point d'inflexion B de la courbe de la quantité théorique.

Remarquons, avant d'aller plus loin, qu'il ne semble pas possible de remplacer le tournesol par un autre indicateur coloré, virant au point d'inflexion de la courbe des conductibilités. Si l'on calcule la variation de la

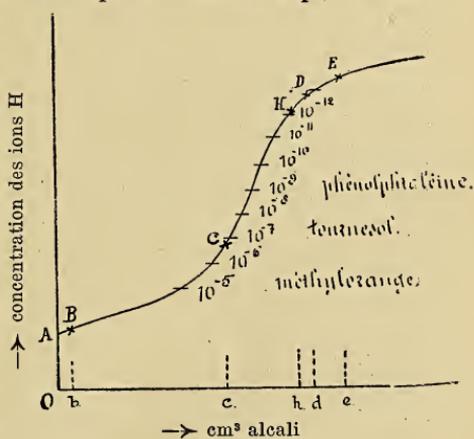


Fig. 24.

concentration des ions H pendant la neutralisation — à

1. On ne dose, par la courbe à la soude, que les 5/6 environ de l'acide phosphorique. Voir p. 218.

partir des différences de potentiel à une électrode d'hydrogène plongeant dans le vin — on obtient les résultats exprimés graphiquement dans la fig. 24. On sait qu'un indicateur coloré donne des indications précises lorsque la concentration des ions H diminue beaucoup pour une faible addition d'alcali. Ces conditions sont approximativement remplies lors du virage du tournesol à $C_{\text{H}}=10^{-7}$, elles ne le sont pas au point de fin de réaction indiqué par les conductibilités : $C_{\text{H}}=10^{-12}$ environ.

Quelques définitions.

Nous appellerons dorénavant *acidité forte* l'acidité titrable avec le tournesol comme indicateur, et nous réserverons l'expression d'*acidité totale* à l'acidité titrable avec les conductibilités. La différence entre l'acidité totale et l'acidité forte sera l'*acidité faible*. Tous ces dosages sont exprimés en cm^3 d'acide normal par litre.

On pourra critiquer le choix de ces expressions, étant donné surtout que la courbe de neutralisation par la soude ne donne pas seulement la concentration moléculaire globale des acides libres mais encore celle des bases faibles combinées. Toutes ces désignations pourront du reste être modifiées par la suite, lorsqu'une expérience suffisamment longue aura établi la valeur pratique des nouveaux dosages. Pour le moment, il suffit de convenir du sens exact que nous attachons aux mots acidité totale, forte et faible.

Dénominations.

Définitions.

<i>Acidité réelle</i> . . .	Concentration en ions H.
<i>Acidité totale</i> . . .	Nombre de cm^3 d'alcali N qu'il faut ajouter à un litre de vin pour provoquer une inflexion de la courbe de neutralisation par la soude.

La signification chimique de ce dosage est rigoureuse : c'est la concentration moléculaire de tous les acides libres, forts et faibles, additionnée de la concentration moléculaire des sels de bases faibles (NH^4 , MgO etc.).

Acidité forte. Nombre de cm^3 d'alcali N qu'il faut ajouter à un litre de vin pour provoquer le virage du tournesol (acidité totale des chimistes).

C'est un chiffre conventionnel, sans signification chimique précise, indiquant la concentration moléculaire de tous les acides libres forts du vin et d'une partie des acides faibles (la partie qui est neutralisée dans les conditions de l'expérience).

Acidité faible Acidité totale — Acidité forte.

C'est la concentration moléculaire des acides faibles qui existent encore dans le vin lorsqu'il est amené au point de virage du tournesol, et la concentration moléculaire des bases faibles. Comme nous le démontrerons plus loin, l'acidité faible des vins comprend : 1^o acides inorganiques faibles, 2^o acides organiques faibles, 3^o bases inorganiques faibles, 4^o bases organiques faibles. L'analyse chimique permet de déterminer les acides et bases inorganiques faibles, tandis qu'il semble difficile

de déterminer séparément les acides et bases organiques faibles.

Acidité organique faible Acidité faible diminuée des acides et bases inorganiques faibles.

C'est la concentration moléculaire de l'ensemble des acides et bases organiques faibles.

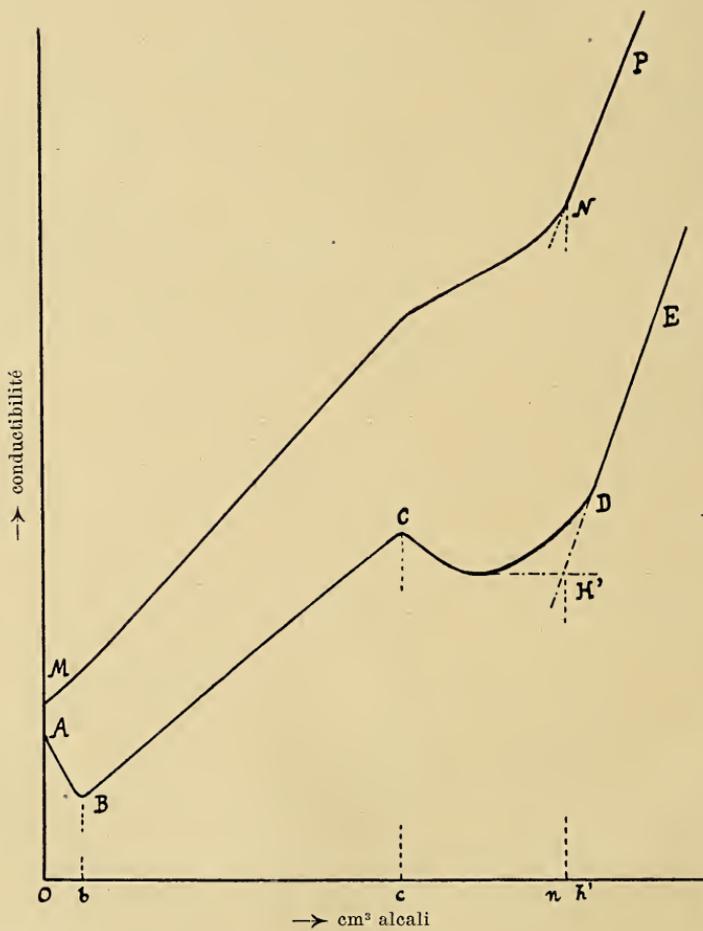


Fig. 25.

*Détermination simultanée des acidités totale,
forte et faible par la baryte.*

Tandis que la courbe de neutralisation du vin par la soude est régulièrement formée de deux branches rectilignes, la courbe de neutralisation par la baryte est plus compliquée. Cela provient en premier lieu de ce que la baryte forme, avec quelques éléments du vin, des combinaisons insolubles qui ne précipitent pas simultanément.

On sait que l'allure générale de la courbe à la baryte 0,25 N est celle de la fig. 25 (courbe ABCDE), qu'elle varie d'un vin à l'autre, mais possède toujours un premier maximum C et une deuxième partie DE sensiblement droite.

Nous avons mentionné, à plusieurs reprises¹, que le point C correspond au virage du tournesol. Des vérifications récentes faites dans différents laboratoires ont confirmé ce fait. Les valeurs de l'acidité forte, déterminées par la courbe à la baryte (abscisse Oc) ou par neutralisation à la soude avec le tournesol, sont presque toujours identiques :

Acidité forte, en cm ³ d'acide N par litre		Ecart	Acidité forte, en cm ³ d'acide N par litre		Ecart
chimique	conduc- tibilité		chimique	conduc- tibilité	
56.0	56.5	+ 0.5	80.0	80.0	0.0
56.8	55.0	- 1.8	80.0	80.0	0.0
64.0	60.6	- 3.4	82.9	84.8	+ 1.9
70.0	69.0	- 1.0	84.1	85.3	+ 1.2
76.8	77.0	+ 0.2	84.8	85.2	+ 0.4
77.0	75.0	- 2.0	84.9	84.9	0.0
78.0	77.0	- 1.0	86.0	87.0	+ 1.0
82.5	84.5	+ 2.0	88.0	87.8	- 0.2
91.0	92.5	+ 1.5	91.0	91.5	+ 0.5

¹ Dutoit et Duboux, *Journal suisse de Chimie et de Pharm.*, 1908, 675; *Bull. Soc. vaud. sc. nat.*, XLV, 423.

102.6	102.4	— 0.2	93.1	90.0	— 3.1
68.8 ¹	71.0	+ 2.2	94.0	95.0	+ 1.0
69.2	69.1	— 0.1	94.0	94.9	+ 0.9
69.5	70.0	+ 0.5	102.5	104.7	+ 2.2
70.0	70.0	0.0	104.2	104.7	+ 0.5
70.1	70.0	— 0.1	107.0	110.0	+ 3.0
73.0	72.5	— 0.5	110.3	107.4	— 2.9
74.0	77.5	+ 3.5	121.0	125.0	+ 4.0
74.5	72.5	— 2.0	132.0	140.0	+ 8.0
76.0	80.0	+ 4.0	136.5	135.0	— 1.5
78.7	74.8	— 3.9	189.7	190.0	+ 0.3

Dans quelques cas, très rares, il peut y avoir une discordance due à une proportion anormale d'acides carbonique, sulfureux, citrique ou de phosphates dans le vin (voir p. 221).

L'interprétation de la dernière partie de la courbe C D E est moins aisée. Lorsqu'on compare les courbes à la soude et à la baryte, relatives à de mêmes vins et construites à la même échelle des abscisses, on remarque que le point d'inflexion N de la courbe à la soude ne correspond pas exactement au dernier point d'inflexion D de la courbe à la baryte; il apparaît toujours après l'addition d'une quantité un peu plus faible d'alcali. Cette constatation, que nous avons faite dès le début de nos recherches², nous a induit en erreur et conduit à publier une interprétation de l'abscisse *c d* qu'il y a lieu de rectifier. Nous avons admis que, de C en D, la baryte précipite les matières tannantes du vin et que la longueur CH est une mesure de la concentration de ces substances dans le vin³.

En réalité, le point H' de la courbe à la baryte — à la rencontre de la droite D E prolongée et d'une parallèle

¹ Les analyses suivantes ont été effectuées au laboratoire du Service sanitaire fédéral, à Berne.

² Duboux, Thèse, Lausanne, 1908, 40.

³ Dutoit et Duboux, *Journal suisse de chimie et pharm.*, 1908, 690.

menée depuis le minimum de la courbe — a exactement la même signification que le point N de la courbe à la soude, c'est-à-dire qu'il apparaît après la neutralisation de tous les acides du vin et la mise en liberté de toutes les bases faibles combinées. Il est déplacé vers la droite par suite de réactions secondaires que nous allons spécifier.

Ce que nous avons appelé *matières tannantes*, jusqu'en 1909, était donc, à peu de chose près, l'acidité faible. Remarquons cependant que la majeure partie de l'acidité faible—plus des deux tiers souvent chez les vins rouges—est formée par des acides organiques à gros poids moléculaire, les œnotanins, auxquels la désignation de matières tannantes convenait parfaitement.

Deux réactions tendent à déplacer le point H' vers la droite. L'une est la carbonatation de la baryte pendant la titration, lorsque celle-ci dure longtemps; l'autre est la précipitation lente de combinaisons organiques de baryum. Alors que jusqu'au point C la conductibilité prend de suite sa valeur après chaque addition de réactif, elle diminue avec le temps entre C et D et surtout dans le voisinage de D. Il faut donc convenir, une fois pour toutes, d'un mode opératoire, et nous avons choisi celui qui consiste à ajouter la baryte par deux cm^3 à la fois en opérant rapidement.

Dans ces conditions, les courbes obtenues par différents observateurs se superposent assez exactement. Il faut aussi choisir le point final de telle manière que le dosage de l'acidité faible par la baryte soit identique au dosage par la soude.

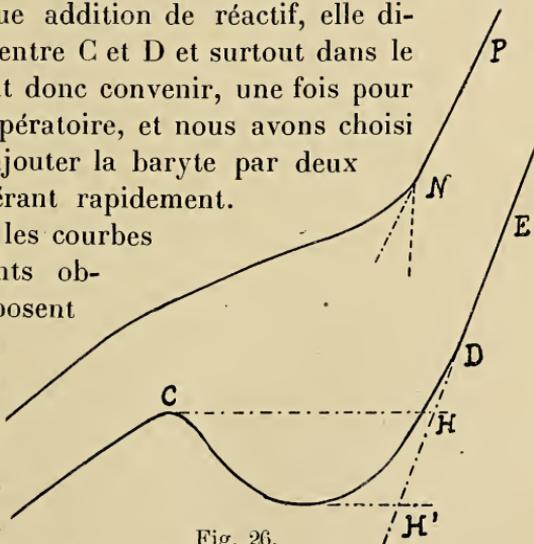


Fig. 26.

La fig. 26 reproduit à une grande échelle la dernière

partie C D E d'une courbe de neutralisation, obtenue en titrant rapidement. La position du point D est difficile à fixer avec une grande précision; on obtiendra en revanche avec toute la rigueur voulue celle des points H ou H'. Le point H est à la rencontre de DE prolongée et d'une parallèle à l'axe des abscisses tracée depuis C.

Nous avons proposé, au début de nos recherches, de choisir le point H comme point final de la neutralisation, mais, en comparant les courbes à la soude et à la baryte d'un grand nombre de vins, nous avons dû constater que le point final de la soude correspond toujours à H' et non pas à H¹. Nous calculerons donc, dorénavant, l'acidité faible d'un vin à partir de l'abscisse ch'.

Le tableau suivant contient quelques résultats comparatifs obtenus en titrant le vin par la soude et par la baryte.

Acidité totale, en cm ³ N par litre		Ecart
soude	baryte	
144.0	144.0	0.0
135.2	134.0	1.2
124.0	126.2	2.2
152.0	149.0	3.0
107.5	111.5	4.0
128.0	130.0	2.0
170.5	175.0	4.5
122.1	121.0	1.1

La concordance des chiffres est bonne et montre que

¹ Il y a cependant un cas où les courbes à la baryte et à la soude ne fournissent pas des résultats concordants, c'est lorsque le vin renferme une quantité anormalement forte de phosphates minéraux. Ceux-ci sont précipités intégralement par la baryte et déplacent le point H' vers la droite de la quantité théorique. Lors des titrations par la soude, au contraire, l'inflexion ne se produit pas après saturation complète, mais après que les $\frac{5}{6}$ environ de l'acide phosphorique est neutralisé. Cela explique les résultats un peu trop faibles obtenus quelquefois en titrant l'acidité par la soude. Cette observation est du reste sans grande importance pratique.

l'on peut déterminer l'acidité totale d'un vin aussi bien avec la soude qu'avec la baryte.

*Répartition des éléments du vin
dans l'acidité forte et l'acidité faible.*

Cette étude a été faite 1^o en ajoutant au vin une quantité connue d'acide ou de sel et en notant le déplacement des points C et H' de la courbe de neutralisation à la baryte, 2^o en opérant les mêmes additions à un vin artificiel de composition connue. Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Substances.	Quantité ajoutée, en cm ³ N par litre	Augmentat. de l'acidité		Augmentation d. l'acidité faible, en cm ³ N p. litre
		forte, en cm ³ N par litre	à la courbe	
		au tournesol		
Acide tartrique	30	30	30	0
» malique	30	30	30	0
» succinique	30	30	30	0
» lactique	30	30	30	0
» acétique	30	30	30	0
» citrique	30	30	8	0
» tannique	30	0	0	30
» carbonique	30	5 à 7	(5)	23 à 25
» sulfureux	30	15	(15)	15
» phosphorique	30	13	10	17
Phosphate de potassium				
primaire	30	3	0	17
secondaire	30	-7	-10	17
tertiaire	30	-17	-20	17
Chlorure d'ammonium	30	0	0	30
Sulfate de magnésium	30	0	0	30
Sulfate d'aluminium	30	0	0	30
Nitrate de manganèse	30	0	0	30
Chlorure de potassium, sodium, calcium	30	0	0	0

a) Les acides tartrique, malique, succinique, lactique et acétique sont entièrement comptés dans l'acidité forte. C'est normal, car on sait que tous ces acides se laissent titrer exactement avec le tournesol comme indicateur.

b) L'acide tannique est entièrement compté dans l'acidité faible. Ce résultat est inattendu. En effet, le tanin de

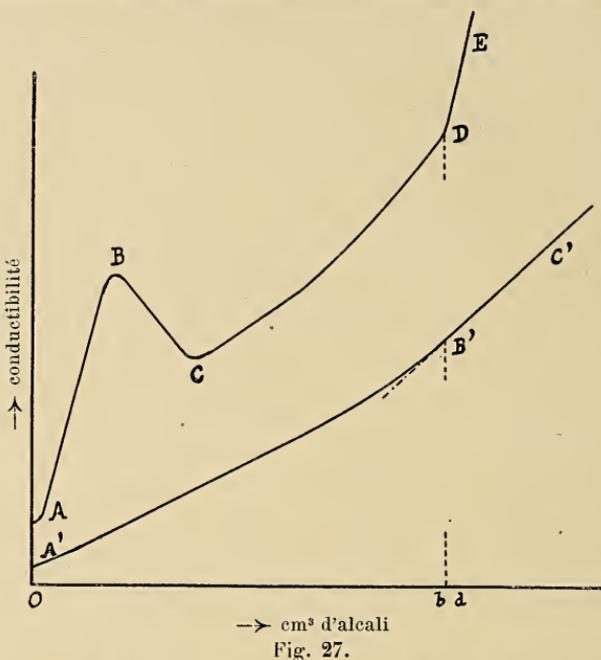


Fig. 27.

chêne purifié est un acide dont la force n'est pas négligeable ; sa constante d'affinité est de 0,000 009 ; ses solutions colorent le tournesol en rouge et il faut une quantité notable d'alcali pour amener la teinte bleue. La courbe de neutralisation du tanin par la baryte a une allure caractéristique (fig. 27) ; le virage du tournesol se produit en B, après addition du 20 % de l'alcali nécessaire à la saturation complète¹. Au point neutre B, le tannate de baryum

¹ La courbe A'B'C' de la fig. 27, construite à une autre échelle des ordonnées, représente la neutralisation de l'acide tannique par la potasse. La fin de la saturation est indiquée par une inflexion B' correspondant à l'inflexion D de la courbe à la baryte. D'après ces données, une solution normale d'acide tannique renferme par litre 128 gr. de cette substance.

commence à flocculer, d'où la diminution de conductibilité.

Le même tanin qui, lorsqu'il existe seul en solution, exige une quantité appréciable d'alcali pour devenir neutre, se comporte comme un acide excessivement faible quand il est additionné au vin : il n'augmente plus l'acidité forte. Tout se passe comme si le tanin se combinait avec les éléments du vin pour former un acide très faible.

c) L'acide citrique donne lieu à une anomalie. Ses trois H substituables sont titrés avec le tournesol comme indicateur et comptent dans l'acidité forte, tandis qu'un seul H est saturé avant le point C. Il en résulte que, chez un vin riche en acide citrique, l'acidité forte déterminée par les deux méthodes est différente : elle est toujours plus forte au tournesol. La différence correspond, théoriquement, aux deux tiers de l'acide citrique.

d) Les acides carbonique et sulfureux sont entièrement titrés comme acides bibasiques par la méthode des conductibilités : le déplacement du dernier point d'inflexion de la courbe à la baryte est absolument net dans les deux cas. La présence de ces corps en grande quantité modifie par contre l'allure de la courbe au voisinage du point C et rend la détermination de l'acidité forte moins précise (voir p. 225 et 226).

e) L'acide phosphorique est compté pour un des H substituables dans l'acidité forte déterminée par la courbe à la baryte, et pour les deux autres dans l'acidité faible, ce qui a lieu de surprendre. En effet, lorsqu'on titre H^3PO^4 avec le tournesol comme indicateur, le virage se produit après que les $\frac{4}{9}$ environ de l'acide sont saturés : c'est-à-dire que MH^2PO^4 est encore acide au tournesol, tandis que M^2HPO^4 est alcalin.

Il en résulte que, lorsqu'un vin contient beaucoup de phosphates, l'acidité forte déterminée au tournesol sera plus grande que celle déterminée par la courbe de neutralisation. Ces écarts sont en général insignifiants, étant

donné la faible quantité de phosphates contenus normalement dans les vins.

L'influence des orthophosphates secondaires et tertiaires s'explique naturellement, ces sels repassant dans le vin à l'état primaire, avec mise en liberté d'un ou deux équivalents d'alcali.

f) Les sels des bases faibles — NH_4 , MgO , MnO , Al_2O_3 — sont transformés en sels de baryum avec mise en liberté des bases. Lorsqu'on ajoute au vin un grand excès de sel de magnésium, il semble que la totalité de la magnésie ne soit pas déplacée, mais les $\frac{3}{4}$ seulement. Cette observation, sans importance pour l'analyse des vins, est intéressante à d'autres points de vue.

La quantité de sels d'ammoniaque, de manganèse et d'aluminium que le vin contient normalement est si minime qu'elle n'augmente pas l'acidité faible d'une quantité appréciable. Il n'en est pas de même des sels de magnésium qui existent toujours en assez grande proportion et forment une partie sensible de l'acidité faible (20 % environ).

g) L'addition au vin de sels de fer provoque un phénomène assez singulier. Il y a précipitation de phosphate ferrique en milieu acide, avant le point neutre, et diminution de l'acidité faible¹.

h) L'addition au vin de sels neutres de potassium, sodium, calcium; de glycérine, glucose, alcool, etc., ne modifie pas l'acidité totale comme c'était à prévoir.

Nous ne nous sommes pas contentés d'ajouter au vin des éléments qui y ont été spécifiés, mais nous avons aussi étudié l'influence des substances étrangères comme acide borique, phénol, sels de bases organiques faibles,

¹ Nous avons eu à examiner le cas intéressant d'un vin, conservé dans un réservoir en fer, qui avait dissout la quantité énorme de 0,3 gr. de fer par litre. Les phosphates avaient disparu ainsi qu'une partie des tanins et de l'acidité faible.

etc. Ces expériences n'offraient pas d'autre intérêt que de prouver que seuls les acides faibles et les sels de bases faibles sont comptés dans l'acidité totale et forment ce que nous avons appelé l'acidité faible.

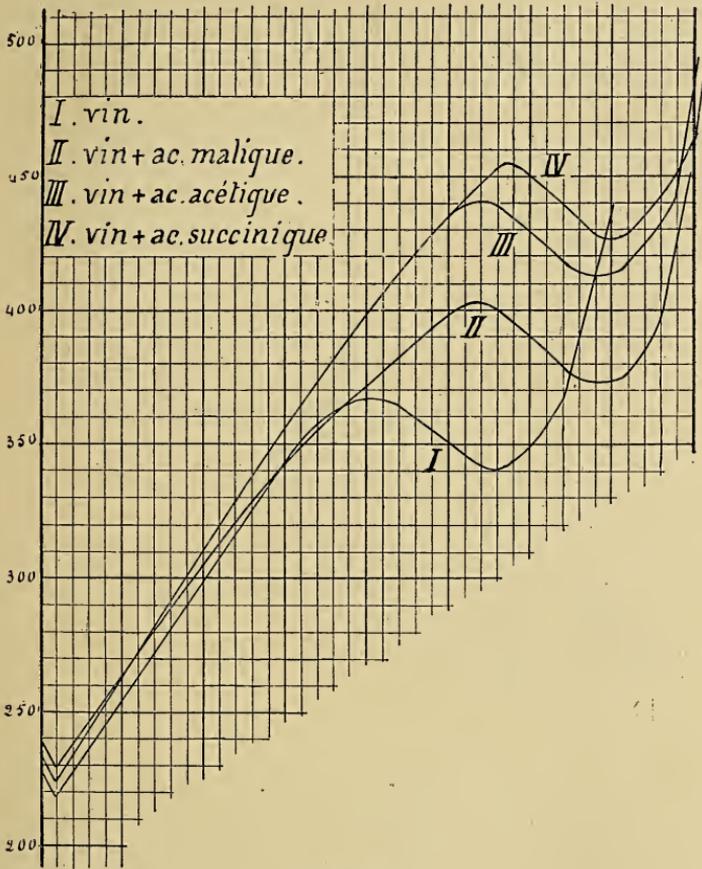


Fig. 28.

Influence des divers éléments du vin sur la forme de la courbe de neutralisation par la baryte.

Les mêmes substances qui modifient l'acidité forte ou faible influencent aussi la forme de la courbe de neutralisa-

tion. Lorsqu'on connaît les déformations provoquées par un excès de l'un ou de l'autre des composants du vin, la courbe à la baryte donne, en plus des dosages rigoureux déjà mentionnés, des renseignements qualitatifs sur la composition du vin. C'est pour cette raison qu'il nous a paru intéressant de reproduire quelques-unes des courbes les plus caractéristiques.

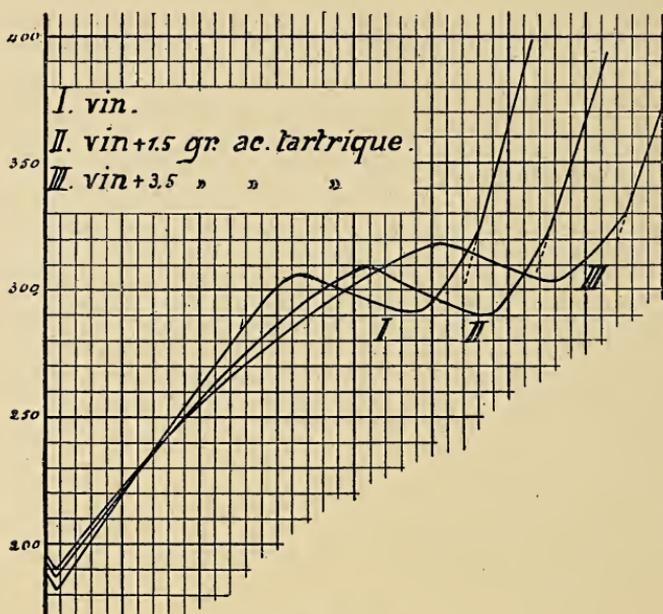


Fig. 29.

a) Acides lactique, succinique et acétique. — Ces substances augmentent la longueur de la partie BC sans en modifier l'inclinaison ; elles n'exercent aucune influence sur les autres parties de la courbe de neutralisation (fig. 28).

b) Acides malique, tartrique et citrique. — Les sels de baryum des acides malique et tartrique sont peu solubles et existent partiellement à l'état colloïdal entre B et C, ce qui provoque une diminution de la conductivité et un aplatissement de la courbe (fig. 29 et courbe II, fig. 28).

Au point neutre C, les micelles, dont on voit le fourmillement à l'ultramicroscope, flocculent brusquement. La partie CDE de la courbe n'est pas modifiée par l'addition de l'un ou l'autre de ces acides au vin, malgré la précipitation des sels de baryum. Cette observation confirme les renseignements fournis par l'ultramicroscope : la formation des sels de baryum insolubles a lieu de Ben C, bien qu'elle ne soit pas visible à l'œil.

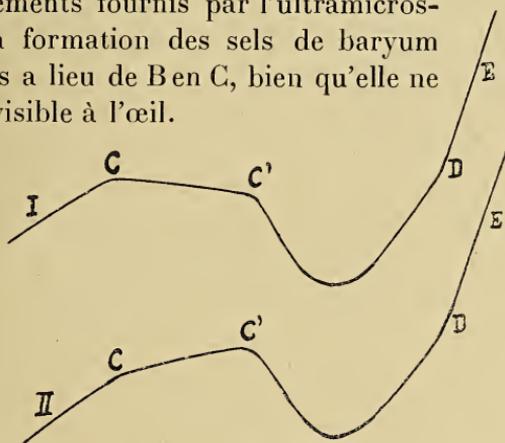


Fig. 30.

L'acide malique provoquant un aplatissement assez faible de la courbe, celui-ci provient surtout de l'acide tartrique. On peut même établir une relation, malheureusement peu précise, entre l'angle formé par BC et l'axe des abscisses et la teneur du vin en acide tartrique.

L'acide citrique précipite également avant le point C et diminue beaucoup l'inclinaison de BC, mais on sait que cet acide n'est pas un constituant normal du vin.

c) Acide carbonique. — La totalité de l'acide carbonique est précipité après le point neutre, avant que les phosphates et tannates de baryum, etc., soient formés. Les réactions ne sont pas instantanées, aussi la forme de la courbe varie-t-elle avec la durée de la titration. La forme I (fig. 30) correspond à une détermination rapide et la forme II à une titration lente.

Cette variation de la conductibilité avec le temps est

défavorable, car elle diminue la netteté de la courbe. On fera donc bien de chasser l'acide carbonique avant la titration, en chauffant un instant le vin, ou en y faisant barboter un courant d'air privé d'acide carbonique.

d) Acide sulfureux. — L'addition d'acide sulfureux aux vins rend également la conductibilité fonction du temps et conduit par conséquent à des courbes irrégulières. Tant que la quantité d'acide sulfureux total ne dépasse pas 100-200 mgr. par litre, les courbes sont bonnes, à condition d'opérer rapidement. La moitié de l'acide sulfureux est neutralisé avant le point C et l'autre moitié après. Les vins très sulfités conduisent à des courbes moins régulières. Celles qui sont reproduites dans la fig. 31 concernent un vin contenant 1120 mgr. par litre d'acide sulfureux total.

Courbe I = titration rapide.

Courbe II = titration lente.

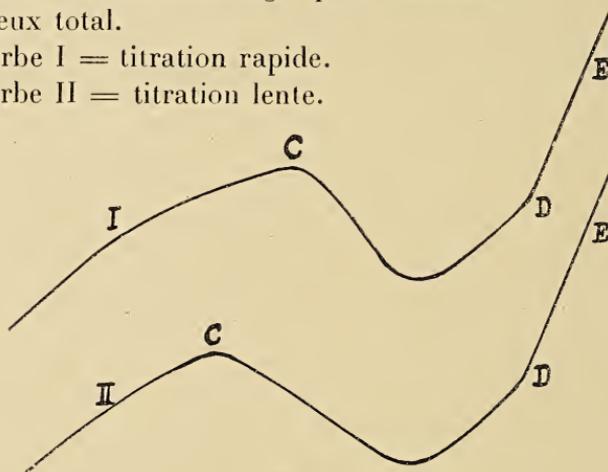


Fig. 31.

Ces observations justifient le mode opératoire que nous avons adopté et qui consiste à ne jamais interrompre une titration à la baryte, sinon l'acidité forte des vins sulfités serait plus faible avec les conductibilités qu'avec le tournesol comme indicateur.

e) Phosphates. — La précipitation des phosphates suit celle des carbonates. En l'absence d'acide carbonique, ils

précipitent dès le point C en provoquant une diminution de la conductibilité.

f) Tannins. — Leur floculation suit la précipitation des phosphates et se marque par une diminution d'inclinaison de la courbe qui devient presque horizontale.

g) Sels de bases faibles. — Le déplacement des sels de magnésium s'effectue après la précipitation des phosphates et simultanément avec la floculation des tannates. Un excès de sels de magnésium ou d'ammonium diminue la conductibilité et accentue la courbe dans le voisinage du point D.

La fig. 32 montre l'ordre de précipitation et la forme que prend la courbe après ces diverses additions.

Courbe I. = Vin artificiel contenant tous les éléments spécifiés du vin naturel, à l'exception de ceux qui influencent l'acidité faible.

Courbe II. = Même vin + KH^2PO^4 .

Courbe III. = Même vin + KH^2PO^4 + tannin.

Courbe IV. = Même vin + KH^2PO^4 + tannin + NH^4Cl + MgSO^4 .

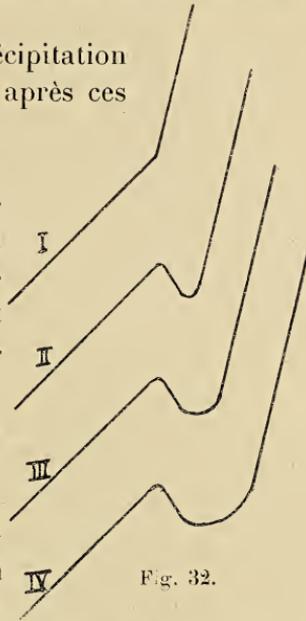


Fig. 32.

h) Non électrolytes. — L'addition de substances non conductrices ne fausse aucun des dosages mais elle peut influencer l'inclinaison générale de la courbe. Nous avons montré (p. 253) qu'en faisant varier artificiellement la viscosité η d'un vin, sans modifier les électrolytes qui y sont contenus, la conductibilité spécifique z varie en raison inverse de la viscosité, soit $z\eta = \text{constant}$. Le coefficient angulaire $\frac{dz}{dc}$, en chaque point de la courbe, varie de même,

c'est-à-dire que lorsque la viscosité passe de η_1 à η_2 ce coefficient passe de $\frac{dz}{dc}$ à $\frac{\eta_1}{\eta_2} \frac{dz}{dc}$.

Nous avons établi aussi que la viscosité dépend principalement de la teneur du vin en alcool, l'influence des autres éléments du vin — acides, glycérine, sucres, etc. — étant négligeable chez les vins normaux. Il en résulte que l'inclinaison générale de toute la courbe est influencée par le degré alcoolique : la courbe d'un vin riche en alcool est aplatie et inversément.

Quelques résultats analytiques.

Les méthodes physico-chimiques de détermination des acidités, appliquées à l'analyse de vins *artificiels* de composition connue, permettent de retrouver les divers éléments du vin répartis entre les acidités forte, faible et organique, conformément aux prévisions de la théorie. Nous reproduisons ci-dessous les résultats de l'analyse d'un vin dont la composition était la suivante :

Acide tartrique	40.0	cm ³ N	par litre
» malique	15.1	»	»
» succinique	19.3	»	»
» lactique	33.3	»	»
» acétique	20.0	»	»
» chlorhydrique	1.5	»	»
» sulfurique	10.6	»	»
» phosphorique	12.6	»	»
» tannique	1.6	»	»
Potasse caustique	20.0	»	»
Soude	3.4	»	»
Chaux	4.5	»	»
Magnésie	10.6	»	»
Ammoniaque	1.5	»	»
Alcool à 95°	105	cm ³	par litre

Glycérine	8.0 gr. par litre.
Glucose	1.0 » »

Conformément à nos définitions :

$$\begin{aligned} \text{Acidité totale} &= \Sigma \text{acides} - \text{potasse} - \text{soude} - \text{chaux} \\ &= 40.0 + 15.1 + 19.3 + 33.3 + 20 + 1.5 + 10.6 \\ &+ 12.6 + 1.6 - 20.0 - 3.4 - 4.5 = 126.1 \text{ cm}^3 \text{ N.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Acidité forte} &= \text{acides tartrique} + \text{malique} + \text{succinique} \\ &+ \text{lactique} + \text{acétique} + \text{chlorhydrique} + \text{sulfurique} \\ &+ \frac{4}{9} \text{ phosphorique} - \Sigma \text{bases} = 40.0 + 15.1 + 19.3 \\ &+ 33.3 + 20 + 1.5 + 10.6 + \frac{4}{9} 12.6 - 20.0 - \\ &3.4 - 4.5 - 10.6 - 1.5 = 105.4 \text{ cm}^3 \text{ N.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Acidité faible} &= \frac{5}{9} \text{ acide phosphorique} + \text{acide tannique} \\ &+ \text{magnésie} + \text{ammoniaque} = \frac{5}{9} 12.6 + 1.6 + 10.6 \\ &+ 1.5 = 20.7 \text{ cm}^3 \text{ N.} \end{aligned}$$

$$\text{Acidité organique faible} = \text{acide tannique} = 1.6.$$

La courbe de neutralisation par la baryte conduit aux résultats suivants :

	Observé	Théorique	Ecart
Acidité totale	126.0	126.1	0.1
» forte	104.0	105.4	1.4
» faible	22.0	20.7	1.3
» organique faible	2.9	1.6	1.3

La concordance des chiffres est bonne et les erreurs d'expériences atteignent au maximum 1,4 cm³N. On remarquera que l'acidité faible de ce vin artificiel, presque entièrement formée par des acides et bases inorganiques, est moins considérable que chez les vins naturels. Cela est dû à un déficit énorme d'acides organiques faibles. Ce dernier dosage est donc le plus intéressant à effectuer ; c'est une détermination entièrement nouvelle.

Nos analyses de vins *naturels* ont été obtenues en déterminant, pour chaque vin, la courbe de neutralisation par la baryte et la quantité des éléments inorganiques susceptibles de modifier l'acidité faible. En retranchant de l'acidité faible les acides faibles inorganiques (les $\frac{5}{9}$ de

l'acide phosphorique, la moitié de l'acide sulfureux) et les bases faibles inorganiques (magnésie, ammoniacque, fer, alumine, manganèse), on obtient l'acidité organique faible. En pratique, on pourra ne pas tenir compte du fer, de l'alumine et du manganèse, qui existent toujours à l'état de traces dans les vins, et l'on calculera l'acidité organique faible en diminuant l'acidité faible des $\frac{5}{100}$ de l'acide phosphorique, de la moitié de l'acide sulfureux, de la totalité de la magnésie et de l'ammoniacque, ces éléments étant exprimés en cm^3N par litre.

Ac. totale	Ac. forte	Ac. faible	P ²⁰ min.	SO ² total	MgO	NH ³	Ac. org. faible
144.0	102.5	41.5	10.3	—	9.5	1.0	25.3
134.0	77.0	57.0	18.7	—	14.4	0.8	31.4
126.2	78.5	47.7	15.9	—	11.6	0.9	26.4
149.0	113.0	36.0	13.7	1.2	8.8	0.3	18.7
111.5	67.5	44.0	9.4	0.9	10.1	0.8	27.5
130.0	81.0	49.0	14.1	—	15.3	1.2	24.7
175.0	120.0	55.0	19.2	—	14.7	1.5	28.1
121.0	94.0	27.0	9.7	0.8	7.9	0.4	12.9

Les analyses dont nous disposons sont nombreuses en ce qui concerne les acidités totale, forte et faible; elles portent sur près de 400 vins et montrent que l'acidité faible d'un vin naturel est toujours considérable: c'est au moins le 20 % et quelquefois plus du 45 % de l'acidité totale.

Nous avons effectué peu d'analyses complètes de vins, permettant de calculer l'acidité faible organique, aussi ne pouvons-nous établir des normes de ce constituant intéressant du vin. Il est cependant certain que l'acidité faible des vins naturels comprend des acides organiques (matières tannantes) en grande quantité (50 % de l'acidité faible, dans les analyses reproduites), alors que chez un vin artificiel, contenant une proportion normale de tous les éléments qui étaient dosés jusqu'ici, l'acidité organique faible est presque nulle.

Acidité volatile.

La détermination de l'acidité volatile d'un vin a pour objet de rechercher une quantité anormale d'acide acétique. Mais le distillatum d'un vin contient, à côté de l'acide acétique, de petites quantités de ses homologues supérieurs : les acides propionique, butyrique, valérique, etc. et le plus souvent de l'acide sulfureux.

Lorsque le vin ne renferme pas d'acide sulfureux, il est alors logique d'exprimer l'acidité volatile en acide acétique, car tous ses homologues supérieurs ont la même fonction chimique et une constante d'affinité très rapprochée de celle de l'acide acétique.

Il en va tout autrement avec un vin soufré. L'acide sulfureux formé, très volatil à la vapeur d'eau, augmente d'une quantité notable l'acidité du distillatum, et les déterminations de l'acide acétique sont parfois faussées. Il ne semble pas que l'on ait suffisamment tenu compte jusqu'ici de cette cause d'erreurs.

La neutralisation du distillatum, suivie par les conductibilités, renseigne sur la nature des acides volatils. Les courbes de la fig. 33 ont été fournies par trois vins, dont l'acidité volatile totale, déterminée par acidimétrie, ou par l'abscisse Ob , est la même, mais chez lesquels la proportion des acides acétique et sulfureux est différente. L'un de ces vins ne contient pas d'acide sulfureux, la courbe $A''B$ est en effet caracté-

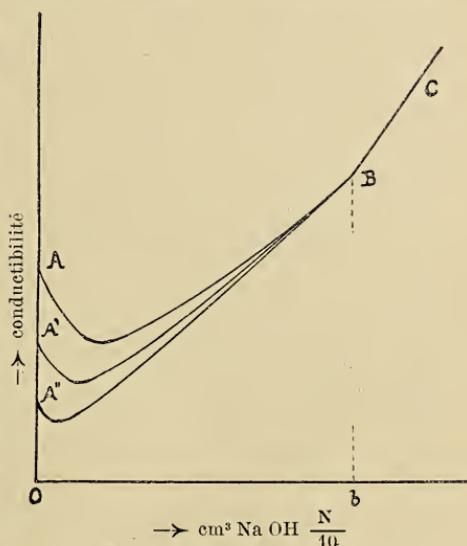


Fig. 33.

ristique de la neutralisation d'acides faibles. Les courbes A'B et surtout AB prouvent au contraire que les deux autres vins renferment une notable proportion d'acide sulfureux.

Les vins blancs vieux donnent ordinairement une courbe du type AB, tandis que les vins nouveaux donnent une courbe du type A'B. Cela s'explique par le fait que les premiers contiennent toujours de l'acide sulfureux introduit par des soufrages répétés, alors que les vins nouveaux n'ont pas encore subi ces traitements.

Pour obtenir la quantité exacte d'acide acétique et de ses homologues, il faut retrancher de l'acidité volatile totale la part due à l'acide sulfureux. L'examen de la courbe de neutralisation du distillatum permet de faire ce calcul approximativement. L'acide sulfureux, bibasique, se comporte au point de vue des titrations par la méthode des conductibilités comme un mélange de deux acides, l'un très fort, l'autre très faible. L'un de ces groupes acides est beaucoup plus dissocié que l'autre. Il en résulte que la courbe de neutralisation AB du distillatum d'un vin, contenant de l'acide sulfureux, présente un minimum très marqué correspondant à la neutralisation du groupe acide le plus fort. En doublant l'abscisse du minimum, on obtient la quantité d'alcali nécessaire pour neutraliser l'acide sulfureux. On en déduit par différence la quantité d'acide acétique.

La part de l'acide sulfureux dans l'acidité volatile des vins est loin d'être négligeable. Alors qu'elle est nulle dans les vins nouveaux, elle atteint quelquefois des proportions considérables chez les vins vieux : 25 à 50 % de l'acidité volatile totale.

II. Alcalinité.

Alcalinité des cendres.

Ce dosage, qui est courant dans l'analyse des vins, s'effectue en calcinant l'extrait sec puis en ajoutant aux cendres un excès d'acide titré qui dissout les carbonates et

dont on titre en retour l'excédent. L'alcalinité des cendres est exprimée généralement en $\text{cm}^3 \text{N}$ par litre ; elle représente la quantité de bases inorganiques fixes combinées aux acides organiques du vin, à une correction près due à la présence des phosphates.

Par calcination, les orthophosphates primaires du vin se transforment en phosphates tertiaires : les cendres étant un milieu alcalin. Cette transformation se fait aux dépens des carbonates alcalins provenant des sels organiques, suivant la réaction



L'addition d'acide aux cendres ramène de nouveau les phosphates à l'état primaire. Lorsqu'on neutralise cette solution, les phosphates passent progressivement à l'état de sels secondaires et, au point de virage de la phénolphtaléine — indicateur recommandé —, ils sont presque entièrement à l'état de M^2HPO^4 . Il en résulte qu'on pourrait corriger l'erreur due aux phosphates en dosant P^2O^5 dans le vin et en ajoutant le tiers de cette valeur exprimée en $\text{cm}^3 \text{N}$ par litre, à l'alcalinité. Malgré cette correction, le dosage de l'alcalinité des cendres, par voie directe, est peu précis en raison de la difficulté qu'il y a à observer le virage de l'indicateur.

K. Farnsteiner élimine complètement ces sels de la solution en ajoutant un excès de chlorure de calcium et d'ammoniaque titrée ; les phosphates précipitent à l'état de sel neutre $\text{Ca}^3(\text{PO}^4)^2$ et on titre en retour l'ammoniaque¹.

¹ Ce dosage s'effectue, d'après Farnsteiner, de la manière suivante :

On traite les cendres de 50 cm^3 de vin par $10\text{-}20 \text{ cm}^3$ d' $\text{HCl} \frac{\text{N}}{2}$ à une douce chaleur, verse la solution acide dans un erlenmeyer avec 30 cm^3 d'eau distillée, chauffe à ébullition pendant 3 minutes, laisse refroidir et introduit la solution dans un cylindre gradué fermé à l'émeri, avec 20 cm^3 d'eau distillée. On ajoute 5 à 10 cm^3 d'une solution de chlorure de calcium neutre (contenant par 100 cm^3 : 5 gr. Ca Cl^2 et $10 \text{ gr. NH}^4 \text{Cl}$) et $10\text{-}20 \text{ cm}^3$ d'une solution $\frac{\text{N}}{2}$ d'ammoniaque, dilue à 100 cm^3 avec de l'eau distillée — privée d'acide carboni-

L'alcalinité déterminée de cette façon est évidemment trop faible, car on suppose que tous les acides minéraux du vin, sont entièrement neutralisés, ce qui est loin d'être le cas pour l'acide phosphorique. Connaissant la teneur d'un vin en P^2O^5 , on pourra alors faire une correction rigoureuse¹ : on ajoute à l'alcalinité, déterminée par la méthode de Farnsteiner, les $\frac{2}{3}$ de l'acide phosphorique total, exprimé en $cm^3 N$ par litre.

Alcalinité totale et alcalinité organique.

L'analyse des cendres, portant sur des alcalis inorganiques fixes, ne fournit aucun renseignement sur les alcalis volatils ou décomposables par la chaleur. On sait cependant que ces bases existent dans le vin. L'une d'elles, l'ammoniacque, peut être dosée avec assez de précision par l'analyse pondérable ($NH^4 Pt Cl^6$) ou par volumétrie physico-chimique (voir p. 248). Les autres échappaient jusqu'ici, soit en groupe, soit isolément, à un dosage précis. On en ignore aussi la nature chimique, bien que la présence dans les vins d'une série de composés organiques basiques tels que la triméthylamine, la xanthine, l'hypoxanthine, etc.², ait été soupçonnée ou établie.

Une preuve indirecte que le vin renferme bien des alcalis autres que les bases inorganiques fixes est le fait, souvent constaté, qu'un vin artificiel contenant, dans la même proportion, tous les éléments dosables d'un vin a une

que —, brasse fortement et laisse reposer 12 heures. On prélève ensuite 25-50 cm^3 de la solution claire et titre par l'acide chlorhydrique N et le méthylorange.

Soit S le volume en $cm^3 N$ d' HCl ajouté à la solution,
 n le volume en $cm^3 N$ d' NH^3 ,
 s le volume en $cm^3 N$ d' HCl utilisé pour la titration en retour.
 Alcalinité = $S + s - n$

(*Zeitschr. f. Unters. d. Nahr u. Genussmittel*, 1907, 13, 335.)

¹ V. der Heide et W. I. Baragiola, *Landwirtschaftliche Jahrbücher*, 1910, 1047.

² L. Grünhut, *Die chemie des Weines*, 148, Stuttgart 1897.

concentration d'ions H toujours plus forte que celle d'un même vin naturel.

Nous nous proposons de montrer, dans les paragraphes suivants, que les courbes de déplacement conduisent au dosage nouveau de la somme moléculaire des alcalis combinés aux acides faibles du vin, donc aux acides organiques.

Les termes choisis pour désigner ces dosages volumétriques ont le sens suivant :

Alcalinité totale = Concentration moléculaire des alcalis inorganiques et organiques combinés aux acides organiques du vin ; est exprimée en $\text{cm}^3 \text{ N}$ (ou milliéquivalents) par litre.

Alcalinité des cendres ou *alcalinité fixe*¹ = Concentration moléculaire des alcalis minéraux, non volatils, combinés aux acides organiques du vin ; est exprimée en $\text{cm}^3 \text{ N}$ par litre et déterminée par la méthode de Farnsteiner, en ajoutant au résultat final les $\frac{2}{3}$ de l'acide phosphorique.

Alcalinité organique = Alcalinité totale diminuée de l'alcalinité des cendres et de l'ammoniaque.

Détermination de l'alcalinité totale par l'acide chlorhydrique ou l'acide nitrique.

Les acides forts, comme l'acide chlorhydrique, déplacent les acides faibles combinés du vin et la titration directe de ce liquide par HCl, N, conduit à une courbe de déplacement

¹ Nous conservons cette dénomination d'*alcalinité des cendres* qui est d'usage, mais le terme *alcalinité fixe* exprimerait mieux ce dosage.

qui est du type reproduit dans la fig. 34 (courbe ABC). L'interprétation de ces courbes, sans point singulier, n'est pas aisée. L'inclinaison des deux parties AB et BC est très différente, comme cela est toujours le cas chez les courbes

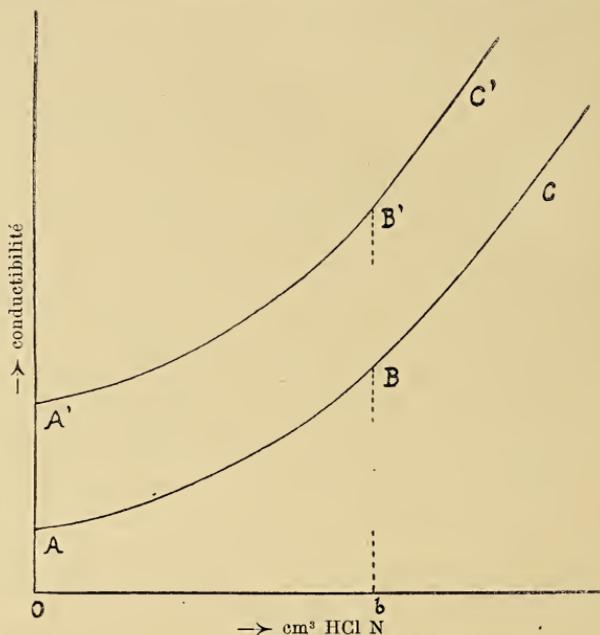


Fig. 34.

de déplacement, mais le point final de la réaction est difficile à saisir. Théoriquement, il devrait se trouver à la rencontre d'une tangente menée depuis l'origine de la courbe et de l'asymptote de BC. Des essais nombreux nous ont convaincus qu'il n'était pas possible d'obtenir graphiquement le point cherché avec une précision suffisante.

Nous avons alors modifié les conditions de l'expérience jusqu'à ce que la courbe présente un point singulier, étant guidés par les considérations théoriques qui ont été développées dans la première partie de ce mémoire.

On sait que les courbes de déplacement d'un sel d'acide faible par un acide fort accusent une inflexion d'autant

plus nettement marquée, toutes choses égales, que : 1° l'acide du sel est plus faible, 2° l'alcali du sel est plus fort.

Le vin contient une série d'acides de force très différente : acides sulfurique, phosphorique, tartrique, malique, succinique, lactique, acétique et homologues, mais tous plus faibles que l'acide chlorhydrique. Il fallait rechercher, en premier lieu, si les sels d'acides inorganiques forts — sulfates et phosphates — ne sont pas partiellement déplacés par l'acide chlorhydrique. L'expérience a montré que c'est le cas. L'addition au vin de sulfates et phosphates acides déplace l'inflexion B vers la droite, en même temps qu'elle en diminue encore la netteté.

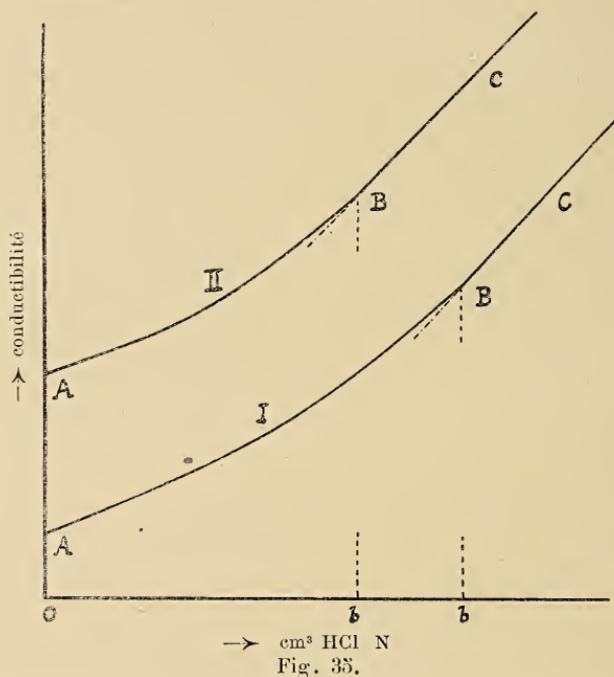
L'influence défavorable des sulfates et phosphates peut être annihilée en éliminant ces sels sous forme de précipités insolubles. En ajoutant au vin une quantité de chlorure de baryum suffisante pour précipiter tous les sulfates, on ne modifie pas l'alcalinité, le chlorure formé ne réagissant pas avec HCl. La précipitation par la baryte titrée est préférable, en ce sens que la conductibilité diminue ; mais on augmente dans ce cas l'alcalinité du vin, aussi convient-il d'ajouter la quantité exacte de baryte, nécessaire à la précipitation des sulfates, et d'en tenir compte dans le calcul du résultat final.

Le cas n'est plus tout à fait identique en ce qui concerne l'élimination des phosphates. En précipitant ceux-ci par le nitrate d'uranyle, même en petit excès, ils entrent dans une combinaison insoluble ; mais la réaction



indique que la moitié de l'acide nitrique du nitrate d'uranyle est devenu libre. Il en résulte que l'alcalinité du vin, déterminée après précipitation, est trop faible et qu'elle doit être augmentée de 2 équivalents grammes pour chaque molécule gramme de P^2O^5 . Expriment l'alcalinité et les phosphates minéraux en $cm^3 N$ par litre de vin, on ajoutera à l'alcalinité le tiers des cm^3 de phosphates.

Soit, par exemple, un vin contenant 6,42 gr. K^2SO^4 ($= 4,8 \text{ cm}^3\text{N}$) et 0,31 gr. P^2O^5 minéral ($= 13 \text{ cm}^3\text{N}$) et dont l'alcalinité, déterminée — après addition de baryte et de nitrate d'uranyle — par HCl , N, est de $28,0 \text{ cm}^3\text{N}$ par litre. L'alcalinité totale réelle est donc de $28,0 - 4,8 + 4,3 = 27,5 \text{ cm}^3\text{N}$.



Après précipitation des sulfates et phosphates, la courbe de déplacement par l'acide chlorhydrique devient plus caractéristique (fig. 31, courbe $A'B'C'$), mais l'inflexion B' n'est pas encore assez nette pour permettre un dosage exact de l'alcalinité. Cela provient de ce que la force de l'acide tartrique n'est pas négligeable ; le déplacement des tartrates n'est complet qu'en présence d'un excès d'acide chlorhydrique.

L'alcool diminue la force de l'acide tartrique plus qu'il ne diminue celle de l'acide chlorhydrique, aussi les courbes

de déplacement de vins alcoolisés se rapprochent-elles d'autant plus de deux droites que le titre alcoolique est plus élevé. Cette action favorable de l'alcool est contrebalancée par une diminution de l'inclinaison : plus on ajoute d'alcool au vin, moins l'angle que forme AB et BC sera accentué¹. Il y aura donc une certaine teneur en alcool pour laquelle les courbes de déplacement seront le plus nettes ; celle-ci est de 80 % environ (1 volume de vin + 5 volumes d'alcool) d'après nos expériences.

Les courbes de déplacement par HCl de vins alcoolisés peuvent prendre toutes les formes comprises entre la courbe I et la courbe II de la fig. 35 qui reproduit les deux types extrêmes. Dans la forme I le point B se trouve à l'intersection d'une droite et d'une courbe. L'erreur que l'on commet en appréciant sa position est très faible.

Dans la forme II la partie BC n'est pas une droite, mais une courbe à grand rayon de courbure et convexe par rapport à l'axe des abscisses. La position du point B, à la rencontre de deux courbes à rayons de courbure différents, sera plus difficile à fixer exactement.

Il est probable que la forme I correspond aux vins qui ne contiennent pas de bases très faibles, dont la présence diminue toujours la netteté de l'inflexion, et pas d'acide sulfureux².

Nous reproduisons les données numériques des titrations qui ont servi à construire les courbes de la fig. 35. On se rendra compte ainsi de l'erreur possible dans l'appréciation du point final. En général, on a tendance à choisir le point trop à droite.

¹ Cela est conforme à la théorie, car les conductibilités limites de l'acide chlorhydrique dans l'alcool ne sont qu'environ 1,5 fois plus fortes que les conductibilités de sels organiques, tandis que dans l'eau elles sont 3,5 fois plus fortes.

² L'acide sulfureux rend les courbes de déplacement moins nettes, car il se comporte comme un acide monobasique fort. L'alcalinité totale comprend les alcalis combinés à l'acide sulfureux.

15 cm ³ vin R. + 0,17 cm ³ nitrate d'uranyl N + 0,3 cm ³ baryte $\frac{N}{4}$ + 80 cm ³ alcool. (courbe nette I)		15 cm ³ vin Bl. + 0,09 cm ³ nitrate d'uranyl N + 0,8 cm ³ baryte $\frac{N}{4}$ + 80 cm ³ alcool. (courbe peu nette II)	
cm ³ HCl N	conductibilité, en unités arbitraires	cm ³ HCl N	conductibilité, en unités arbitraires
0.0	0.371	0.00	0.286
0.2	0.456	0.10	0.330
0.3	0.513	0.20	0.384
0.4	0.578	0.30	0.457
0.5	0.666	0.35	0.502
0.6	0.775	0.40	0.554
0.7	0.896	0.45	0.609
0.8	1.022	0.50	0.667
0.9	1.153	0.55	0.729
1.0	1.288	0.60	0.791
1.1	1.421	0.65	0.853
1.2	1.556	0.70	0.917
Inflexion à 0,625 cm ³		0.75	0.980
		0.80	1.045
		Inflexion à 0,46 cm ³	

De nombreuses analyses de contrôle portant sur des vins artificiels de composition connue, comme sur des vins naturels, ont permis d'établir que l'abscisse du point B représente bien le nombre de cm³ d'acide chlorhydrique nécessaire pour mettre en liberté tous les acides faibles combinés du vin.

Le tableau suivant résume quelques vérifications expérimentales de cet énoncé, effectuées en ajoutant à un vin naturel différentes substances.

Substances.	Quantité ajoutée, en cm ³ N par litre.	Augmentation de l'alcalinité totale, en cm ³ N par litre.
Potasse caustique	30	30
Soude »	30	30
Chaux	30	30

Ammoniaque	30	30
Magnésie	30	30
Triméthylamine	30	30
Pyridine	30	30
Aniline	30	30
Tartrates, malates, etc.	30	30
Acides organiques	30	0
Acide sulfureux	30	0

L'addition des bases inorganiques fortes (potasse caustique) ou faibles (ammoniaque) et celle de bases organiques fortes (triméthylamine) ou faibles (pyridine) augmente l'alcalinité totale de la quantité théorique. Même les bases aussi faibles que l'aniline déplacent l'inflexion de la courbe à l'acide chlorhydrique.

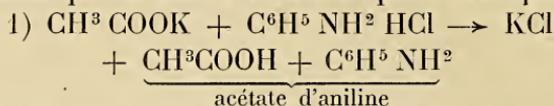
L'addition de tartrates, lactates, acétates, etc., augmente l'alcalinité totale de la quantité théorique.

La titration du vin par l'acide chlorhydrique N est une des opérations les plus délicates que l'on puisse encore exécuter par la méthode des conductibilités; elle exige des déterminations très précises, effectuées à une température rigoureusement constante. Aussi avons-nous cherché d'autres réactifs conduisant à des courbes de déplacement plus nettes.

Mentionnons d'abord que les courbes à l'acide nitrique et à l'acide chlorhydrique sont identiques, tandis que les courbes à l'acide phosphorique sont moins bonnes. Il s'est montré, par la suite, que le nitrate de plomb est un réactif de l'alcalinité totale meilleur que les acides, ce qui enlève toute valeur pratique aux courbes de déplacement par les acides chlorhydrique ou azotique. Ces expériences n'auront cependant pas été inutiles, car elles nous ont permis de comparer les alcalinités des vins déterminées par différentes méthodes. Quel que soit le réactif choisi, la valeur trouvée est identique aux erreurs d'expériences près.

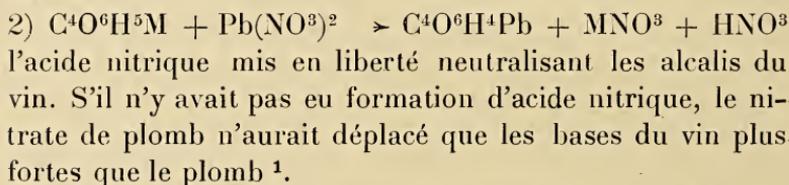
Détermination de l'alcalinité totale par le nitrate de plomb.

Les chlorures ou nitrates de bases très faibles sont des réactifs de l'alcalinité au même titre que les acides chlorhydrique ou nitrique. Le chlorhydrate d'aniline, par exemple, déplacera les sels d'acides faibles — tel que l'acétate de potassium — comme le ferait l'acide chlorhydrique pur, à condition que la base du sel soit plus forte que l'aniline



Les chlorures et nitrates de fer, aluminium, zircon, plomb, bismuth, etc., pourraient être utilisés pour titrer l'alcalinité totale d'un vin.

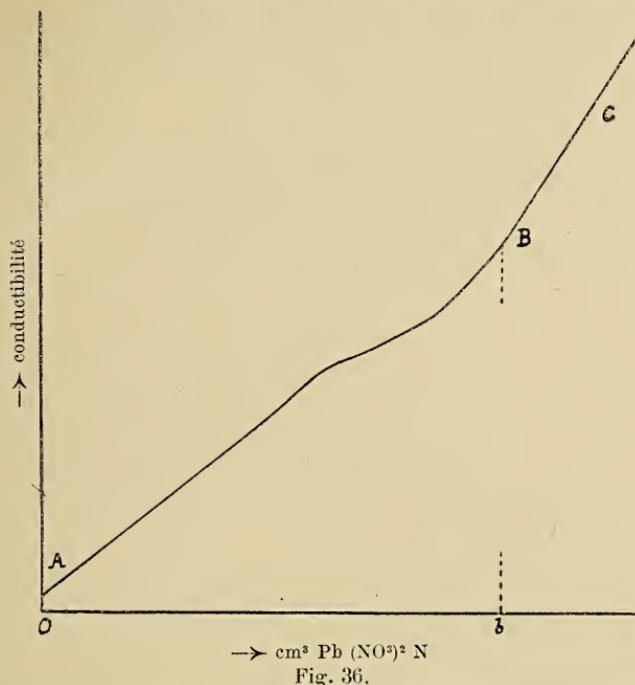
Le nitrate de plomb est le plus intéressant de tous ces sels, en ce sens que ses solutions sont stables et qu'il déplace la totalité des acides organiques combinés. Cela est dû à la précipitation du tartrate de plomb suivant la réaction



Le nitrate de plomb ne précipite pas seulement les tartrates du vin, mais aussi les sulfates, phosphates et, dans certaines conditions, les chlorures. La précipitation de ces sels n'est du reste pas immédiate, ce qui explique l'allure irrégulière des courbes de déplacement du vin par le nitrate de plomb (fig. 36). Ces courbes présentent quelquefois une inflexion B assez nette, tandis qu'elles sont presque

¹ Le nitrate d'uranyl, bien que l'urane soit une base aussi faible que le plomb, ne déplace pas la totalité des acides organiques combinés du vin, parce qu'il n'y a pas de formation de précipité avec mise en liberté d'acide nitrique, et que les sels de bases plus faibles que l'urane ne sont pas déplacés.

continues dans d'autres cas. Ces différences proviennent, comme nous avons pu l'établir, de la teneur des vins en acide tartrique. Lorsque la concentration moléculaire des alcalis est plus faible que la concentration moléculaire de l'acide tartrique, la réaction 2) s'effectue pendant toute la titration ; dans le cas contraire, il n'y a plus de mise en liberté d'acide nitrique après la fin de la précipitation du



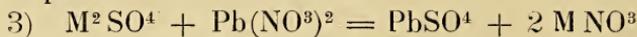
tartrate de plomb, alors qu'il reste encore des sels non déplacés par l'acide nitrique.

Il convient donc d'ajouter, avant la titration, de l'acide tartrique au vin, ce qui augmente la netteté de l'inflexion sans modifier l'alcalinité.

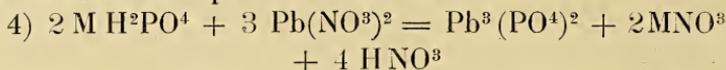
Après le déplacement de tous les sels, le nitrate de plomb, acide en solution, solubilise partiellement le tartrate de plomb et la conductibilité tend à augmenter avec le temps. On obvie à cet inconvénient en ajoutant de l'alcool (deux

volumes d'alcool pour un volume de vin), qui diminue la solubilité du précipité de plomb.

En présence d'un excès d'alcool, la totalité des sulfates, phosphates et chlorures sont précipités et éliminés à l'état de sels de plomb insolubles. On précipitera les chlorures par le nitrate d'argent et les sulfates par le nitrate de baryum, avant de procéder à la titration. Si l'on n'éliminait pas les sulfates on les décompterait, en retranchant du résultat final la quantité de nitrate de plomb ayant servi à les précipiter suivant la réaction



Quant aux phosphates, il faut absolument en connaître la quantité pour pouvoir corriger l'alcalinité déterminée par le nitrate de plomb. La réaction

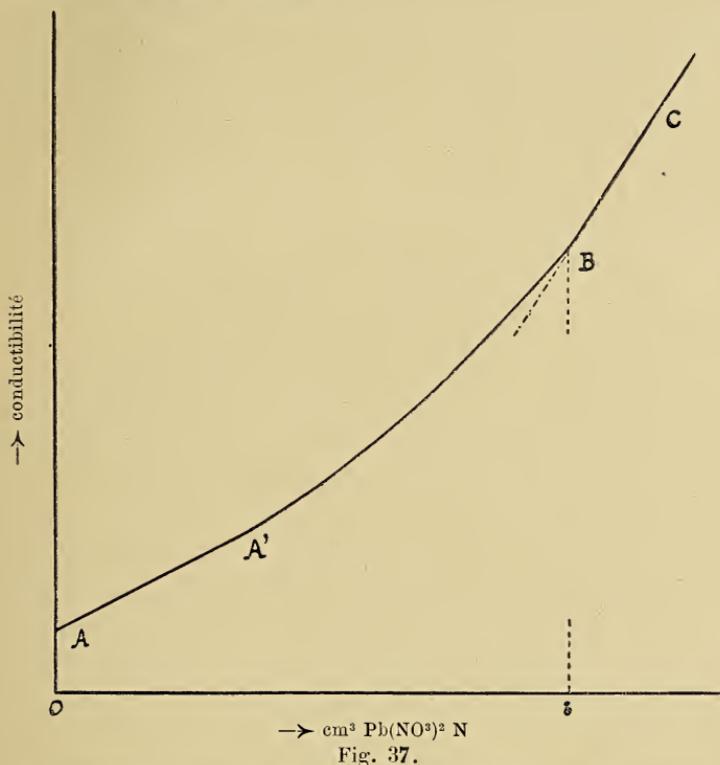


montre que le tiers de l'acide nitrique du nitrate de plomb a été neutralisé par l'alcali des phosphates. La correction se fera donc, d'après cette formule, en retranchant une molécule gramme de $Pb(NO^3)^2$ par molécule gramme de P^2O^5 minéral dosé. Expriment l'alcalinité et les phosphates en $cm^3 N$ par litre de vin, on retranchera de l'alcalinité le tiers des cm^3 de phosphates.

Exemple : après précipitation des chlorures, un vin contient par litre $36,0 \text{ cm}^3 N$ d'alcalinité totale déterminée par la courbe au nitrate de plomb. Ce vin renfermait $0,42 \text{ gr. } K^2SO^4 (= 4,8 \text{ cm}^3 N)$ et $0,31 \text{ gr. } P^2O^5 \text{ minéral} (= 13 \text{ cm}^3 N)$. L'alcalinité totale réelle est donc de $36,0 - 4,8 - 4,3 = 26,9 \text{ cm}^3 N$.

Les courbes de déplacement, par le nitrate de plomb, du vin alcoolisé affectent — après élimination des chlorures — la forme ci-contre (fig. 37). Le point final de la réaction, donné par la rencontre d'une droite BC et d'une courbe AB, est assez net pour que le dosage soit précis. Le début de la courbe étant toujours une droite AA', nous nous

sommes demandés si l'abscisse du point A' ne correspond pas à la fin d'une réaction définie, mais ce ne semble pas être le cas d'après l'analyse du précipité aux différents points de la courbe; les sulfates, phosphates et tartrates précipitent simultanément.



La détermination de l'alcalinité totale par le nitrate de plomb a été soumise aux mêmes vérifications que la détermination de l'alcalinité par l'acide chlorhydrique, c'est-à-dire que l'on a ajouté des sels organiques de bases fortes ou faibles, ou des alcalis libres, et mesuré l'augmentation de l'alcalinité totale. Les résultats sont pareils à ceux reproduits dans le tableau de la page 240.

L'alcalinité des vins déterminée par le nitrate de plomb est, après la correction due aux sulfates et phosphates,

identique à l'alcalinité déterminée par l'acide chlorhydrique ou nitrique. Le tableau suivant contient quelques-unes de ces comparaisons. Tous les résultats sont exprimés en cm^3 N par litre.

	Sulfates.	Phospha- tes min.	Alcal. brute à HCl.	Alcal. brute au $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	Alcal. corrigée à HCl.	Alcal. corrigée au $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	Ecart
Vin blanc vaudois	7.5	13.4	27.3	35.0	24.3	23.0	1.3
Vin rouge italien	12.7	6.8	30.6	34.0	20.2	19.0	1.2
Vin blanc vaudois	4.8	13.0	29.5	39.3	29.0	30.2	1.2
Vin blanc »	9.8	11.8	30.6	39.0	24.7	25.3	0.6
Vin rouge »	5.0	48.2	44.7	52.7	42.8	44.6	1.2
Vin rouge »	5.0	15.9	34.0	43.3	34.3	33.0	1.3
Vin rouge français	5.5	9.9	28.3	35.0	26.1	26.2	0.1

Quelques résultats analytiques.

Il importait, avant d'appliquer la méthode des conductibilités au dosage de l'alcalinité totale d'un vin, de s'assurer que les courbes de déplacement par le nitrate de plomb fournissent des résultats rigoureux. Dans ce but nous avons appliqué ce dosage à des vins artificiels, préparés au laboratoire, en ajoutant à de l'eau tous les éléments dosables chimiquement dans un vin naturel. Nous reproduisons ci-dessous les résultats obtenus avec le vin artificiel dont la composition a été donnée à la page 228.

Conformément à nos définitions :

$$\begin{aligned} \text{Alcalinité totale} &= \Sigma \text{ alcalis} - \text{acide chlorhydrique} - \\ &\quad \text{acide sulfurique} - \frac{1}{3} \text{acide phosphorique} = 20 + 3.4 \\ &\quad + 4.5 + 10.6 + 1.5 - 1.5 - 10.6 - \frac{12.6}{3} = \\ &= 23.7 \text{ cm}^3 \text{ N.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Alcalinité des cendres} &= \Sigma \text{ alcalis fixes} - \text{acide chlorhy-} \\ &\quad \text{drique} - \text{acide sulfurique} - \frac{1}{3} \text{acide phosphorique} \\ &= 20 + 3.4 + 4.5 + 10.6 - 1.5 - 10.6 - \frac{12.6}{3} \\ &= 22.2 \text{ cm}^3 \text{ N.} \end{aligned}$$

Alcalinité organique = Alcalinité totale — alcalinité cendres — ammoniacque = 23.7 — 22.2 — 1.5 = 0.

Les dosages d'alcalinités de ce vin artificiel ont été faits de la façon suivante: *a)* L'alcalinité totale par la courbe de déplacement au nitrate de plomb (voir p. 274), *b)* L'alcalinité des cendres par la méthode de Farnsteiner, en ajoutant au résultat final les deux tiers de l'acide phosphorique.

	Observé.	Théorique.	Ecart.
Alcalinité totale . .	23.1	23.7	0.6
» cendres . .	22.0	22.2	0.2
Ammoniacque . .	1.5	1.5	0.0
Alcalinité organique	(—0.4)	0	—

La comparaison de ces chiffres montre que l'alcalinité totale peut être déterminée avec une précision suffisante — à quelques pour cent près — par les courbes du nitrate de plomb. Les autres vérifications auxquelles nous avons soumis ce dosage conduisaient à des conclusions identiques.

L'absence complète de bases organiques chez ce vin artificiel n'a pas lieu de surprendre, puisque les alcalis qui ont servi à sa préparation étaient tous de nature inorganique. Il est cependant intéressant de constater que l'alcalinité totale et l'alcalinité des cendres correspondent. Chez les vins naturels, par contre, l'alcalinité des cendres et l'alcalinité déterminée par voie physico-chimique sont différentes, cette dernière est sans exception plus considérable.

Les analyses qui nous ont servi à établir ces comparaisons ont été effectuées en dosant, dans chaque vin, l'alcalinité totale, l'alcalinité des cendres et les éléments qui peuvent modifier ces dosages, c'est-à-dire les phosphates et l'ammoniacque. Les résultats sont exprimés en $\text{cm}^3 \text{ N}$ par litre.

	P ₂ O ₅ total.	NH ₃	Alcalinité de Farnsteiner.	Alcalinité fixe.	Alcalinité totale (corrigée des sulfates et phosphates).	Alcalinité organique.
Vins blancs	15.2	0.6	6.9	16.9	23.0	5.4
	14.3	1.8	8.5	18.0	30.2	10.4
	13.4	0.5	10.2	19.1	25.3	5.7
Vins rouges	11.8	0.3	15.6	23.5	26.3	2.5
	16.7	0.5	19.0	30.1	33.0	2.4
	20.3	1.4	20.1	33.6	41.6	6.9

L'alcalinité organique, qui est dosée par différence, est obtenue avec moins de précision que les autres dosages d'alcalinités. On peut cependant constater que les vins naturels contiennent une quantité appréciable de bases organiques décomposées par la calcination. Nous ne disposons pas encore d'un nombre suffisant d'analyses pour fixer des normes en ce qui concerne ce nouvel élément d'appréciation. L'alcalinité organique des vins du tableau précédent forme le 7 — 35 % de l'alcalinité totale.

Ammoniaque.

Il est établi que l'azote ammoniacal du moût est partiellement détruit lors de la fermentation alcoolique et que les levures et la température de la fermentation sont les principaux facteurs de cette destruction¹. D'après M. Müntz², les vins, normalement fermentés à basse température et chez lesquels les bactéries sont peu abondantes, contiennent une quantité d'ammoniaque qui est toujours très faible et ne dépasse pas 4-5 mgr. par litre. Lorsque la température de fermentation est supérieure à 37°5 les bactéries se développent activement en détruisant la molécule organique azotée, avec production d'ammoniaque. La quantité de cet alcali peut alors atteindre facilement 50-100 mgr. par litre.

¹ J. Laborde, *Ann. Inst. Past.*, 12, 317 (1898).

² *C. R.*, 124.

Le dosage de l'ammoniaque, sans être très important, n'est cependant pas toujours dénué d'intérêt. C'est ainsi qu'on l'a proposé pour différencier les vins secs d'avec les vins de liqueur qui renferment une proportion plus considérable de cet alcali.

Au point de vue de l'analyse physico-chimique, la détermination de l'ammoniaque présente une certaine importance, à cause de l'influence de ses sels sur la courbe de neutralisation du vin par la baryte ou la soude. L'ammoniaque est déplacée de ses combinaisons par ces alcalis et la correction qu'il y a lieu d'apporter au dosage de l'acidité totale n'est pas toujours négligeable.

On dose l'ammoniaque en distillant le vin en présence d'un excès d'alcali — soude caustique, carbonate de sodium, magnésie, etc. — et en déterminant, par colorimétrie, volumétrie ou gravimétrie la quantité d'ammoniaque contenue dans le distillatum. Les dosages au colorimètre avec le réactif de Nessler sont trop incertains pour qu'on puisse les utiliser. Par contre le dosage gravimétrique, par précipitation avec Pt Cl_4 , est assez exact, mais c'est une opération toujours très longue et délicate, vu la grande dilution de l'alcali dans le vin.

La titration volumétrique est seule susceptible de présenter un intérêt pratique. Malheureusement elle manque complètement de précision. Les résultats varient suivant l'indicateur employé et sont en outre faussés par la présence d'autres bases volatiles. MM. Gauthier et Halphen sont les premiers qui aient mis ce fait en évidence. Ces auteurs ont constaté que la détermination de l'ammoniaque dans les vins conduisait à des résultats différents, suivant que l'on opérait par voie gravimétrique ou volumétrique. Ils attribuaient la différence à des bases organiques volatiles. M. Laborde¹ a en effet montré que pour

¹ C. R., 137, 334.

certains vins du bordelais, qui ne contiennent pas ces produits organiques, les deux méthodes de dosage conduisaient à des résultats identiques. Mais de tels vins sont rares et dans la grande généralité des cas ces substances constituent, comme nous avons eu l'occasion de le montrer ailleurs¹, la majeure partie de l'alcalinité du distillatum.

La basicité volatile d'un vin dépend, d'une part, de la force et de la concentration de l'alcali utilisé pour le déplacement de l'ammoniaque et, d'autre part, de la durée de la distillation. Toutes choses égales, la soude caustique met en liberté davantage de bases que le carbonate de soude ou la magnésie. Les grosses molécules azotées du vin sont décomposées par ces alcalis et donnent lieu à un dégagement continu d'ammoniaque et de produits organiques volatils (bases pyrroliques). Une faible partie seulement de l'ammoniaque du distillatum était combinée primitivement aux acides du vin.

La titration de l'ammoniaque salifiée du vin n'est donc possible que si l'on évite l'action des alcalis sur les composés azotés constitutifs de l'extrait. M. Münzt a proposé pour cela de distiller le vin dans le vide, à 35° environ, en présence de carbonate de soude. Ce mode de faire ne supprime toutefois pas la nécessité de titrer l'ammoniaque avec un indicateur coloré, opération qui manque de précision lorsque la quantité d'alcali à doser est si faible.

M. Moralès a étudié, au laboratoire de Lausanne, une méthode de dosage de l'ammoniaque basée sur la défécation du vin par la baryte ou l'acétate de plomb et la titration du distillatum par la méthode des conductibilités électriques.

En ajoutant au vin un excès de baryte, il y a élimination des molécules azotées — soit par précipitation comme sels de baryum, soit par adsorption — et déplacement de l'am-

¹ Dutoit et Duboux, *Journ. suisse de chim. et pharm.*, 1908, 703.

moniaque de ses sels. Lorsqu'on défèque le vin avec de l'acétate de plomb on ajoutera, avant la distillation, un petit excès de soude caustique pour mettre en liberté l'ammoniaque.

La titration de l'ammoniaque, à de si grandes dilutions, n'offre aucune difficulté. La courbe de neutralisation a l'allure indiquée par la fig. 38 ; le point d'inflexion est toujours net, même lorsque le liquide est carbonaté.

Pour nous rendre compte de la précision de la méthode, nous avons ajouté à un vin des quantités croissantes de NH_3 et déterminé l'ammoniaque dans le distillatum après chaque addition, en suivant le mode opératoire décrit dans le guide pratique. Les résultats ont été les suivants :

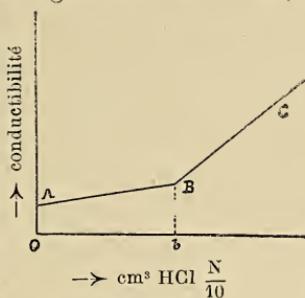


Fig. 38.

NH_3 , en mgr. par litre

	Observé	Théorique
Vin	16.0	16.0
Vin + 17 mgr $\frac{0}{100}$	30.1	33.0
Vin + 34 » »	48.0	50.0

CHAPITRE III

Cendres.

La détermination des matières minérales est une des opérations les plus courantes de l'analyse des vins. On peut l'effectuer par simple calcination de l'extrait au rouge naissant, mais ce procédé est peu rigoureux. Une partie des matières organiques du vin brûlent difficilement — chez certains vins tout au moins — et la calcination provoque une perte plus ou moins considérable des sels volatils,

principalement des chlorures. Il en résulte que des déterminations effectuées par deux opérateurs, sur un même vin, diffèrent assez souvent, et que le poids des cendres ne peut guère être garanti à plus de 0,2 gr. et même 0,3 gr. lorsque le vin est riche en chlorures.

Le dosage exact des cendres d'un vin comporte une calcination séparée des matières minérales solubles et insolubles. On brûle très légèrement l'extrait, reprend le résidu charbonneux par de l'eau chaude, filtre et calcine au rouge vif le filtre et la partie insoluble, puis on ajoute le filtratum qu'on évapore, sèche et pèse. Ce mode opératoire est moins expéditif que le précédent, mais il donne le poids des cendres avec une approximation qui est certainement supérieure à 0,1 gr. par litre.

Les renseignements que les cendres fournissent sur la nature des vins sont donnés : 1^o par la connaissance de leur poids, 2^o par le rapport $\frac{\text{cendres}}{\text{extrait}}$, 3^o par la comparaison entre le poids total des matières minérales et le poids de chaque composant. Sauf quelques cas spéciaux où la quantité des cendres est à la limite de ce qui est admis chez les vins naturels — en Suisse, la limite inférieure tolérée est de 1,3 gr. pour les vins blancs et de 1,7 pour les rouges — il est suffisant de connaître ce poids avec une approximation de 0,1 à 0,2 gr. par litre.

Ces considérations justifient les essais que nous avons entrepris pour établir une méthode de calcul rapide des cendres à partir de la conductibilité électrique du vin. Avant d'exposer la solution que nous proposons, il nous paraît nécessaire d'examiner d'abord les éléments du problème.

La conductibilité spécifique α du vin dépend de sa viscosité η et des électrolytes qu'il tient en dissolution.

Déterminons d'abord le rôle de la viscosité, et pour cela

modifions celle-ci par adjonction (ou élimination) de quantités croissantes d'une substance visqueuse non conductrice. On constate qu'à chaque valeur $\eta_1, \eta_2 \dots$ de la viscosité correspond une autre valeur $z_1, z_2 \dots$ de la conductibilité, mais que les produits

$$z_1 \eta_1 = z_2 \eta_2 \dots = z\eta$$

sont constants, c'est-à-dire que, toutes choses égales, la conductibilité du vin est effectivement inversement proportionnelle à sa viscosité. L'expérience suivante le démontre.

Un vin, dont la conductibilité z est de 143 ($\times 10^{-5}$) et la viscosité η de 161 ($\times 10^{-4}$) à 25°, est évaporé dans le vide, jusqu'à ce que la plus grande partie de l'alcool soit chassé. Par addition d'eau on ramène au volume primitif; la conductibilité devient alors 192 et la viscosité 119. Dans une autre opération, le vin concentré est ramené au volume primitif par addition d'alcool; la conductibilité est alors de 108, la viscosité 210. Dans les trois cas, le liquide contient bien les mêmes électrolytes, aux mêmes concentrations.

Le produit $z\eta 10^7$ est de

$$143 \times 161 = 230 \text{ (vin)}$$

$$192 \times 119 = 228 \text{ (vin sans alcool)}$$

$$108 \times 210 = 227 \text{ (vin alcoolisé)}$$

c'est dire qu'il est pratiquement constant.

La conductibilité z des électrolytes contenus dans le vin pourra donc toujours être comparée à la conductibilité z' des mêmes électrolytes en solution aqueuse, puisque

$$z_{\text{sels}} \eta_{\text{vin}} = z'_{\text{sels}} \eta_{\text{eau}}$$

La connaissance de la viscosité du vin est donc indispensable, mais on pourra éviter sa détermination directe et l'obtenir par le calcul. En effet, l'alcool est de tous les constituants du vin celui qui exerce la plus grande influence sur la viscosité, au point qu'il y a une relation assez précise entre la teneur A d'un vin en alcool et sa viscosité, soit $\eta = f(A)$.

Nous avons, après d'autres observateurs, déterminé la forme de $f(A)$ et reproduisons quelques-uns des chiffres qui ont servi à ce calcul. Tant que le vin ne contient pas plus de 30 gr. d'extrait sec, on pourra négliger l'influence des substances autres que l'alcool (sucres, glycérine, etc.) sur la viscosité. Pour les vins riches en extrait, par contre, on aura $\eta = f(A) + f(E)$, en appelant E l'extrait sec en grammes par litre.

N°	Alcool (% volume)	$\eta \cdot 10^4$	N°	Alcool (% volume)	$\eta \cdot 10^4$
1.	16.00	159	17.	11.70	130
2.	15.85	155	18.	11.60	133
3.	14.90	154	19.	11.55	139
4.	14.70	149	20.	11.50	138
5.	14.60	156	21.	11.12	131
6.	14.40	148	22.	10.80	133
7.	14.30	145	23.	10.75	131
8.	14.25	147	24.	10.00	124
9.	14.15	152	25.	9.95	131
10.	13.75	150	26.	9.92	130
11.	13.35	144	27.	9.51	120
12.	13.25	143	28.	9.10	122
13.	13.05	145	29.	8.87	127
14.	12.50	140	30.	8.75	123
15.	12.10	144	31.	8.18	118
16.	12.00	137			

Les électrolytes contenus dans le vin sont des sels et des acides. Appelons z_{sels} la part de la conductibilité due aux premiers et $z_{\text{ac.}}$ celle due aux seconds, soit

$$z = z_{\text{ac.}} + z_{\text{sels}}$$

Le terme $z_{\text{ac.}}$ peut être connu avec une très grande précision, car il est proportionnel à la concentration des ions hydrogène dans le vin. Nous avons déjà mentionné (p. 206) que MM. Paul et Günther ont déterminé la concentration des ions H dans un grand nombre de vins, par la méthode de l'inversion du sucre, tandis que nous avons effectué ces déterminations par la méthode du diazoacétate d'éthyle. Ces diverses expériences, parfaitement concor-

dantes d'ailleurs, ont montré que la conductibilité des acides du vin ne représente qu'une très faible partie de la conductibilité totale qui est presque entièrement due aux substances minérales. Dans le cas de vins très acides, mais pauvres en matières minérales, $z_{ac.}$ peut former le 16 % de z ; au contraire dans les vins peu acides et fortement minéralisés $z_{ac.}$ n'est que le 2 % de z . En général il n'est que de 5 à 10 %.

On pourra donc, sans commettre d'erreur considérable, admettre que la part de la conductibilité due aux acides du vin est une fraction constante et très faible de la conductibilité totale.

Il ne peut évidemment y avoir de relation rigoureuse entre z_{sels} et le poids des cendres, car :

1° Le vin contient, ainsi que nous l'avons démontré, des sels de bases organiques brûlés lors de la calcination de l'extrait. Ces substances seront comptées comme matières minérales bien qu'elles ne se retrouvent pas dans les cendres.

2° L'augmentation de conductibilité provoquée par une quantité égale des différents sels du vin n'est pas la même. Ainsi 1 gr. de NaCl par litre provoque une conductibilité de 0,00160, tandis que la valeur correspondant à 1 gr. de K^2SO^4 est de 0,00200 à 25°, etc.

3° La conductibilité des sels n'est pas proportionnelle à leur concentration, elle augmente moins vite que celle-ci et cela d'autant plus qu'il s'agit de sels donnant des ions polyvalents (Ca, SO^4 , PO^4 , etc.).

Ces considérations théoriques montrent qu'on ne peut pas s'attendre à une détermination absolument rigoureuse des cendres à partir de la conductibilité électrique. Mais, en revanche, elles établissent nettement les points suivants : la conductibilité du vin est due principalement aux matières minérales qu'il renferme, elle varie en raison inverse de la viscosité, qui est elle-même fonction de la teneur

en alcool ; l'influence des acides est toujours très faible et peut être considérée comme constante.

Partant de là, nous avons recherché une formule empirique qui permit de calculer le poids des cendres à partir de la conductibilité électrique du vin et de son degré alcoolique, déterminé à quelques dixièmes près. Après quelques tâtonnements nous avons finalement adopté l'expression suivante :

$$C = \frac{(z \cdot 10^5 + \beta) (A + 20)}{3340}$$

C = poids des cendres, en gr. par litre.

z = conductibilité spécifique du vin à 25°, exprimée en ohm-cm-réciproque.

β = facteur de correction.

A = p. 100 d'alcool en volume.

Lorsque $z \cdot 10^5$ est
compris entre

	$\beta =$
125-149	3
150-174	6
175-199	9
200-224	12
225-249	15
250-274	18
275-299	22
300-324	26
325-349	30
350-374	34
375-399	38
400-424	42
425-449	46
450-474	50

Les constantes β et 3340 qui entrent dans la formule ont été calculées à partir d'un grand nombre d'analyses. Afin d'éviter toute erreur systématique, nous avons utilisé dans ce but des vins de provenances et caractères très différents.

Le tableau suivant contient toute une série de dosages comparatifs de cendres effectués par les deux méthodes chimique et physico-chimique. Les déterminations gravi-

métriques ont été faites par calcination séparée des matières minérales solubles et insolubles.

n. 10 ⁵	A	Cendres		Ecart
		calculées	observées	
405	10.8	4.12	4.13	0.01
345	8.6	3.21	2.92	0.29
325	14.0	3.61	3.68	0.07
303	11.0	3.05	3.12	0.07
300	10.8	3.01	3.14	0.13
293	9.3	2.76	2.60	0.16
283	12.0	2.92	3.14	0.22
277	9.6	2.65	2.78	0.13
269	13.7	2.90	3.00	0.10
268	9.1	2.49	2.35	0.14
260	9.1	2.42	2.58	0.16
257	10.0	2.47	2.56	0.09
254	9.0	2.36	2.16	0.20
253	9.4	2.39	2.32	0.07
252	9.9	2.42	2.46	0.04
251	8.6	2.30	2.30	0.00
249	10.3	2.40	2.50	0.10
249	10.3	2.40	2.40	0.00
245	8.3	2.20	2.22	0.02
244	6.8	2.08	1.92	0.16
243	10.0	2.32	2.44	0.12
240	10.8	2.35	2.32	0.17
238	11.3	2.37	2.54	0.17
236	10.5	2.29	2.26	0.03
236	8.4	2.13	2.18	0.05
232	10.3	2.24	2.24	0.00
232	8.1	2.08	2.10	0.02
230	9.8	2.19	2.30	0.11
227	8.8	2.09	2.14	0.05
226	8.9	2.09	2.10	0.01
224	11.3	2.21	2.28	0.07
224	11.2	2.21	2.24	0.03
222	9.7	2.08	2.06	0.02
219	8.4	1.96	1.94	0.02
217	9.5	2.02	2.06	0.04
213	9.3	1.97	1.78	0.19
211	9.8	1.99	1.96	0.03
211	7.9	1.86	1.92	0.06
211	9.7	1.98	1.90	0.08
209	9.9	1.98	1.96	0.02
207	8.2	1.85	1.90	0.05

$\alpha \cdot 10^5$	A	Cendres		Ecart
		calculées	observées	
204	12.2	2.08	2.04	0.04
204	9.9	1.93	1.90	0.03
204	9.6	1.91	1.80	0.11
202	10.4	1.94	1.98	0.04
199	9.3	1.82	1.78	0.04
196	9.1	1.78	1.74	0.04
196	8.2	1.73	1.72	0.01
194	8.3	1.72	1.72	0.00
193	8.1	1.70	1.68	0.02
193	9.1	1.76	1.64	0.12
187	7.9	1.64	1.60	0.04
180	8.8	1.63	1.54	0.09
171	11.1	1.65	1.56	0.09
170	9.7	1.57	1.65	0.08
164	10.4	1.55	1.56	0.01
153	13.1	1.58	1.62	0.04
			Moyenne	0.07

Ces résultats montrent que le dosage physico-chimique des cendres fournit une précision moyenne de 0,07 gr. par litre, supérieure à celle du dosage gravimétrique par calcination directe de l'extrait. Une telle précision ne peut provenir que du fait que les différentes causes d'erreurs qui affectent le calcul se compensent assez exactement. Sur quelque trois cents vins pour lesquels nous possédons des dosages comparatifs, l'écart entre les deux dosages n'a dépassé 0,25 gr. que trois fois.

Il est cependant un cas où la formule
$$\frac{(\alpha \cdot 10^5 + \beta)(A + 20)}{3340}$$
 ne conduit pas à des résultats précis, c'est lorsque la teneur du vin en extrait sec est considérable. Les sucres et la glycérine, qui constituent généralement cet excès d'extrait sec, augmentent alors la viscosité du vin; cette constante physique n'est plus une fonction exclusive du degré alcoolique.

L'expérience nous a montré que cette action ne devient sensible que lorsque la teneur en extrait sec dépasse 30 gr. par litre.

Pour obtenir un dosage physico-chimique exact des cendres de vins riches en extrait, il faudra ajouter au chiffre que donne la formule un terme correctif, toujours positif, qui sera, par litre, de :

0.05 gr.			30 à 35 gr.	d'extrait à 100°
0.10	—	—	35 à 40	—
0.15	—	—	40 à 45	—
0.20	—	—	45 à 50	—
0.25	—	—	50 à 55	—
0.30	—	—	55 à 60	—

En tenant compte de ces corrections, le dosage physico-chimique des cendres de vins riches en extrait devient aussi exact que celui des vins peu chargés. Les résultats du tableau suivant mettent ce fait en évidence :

z. 10 ⁵	A	Extrait à 100°	Cendres		Ecart
			calculées	observées	
430	10.6	32.7	4.41	4.52	0.11
415	10.7	39.6	4.30	4.24	0.06
400	11.2	48.7	4.32	4.14	0.18
396	10.9	39.0	4.11	4.06	0.05
376	10.9	36.0	3.93	4.00	0.07
374	12.4	55.6	4.26	4.26	0.00
363	12.0	55.8	4.11	4.00	0.11
352	11.8	55.5	3.98	3.98	0.00
335	14.0	32.0	3.76	3.74	0.02
276	9.4	57.5	2.92	3.10	0.18
273	14.0	38.5	3.07	3.02	0.05
260	14.3	43.0	3.00	3.14	0.14
244	15.2	35.8	2.83	2.90	0.07
234	14.2	35.6	2.65	2.72	0.07

Conclusion. Le dosage des cendres par la méthode des conductibilités électriques, corrigé s'il y a lieu pour les vins riches en extrait, est plus précis que le dosage par calcination directe de l'extrait. Il est excessivement rapide et conduit à des valeurs que tous les chimistes travaillant par cette méthode retrouveront exactement à quelques centigrammes près par litre ; il fournit enfin un résultat tou-

jours très voisin de la valeur exacte obtenue par calcination séparée des cendres solubles et insolubles.

Alcool.

Presque toutes les méthodes de dosage de l'alcool dans le vin sont basées sur la détermination des constantes physiques de mélanges d'eau et d'alcool. On a successivement proposé la densité, la tension superficielle (tubes capillaires ou compte-gouttes), la température d'ébullition, la tension de vapeur (température d'inflammabilité de la vapeur), la conductivité électrique, l'indice de réfraction, etc. Lorsqu'on opère sur le vin, ces constantes physiques ne sont pas seulement fonction des proportions réciproques d'eau et d'alcool, mais elles sont encore influencées par tous les composants du vin, aussi les renseignements qu'elles peuvent fournir sur la teneur du vin en alcool ne sont-ils jamais qu'approximatifs.

Par la distillation, on sépare assez complètement l'alcool et l'on a admis que les petites quantités d'acides, aldéhydes, glycérine, esters volatils, existant normalement dans le vin, ne changent pas la densité du distillat. La détermination de cette dernière propriété servira alors à fixer la teneur en alcool du distillat et du vin. Cependant le dosage de l'alcool dans les vins piqués est faussé par l'acide acétique qui augmente la densité du distillatum d'une à trois unités de la quatrième décimale ; il est nécessaire dans ce cas de neutraliser le vin par un alcali avant la distillation.

Le poids spécifique des solutions d'eau et d'alcool varie peu avec la concentration ; entre 8 et 10 % d'alcool la densité, rapportée à celle de l'eau à 15° prise comme unité, passe de 0,9891 à 0,9866 ; c'est-à-dire qu'une erreur d'une unité de la 4^e décimale de la densité provoquera une erreur de 0,1 % environ sur le titre en alcool.

Pour pouvoir garantir absolument la 4^e décimale, les aéro-

mètres ou la balance de Westphall ne suffisent pas, il est nécessaire d'opérer avec le picnomètre, ce qui nécessite une pesée de précision et une température constante à 0°1 près.

Nous avons cherché une méthode plus rapide et plus sensible que celle des densités et l'avons trouvée dans la détermination des *températures critiques de dissolution* (T.C.D.). Cette méthode, dont le principe a été énoncé par Duclaux, a été employée entre autres par Crismer¹ pour contrôler la pureté de divers corps. Elle repose sur l'observation de la température à laquelle un mélange de deux ou plusieurs liquides devient homogène.

Lorsqu'on chauffe un mélange de deux liquides, partiellement solubles à la température ordinaire, par exemple l'eau et le phénol (29 %), on observe qu'à partir d'une certaine température (69°) le mélange devient homogène. Cette température, qu'on appelle température critique de dissolution, peut être déterminée très exactement soit en chauffant, soit en refroidissant ; dans ce dernier cas, il se forme à la T.C.D. un trouble opalescent (trouble critique, fausse solution) dont l'apparition est excessivement nette et peut être notée sans difficulté à 0°1 près.

L'addition d'un troisième corps (l'alcool, par exemple), soluble dans les deux liquides, augmente leur solubilité réciproque et par conséquent abaisse leur T.C.D.

En maintenant la proportion d'un des liquides constante et en variant la proportion réciproque des deux autres, il arrive fréquemment que la T.C.D. varie linéairement avec la concentration².

Le problème que nous nous sommes posé consistait à

¹ Crismer, *Bull.-Assoc. belge des Chim.* 18, 1, 1904.

² On comprendra que nous ne nous étendions pas sur la théorie des T.C.D. de mélanges ternaires, dont on trouvera un excellent résumé, en même temps que nombre d'observations nouvelles, dans une publication de Timmermans (*Zt. f. physik. Ch.*, 58, 129, 1907).

trouver un liquide peu soluble dans l'eau, mais miscible à l'alcool, dont le mélange avec les solutions alcooliques — obtenues par la distillation du vin — possédât une température critique de dissolution voisine de la température ordinaire et variant proportionnellement à la concentration de l'alcool. Les liquides qui nous ont donné les meilleurs résultats sont l'aniline ou le nitrobenzène, préalablement additionnés d'alcool dans les proportions suivantes :

- A. aniline 5 vol. + alcool 3 vol.
 B. nitrobenzène 1 » + » 9 »

Les solutions sont préparées une fois pour toutes; elles restent longtemps inaltérées.

En mélangeant 15 cm³ du liquide A et 10 cm³ d'une solution aqueuse d'alcool, on note les températures suivantes :

% d'alcool en volume de la solution aqueuse	Température critique de dissolution
8	43°65
10	38°85
12	34°15

La T.C.D. du mélange varie proportionnellement à la teneur en alcool de la dissolution aqueuse (distillat du vin) soit de 2°35 pour 1 % d'alcool.

La même opération effectuée avec le liquide B donne les résultats suivants :

% d'alcool	T.C.D.
8	27°35
10	25°
12	22°6

La variation de la T.C.D. avec le pour cent d'alcool de la dissolution aqueuse est aussi linéaire, soit de 1°2 pour 1 % d'alcool. Comme il est très facile d'obtenir la température critique de dissolution à 0°1 près (on pourrait même si cela était nécessaire la déterminer avec plus de précision) on obtiendra avec le liquide A une sensibilité cor-

respondant à $\frac{1}{23}$ ‰ d'alcool et avec le liquide B à $\frac{1}{12}$ ‰.

Pour vérifier la méthode, nous avons préparé quelques solutions aqueuses d'alcool et déterminé très exactement la densité de ces solutions pour en fixer le titre. Nous avons ensuite pris les T.C.D. de ces solutions additionnées du liquide A ou B dans les proportions indiquées plus haut. Les

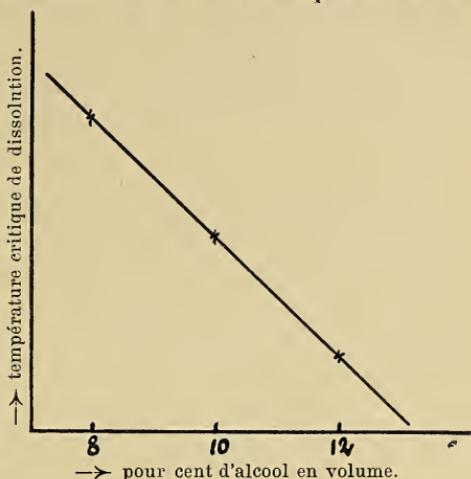


Fig. 39

T.C.D. correspondent à une teneur en alcool qui est immédiatement donnée par les tables précédentes ou par un graphique (fig. 39). La comparaison des résultats montre que les écarts entre les trois méthodes de dosage sont très faibles et atteignent en moyenne 0,06 ‰. Entre les teneurs d'alcool déterminées par les T.C.D. avec l'aniline et le nitrobenzène les écarts sont encore plus faibles.

% d'alcool d'après la densité	% d'alcool d'après la T.C.D. avec A (aniline)	% d'alcool d'après la T.C.D. avec B (nitrob.)	Ecart maximum entre les 3 méthodes ‰
8.00	8.02	8.05	0.05
9.10	9.02	9.10	0.08
9.56	9.65	9.65	0.09
9.92	9.85	9.85	0.07
11.17	11.20	11.18	0.03
12.93	12.90	12.85	0.08

En appliquant la méthode des températures critiques de dissolution aux distillata de vin, on constate que la teneur en alcool trouvée est presque toujours plus élevée que celle déterminée à partir de la densité. Cela provient

de ce que les autres produits passant à distillation diminuent la T.C.D. Les écarts sont particulièrement sensibles chez les vins piqués. Les deux méthodes fournissent en revanche des résultats strictement comparables si l'on prend la précaution de neutraliser le vin avant de le distiller.

En pratique, on pourra se contenter de la solution d'aniline qui permet de doser l'alcool avec plus de précision que la solution de nitrobenzène.

Le tableau suivant contient les résultats comparatifs obtenus pour quelques vins de nature différente.

% d'alcool d'après les densités	% d'alcool d'après la T.C.D. avec aniline	Ecart
12.24	12.21	0.03
12.08	12.04	0.04
11.77	11.76	0.01
11.29	11.32	0.03
10.81	10.76	0.05
10.73	10.73	0.00
10.12	10.16	0.04
9.68	9.62	0.06
9.35	9.33	0.02
8.53	8.54	0.01
8.15	8.08	0.07
7.92	7.93	0.01
7.84	7.80	0.04

Ce tableau montre que les résultats fournis par les deux méthodes sont très concordants.

La détermination de l'alcool dans les vins par la méthode des températures critiques de dissolution conviendra particulièrement aux laboratoires où l'on effectue des dosages d'alcool en série. Elle est plus rapide et tout aussi précise que la détermination au picnomètre.

CHAPITRE IV

Guide pratique pour l'analyse des vins
par conductibilités.

Réactifs.

Baryte $\frac{N}{4}$. Ce réactif étant utilisé pour le dosage d'une série d'éléments du vin, il y a avantage à le préparer en grand, par quantité d'au moins cinq litres. Dans ce but, on dissout dans de l'eau distillée chaude un excès de baryte cristallisée, à raison de 45 gr. par litre, laisse refroidir et filtre la solution — sur un grand filtre à plis — directement dans le récipient où elle doit être conservée. La petite quantité de carbonate de baryum formé au cours de la filtration se dépose après quelques heures ; on détermine alors la normalité de la solution par acidimétrie, puis l'on dilue avec la quantité d'eau calculée jusqu'à obtention de Ba(OH)_2 0,25 N.

Afin d'éviter toute carbonatation ultérieure de l'alcali, il conviendra d'adopter un récipient de la forme proposée par Metzger¹ dans lequel l'air qui pénètre est décarboniqué.

Soude caustique 5N. Ajouter quelques gouttes de strontiane pour éliminer les traces de carbonate. Une soude carbonatée conduit à de mauvaises courbes.

Nitrate de plomb N. Dissoudre 82,75 gr. sel cristallisé dans de l'eau distillée et compléter à 500 cm³. Contrôler le titre de ce réactif en dosant l'alcalinité d'une solution de tartrate neutre de potassium de concentration connue, $\frac{N}{50}$ par exemple, en présence d'un volume d'alcool (voir p. 156).

¹ Zeitschr. f. anal. Chem., 1900, 794.

Nitrate d'uranyle N. Dissoudre 25,2 gr. sel cristallisé dans un peu d'eau et diluer à 100 cm³. Vérifier le titre par comparaison avec une solution de phosphate de concentration connue.

Alcool à 95°. Ne doit contenir aucune impureté acide ou basique. Si l'alcool n'a pas été rectifié, il y a lieu de contrôler sa pureté en le titrant par la méthode des conductibilités, une fois avec de la soude et une fois avec de l'acide chlorhydrique titrés. La présence d'un acide ou d'un alcali sera indiquée par une inflexion de la courbe de neutralisation; dans ce cas, l'alcool est toujours à rejeter.

Les autres réactifs sont d'un emploi trop courant pour qu'il soit nécessaire de donner leur mode de préparation, ce sont :

Acide chlorhydrique $\frac{N}{10}$.

Acide tartrique N.

Acide acétique glacial.

Ammoniaque N.

Nitrate d'argent N.

Oxalate de sodium N.

Dosage des chlorures.

Il s'effectue sur 50 cm³ de vin. On ajoutera le réactif nitrate d'argent N par portions de 0,10 cm³ si le vin est riche en chlorures et par portions de 0,03 cm³ s'il en contient très peu. La courbe de précipitation est suffisamment bien déterminée par quatre ou cinq points.

L'opération sera conduite rapidement, car la précipitation de AgCl est instantanée et la conductibilité prend de suite sa valeur définitive après chaque addition de réactif.

Il peut arriver qu'un vin contienne des traces de chlorures que la première addition de nitrate d'argent préci-

pite intégralement : le premier point de la courbe se trouve alors dans la partie BC (fig. 16, p. 169). Même dans ce cas défavorable on obtient le point d'inflexion cherché. En effet, l'angle formé par AB avec l'axe des volumes est toujours identique dans toutes les titrations de chlorures ; il suffit donc de tracer depuis l'origine de la courbe une droite convenablement inclinée et de noter le point de rencontre de cette droite avec la droite BC fournie par l'expérience.

Soit Ob le nombre de cm^3 employé :

$Ob \times 0.71 =$ chlorures, en gr. Cl. par litre.

Exemples :

50 cm^3 Vin I		50 cm^3 Vin II	
$t = 21^{\circ}6$	R = 20 ohms	$t = 20^{\circ}0$	R = 40 ohms
$\text{cm}^3 \text{AgNO}_3 \text{ N}$	$\frac{a}{b}$	$\text{cm}^3 \text{AgNO}_3 \text{ N}$	$\frac{a}{b}$
0.0	0.5800	0.00	0.8102
0.1	5799	0.05	8106
0.2	5798	0.10	8258
0.3	5797	0.15	8425
0.4	5795	0.20	8575
0.5	5794		
0.6	5792	Inflexion à 0,045 cm^3	
0.7	5835	$0.045 \times 0.71 = 0.032$ gr. Cl $^{\circ}/_{00}$	
0.8	6032		
0.9	6225		

Inflexion à 0,68 cm^3

$0.68 \times 0.71 = 0.483$ gr. Cl $^{\circ}/_{00}$

Dosage des sulfates.

On détermine rigoureusement — à quelques mgr. par litre près — les sulfates du vin en ajoutant la baryte par petites quantités de 0,2 à 0,3 cm^3 . Mais cette opération, qui nécessite l'emploi d'une burette de 1 cm^3 , est superflue car il est généralement suffisant de doser les sulfates à

0,01 ou 0,02 gr. près — ce qui est la précision de la gravimétrie. On y parvient sans peine en suivant le mode opératoire décrit à la page 277, plus expéditif et permettant en outre le dosage des matières minérales et des acidités totale, forte et faible.

Dosage des phosphates minéraux.

On introduit dans la cuve 50 cm³ de vin auquel on ajoute 40 cm³ d'alcool à 95 %; on mélange jusqu'à ce que la solution soit bien homogène. La chaleur qui se dégage élève la température de 2° à 3°; lorsque celle-ci est constante à t° on commence la titration.

Le réactif, nitrate d'uranyle N, est ajouté par portions de 0,1 cm³, ou de 0,05 cm³ si le vin contient anormalement peu de phosphates. La précipitation du phosphate d'uranyle n'étant pas instantanée, on attendra 8-10 minutes entre chaque addition de réactif. Pendant cet intervalle de temps la température baisse, aussi doit-on la ramener à t° avant de déterminer la conductibilité. Après précipitation complète — point B de la fig. 18, p. 178 — la conductibilité prend immédiatement sa valeur définitive et l'on effectuera rapidement les dernières additions de réactif.

La première partie AB de la courbe de précipitation est une droite; la seconde partie BC est, suivant les vins, tantôt une droite tantôt une courbe peu accentuée. Il peut arriver qu'au voisinage de l'inflexion un point sorte visiblement de la courbe; il suffit dans ce cas de n'en pas tenir compte.

Ob $\times 0,71$ = phosphates minéraux, en gr. P²O⁵ par litre.

Exemples :

50 cm ³ Vin I (courbe très nette)		50 cm ³ Vin II (courbe moins nette)	
t = 23°6 R = 50 ohms		t = 24°2 R = 70 ohms	
cm ³ UO ² (NO ³) ² N	$\frac{a}{b}$	cm ³ UO ² (NO ³) ² N	$\frac{a}{b}$
0.0	0.661	0.0	0.535
0.1	667	0.1	546

0.2	673	0.2	556
0.3	678	0.3	574
0.4	685	0.4	597
0.5	692	0.5	626
0.6	701	0.6	658

0.7 718

Inflexion à 0,22 cm³

0.8 739

$$0.22 \times 0.71 = 0.16 \text{ gr. P}^2\text{O}^5 \text{ ‰}$$

Inflexion à 0,58 cm³

$$0.58 \times 0.71 = 0.41 \text{ gr. P}^2\text{O}^5 \text{ ‰}$$

Le dosage des phosphates étant assez long (40-60 minutes), il convient de disposer de deux cuves et de procéder à d'autres dosages pendant que le phosphate d'uranyle précipite.

Dosage de la chaux.

On introduit dans un cylindre gradué 50 cm³ de vin, on ajoute 2 cm³ d'acide sulfurique dilué et 100 cm³ d'alcool à 95°; on agite un instant et laisse reposer pendant deux heures. Après ce laps de temps, on décante le liquide clair sur un filtre sans plis puis on fait passer le précipité sur le filtre à aspirateur. Lorsque le filtratum, qui est d'ordinaire très limpide, présente un faible louche, on aura soin de le filtrer à nouveau. On lave rapidement le filtre avec un peu d'alcool à 70 ‰ pour enlever toute trace d'acide sulfurique, et on le jette dans une fiole avec 30 cm³ environ d'eau distillée. Après une demi-heure, la dissolution du précipité étant complète, on introduit, sans filtration préalable, la solution de sulfate de calcium dans la cuve. On rince le filtre deux fois avec un peu d'eau distillée, en réunissant les eaux de lavage à la solution.

Le réactif, oxalate de sodium N, est ajouté par quantités de 0,05 cm³; huit ou dix points suffisent pour construire la courbe. Celle-ci se compose de deux droites reliées par une partie incurvée (fig. 19, p. 182); le point d'inflexion

cherché se trouve à leur intersection. La précipitation de l'oxalate de calcium n'étant pas instantanée, il est préférable, pour l'obtention de bonnes courbes, d'attendre deux minutes entre chaque addition de réactif.

La quantité de chaux contenue dans le vin est de

$$Ob \times 0.56 = \text{CaO, en gr. } \text{‰}$$

Exemples :

Vin I		Vin II	
$t = 20^{\circ}4$	$R = 80 \text{ ohms}$	$t = 21^{\circ}4$	$R = 100 \text{ ohms}$
$\text{cm}^3 \text{ C}^2\text{O}^4\text{Na}^2 \text{ N}$	$\frac{a}{b}$	$\text{cm}^3 \text{ C}^2\text{O}^4\text{Na}^2 \text{ N}$	$\frac{a}{b}$
0.00	0.497	0.00	0.799
0.05	529	0.05	828
0.10	556	0.10	863
0.15	585	0.15	894
0.20	618	0.20	922
0.25	667	0.25	955
0.30	722	0.30	0.989
0.35	778	0.35	1.035
		0.40	1.088
		0.45	1.151
		0.50	1.217
		0.55	1.285
		0.60	1.353
		Inflexion à 0.35 cm^3	
		$0.35 \times 0.56 = 0.196 \text{ gr. CaO } \text{‰}$	

Dosage de l'acide tartrique total.

On introduit dans la cuve 30 cm^3 de vin, 8 cm^3 d'acide acétique glacial, $1 - 1,5 \text{ cm}^3$ d'ammoniaque N, $0,4 \text{ cm}^3$ d'acétate d'uranyle N (quantité généralement suffisante pour précipiter les phosphates minéraux) et 90 cm^3 d'alcool. On agite pour bien mélanger les liquides et on titre avec le baryte $\frac{\text{N}}{4}$.

On ajoute le réactif par 0,5 cm³ à la fois, au moyen d'une burette ordinaire, ce qui produit un dégagement de chaleur appréciable (0°1 à 0°2). Il faut donc, avant chaque détermination de la conductibilité, attendre un instant que la température reprenne sa valeur initiale — ou refroidir le cas échéant. Lorsque la précipitation du tartrate de baryum est terminée, il suffit de faire encore quatre additions de réactif pour bien fixer la dernière partie BC (fig. 21, p. 195) de la courbe. Celle-ci revêt l'une des deux formes ABC ou A'B'C', et le point d'inflexion est B ou B'.

Il peut arriver, chez les vins très riches en sulfates, que la précipitation de Ba SO⁴ entraîne au début une légère baisse de la conductibilité; on trace, dans ce cas, la courbe en négligeant les premiers points.

Soit

$Ob =$ nombre de cm³ de baryte $\frac{N}{4}$ correspondant au point d'inflexion B ou B'.

$n =$ nombre de cm³ N de sulfate par litre.

La quantité d'acide tartrique contenu dans le vin est de $(Ob \times 33.3 - 4n)0.01875 =$ gr. C⁴H⁶O⁶ par litre.

Exemples :

Vin I (courbe ABC).	Vin II (courbe A'B'C').
$t = 22^{\circ}5$ $R = 100$ ohms	$t = 23^{\circ}$ $R = 100$ ohms

$\text{cm}^3 \text{Ba}(\text{OH})_2 \frac{N}{4}$	$\frac{a}{b}$	$\text{cm}^3 \text{Ba}(\text{OH})_2 \frac{N}{4}$	$\frac{a}{b}$
0.0	0.522	0.0	0.484
0.5	528	1.0	491
1.0	536	2.0	498
1.5	543	3.0	504
2.0	550	3.5	507
2.5	558	4.0	511
3.0	565	4.5	515

3.5	572	5.0	520
4.0	580	5.5	526
4.5	592	6.0	534
5.0	605	6.5	545
5.5	619	7.0	557
6.0	632	7.5	570
	<i>Ob</i> = 4.0	8.0	584
	<i>n</i> = 5.0	8.5	597
(4 × 33.3 — 4 × 5) 0.01875		9.0	611
= 2.12 gr. C ⁴ H ⁶ O ⁶ /‰		<i>Ob</i> = 6.35	
		<i>n</i> = 10.4	
		(6.35 × 33.3 — 4 × 10.4) 0.01875	
		= 3.20 gr. C ⁴ H ⁶ O ⁶ /‰.	

Dosage de l'acidité totale.

On chauffe, jusqu'à commencement d'ébullition, 50 cm³ de vin qui est introduit dans la cuve après refroidissement. On titre avec la solution de soude 5 N, en ajoutant ce réactif par portions de 0,1 ou 0,2 cm³ et de 0,05 cm³ au voisinage de l'inflexion. Il n'y a aucune précaution spéciale à prendre pour cette titration qui ne présente pas de difficulté. Mentionnons cependant que lorsqu'on trace la courbe de neutralisation (fig. 23, p. 209) on a toujours la tendance à choisir le point d'inflexion trop à gauche ; il se trouve en réalité en N.

Ce dosage n'offre pas un intérêt pratique très grand, car il conduit aux mêmes résultats que le dosage par la baryte, beaucoup plus avantageux par ailleurs. Il peut néanmoins être utilisé comme dosage de contrôle dans les cas douteux.

Soit *On* le nombre de cm³ de soude utilisée :

$On \times 100 = \text{acidité totale, en cm}^3 \text{ N par litre.}$

Exemples :

Vin blanc.		Vin rouge.	
$t = 22^{\circ}0$ $R = 10$ ohms.		$t = 22^{\circ}6$ $R = 10$ ohms.	
$\text{cm}^3 \text{NaOH}, 5 \text{N}$	$\frac{a}{b}$	$\text{cm}^3 \text{NaOH}, 5 \text{N}$	$\frac{a}{b}$
0.0	0.290	0.0	0.292
0.2	350	0.2	359
0.4	426	0.4	429
0.6	505	0.5	467
0.8	585	0.6	504
0.9	626	0.7	543
1.0	668	0.8	580
1.1	701	0.9	609
1.2	729	1.0	627
1.3	773	1.1	656
1.35	807	1.15	673
1.4	845	1.20	695
1.45	887	1.25	727
1.5	931	1.30	761
1.55	976	1.40	831
Inflexion à 1.315 cm^3 .		Inflexion à 1.19 cm^3 .	
$1.315 \times 100 = 131.5 \text{ cm}^3 \text{N}$		$1.19 \times 100 = 119 \text{ cm}^3 \text{N}$ par	
par litre d'acidité totale.		litre d'acidité totale.	

Dosage de l'acalinité totale.

Ce dosage exige la détermination préalable des sulfates et des phosphates minéraux.

On introduit dans la cuve 40 cm^3 de vin auquel on ajoute : a) $0,3$ à $0,4 \text{ cm}^3$ de nitrate d'argent N — quantité généralement suffisante pour précipiter les chlorures — ; b) 1 à $1,5 \text{ cm}^3$ d'acide tartrique N ; c) 80 cm^3 d'alcool à 95° . On mélange en renversant la cuve et on titre avec le nitrate de plomb N.

On effectue généralement trois ou quatre additions de

0,2 cm³ de réactif, puis on termine la titration en ajoutant celui-ci par 0,1 cm³. L'opération doit être conduite rapidement, surtout lorsqu'on a dépassé le point B (fig. 37, p. 245). On sait déjà qu'un excès de réactif provoque une solubilisation lente du précipité, ce qui a pour effet de fausser le dosage de l'alcalinité si l'on n'opère pas avec la célérité voulue. Le point d'inflexion B se trouve à l'intersection de la courbe AB et de la droite BC.

Soit

Ob = nombre de cm³ Pb(NO³)² N utilisé

m = nombre de cm³ N de sulfate par litre

n = nombre de cm³ N de phosphates minéraux par litre

Q = alcalinité du vin, en cm³ N par litre.

On a

$$Q = Ob \times 25 - m - \frac{n}{3}$$

Exemples :

Vin blanc $\left\{ \begin{array}{l} K^2SO^4 = 0.363 \text{ gr. } \text{‰} \\ P^2O^5 = 0.28 \text{ gr. } \text{‰} \end{array} \right.$

Vin rouge $\left\{ \begin{array}{l} K^2SO^4 = 0.53 \text{ gr. } \text{‰} \\ P^2O^5 = 0.32 \text{ gr. } \text{‰} \end{array} \right.$

$t = 22^{\circ}8$ $R = 180 \text{ ohms}$

$t = 22^{\circ}2$ $R = 150 \text{ ohms}$

cm ³ Pb(NO ³) ² N	$\frac{a}{b}$	cm ³ Pb(NO ³) ² N	$\frac{a}{b}$
0.0	0.524	0.0	0.501
0.5	0.640	0.6	0.706
0.8	0.779	0.8	0.784
1.0	0.892	1.0	0.867
1.1	0.956	1.1	0.912
1.2	1.028	1.2	0.959
1.3	1.090	1.3	1.010
1.4	1.161	1.4	1.064
1.5	1.240	1.5	1.128
1.6	1.333	1.6	1.208
1.7	1.430	1.7	1.297
1.8	1.532	1.8	1.404
1.9	1.639	1.9	1.516

2.0	1.744	2.0	1.632
2.1	1.842	2.1	1.743
		2.2	1.861
<i>Ob</i> = 1.53		<i>Ob</i> = 1.69	
<i>m</i> = 4.2		<i>m</i> = 6.1	
<i>n</i> = 11.8		<i>n</i> = 13.5	
$1.53 \times 25 - 4.2 - \frac{11.8}{3}$		$1.69 \times 25 - 6.1 - \frac{13.5}{3}$	
= 30.2 cm ³ N ‰ d'alcalinité totale.		= 31.6 cm ³ N ‰ d'alcalinité totale.	

Dosage des cendres.

Ce dosage est basé sur le degré alcoolique A et la conductibilité spécifique α du vin à 25°. Un écart de 0,5 ‰ sur le titre en alcool fausse peu le calcul des cendres, et l'erreur que l'on peut commettre dans ce dosage provient généralement d'une détermination défectueuse de la conductibilité.

On se servira d'une cuve de capacité K connue (voir p. 138), on vérifiera l'état de propreté des électrodes qu'on nettoiera au besoin par électrolyse d'une solution diluée d'acide chlorhydrique.

On lave la cuve avec un peu de vin en examen et l'on y introduit un volume de liquide suffisant pour que les électrodes soient recouvertes d'au moins 2 cm. On porte rapidement la température à 25° et on détermine la conductibilité spécifique α .

La formule permettant de calculer le poids des cendres d'un litre de vin est

$$\frac{(\alpha \cdot 10^5 + \beta) (A + 20)}{3340}$$

où β est un facteur de correction donné à la p. 256.

Dosage de l'ammoniaque.

100 cm³ de vin sont additionnés d'un excès de baryte puis filtrés sur un filtre à plis. On prélève une partie ali-

quote du filtratum, on ajoute 100 cm³ d'eau et on distille dans un ballon à fond plat dont le col a environ 15 cm. de longueur.

La distillation sera conduite de telle façon que la vapeur ne se condense jamais sur du verre et qu'il n'y ait pas de projection — si minime soit-elle —. M. Moralès, qui a étudié ce dosage, recommande d'utiliser un tube de réfrigérant en étain, recourbé à sa partie supérieure et pénétrant directement dans le ballon. Ce tube, comme le ballon servant à recueillir le liquide, seront lavés à l'eau distillée avant de commencer l'opération. Avec les réfrigérants en verre on trouve toujours trop d'alcali dans le distillatum, ce qui est dû à la dissolution des silicates alcalins.

On recueille le distillatum dans un ballon jaugé de 200 cm³ jusqu'au voisinage du trait de jauge, et l'on complète avec de l'eau distillée. Une partie mesurée du liquide est versé dans la cuve — à électrodes non platinées — et titré par l'acide chlorhydrique $\frac{N}{10}$.

Les additions se feront par 0,05 cm³ pour les vins renfermant peu d'ammoniaque et par 0,1 cm³ s'ils en contiennent davantage.

Lorsque le vin renferme des traces d'ammoniaque, la première addition de réactif peut suffire pour neutraliser le distillatum. On obtient le point d'inflexion B (fig. 38, p. 251) en procédant comme nous l'avons indiqué pour les chlorures.

L'expérience a montré qu'en effectuant ce dosage de la façon indiquée, on ne peut éviter toute perte d'ammoniaque pendant la distillation. On tiendra compte de cette perte en ajoutant au résultat final le 15 % de sa valeur.

Exemple :

$$\begin{array}{r} \text{Vin} = 100 \text{ cm}^3 \\ \text{Baryte} = \underline{70 \text{ cm}^3} \\ \text{Volume total} = 170 \text{ cm}^3 \\ \text{Volume distillé} = 150 \text{ cm}^3 \end{array}$$

Volume de distillat recueilli = 200 cm³
 » » titré = 120 cm³
 t = 20°2 R = 800 ohms

cm ³ HCl	$\frac{N}{10}$	$\frac{a}{b}$
0.00		0.233
0.10		0.416
0.20		0.631
0.30		0.848
0.40		1.066
0.45		1.123
0.50		1.309
0.55		1.630
0.60		1.959

Inflexion à 0,475 cm³

$$0.475 \times \frac{200}{120} \times \frac{170}{150} \times \frac{1000}{100} \times 1.7 = 15.2 \text{ mgr. NH}_3$$

Correction = 2.3 mgr.

Ce vin contient donc 17,5 mgr. NH³ ‰.

**Dosages simultanés des cendres, des sulfates,
de l'acidité totale, de l'acidité forte et de l'acidité faible.**

On introduit 50 cm³ de vin dans un ballon jaugé (rincé avec le même liquide) dont le trait de jauge est au bas du col. On chauffe jusque près de l'ébullition pour chasser l'acide carbonique, sans perdre de liquide, ce qui aurait pour effet de fausser le dosage des cendres. On refroidit rapidement et on verse le vin dans la cuve, préalablement lavée avec de l'eau et un peu de vin à examiner.

La titration par la baryte $\frac{N}{4}$ s'effectue à 25°. Pour les déterminations qui servent à fixer la partie AB de la courbe (fig. 25, p. 214) on ajoute l'alcali par petites quantités de

0,5 cm³ jusqu'à ce que l'addition de baryte augmente la conductibilité.

Lorsque les sulfates sont entièrement précipités, on ajoute le réactif par trois ou quatre cm³ à la fois, aussi longtemps que le vin reste nettement acide, ce qu'on reconnaît en observant sa couleur. A l'approche du point neutre C, les additions se font par quantités de un ou deux cm³ jusqu'à la fin de l'opération. Il est nécessaire de faire les déterminations aussi rapidement que possible, sans trop se préoccuper de leur manque de précision. Une erreur de pointé entre C et D ne modifie pas la position du dernier point H' qui seul doit être fixé avec précision.

Représentation graphique. On peut construire la courbe de neutralisation de deux manières différentes :

a) On porte en ordonnées les valeurs $\frac{a}{b}$. Ce mode de faire est le plus simple. La courbe sera construite sur simple papier quadrillé.

b) On porte en ordonnées les conductibilités spécifiques z . Ce procédé nous paraît préférable, car il est le seul qui permette de comparer utilement les courbes de différents vins, et d'obtenir les renseignements qualitatifs dont nous avons parlé.

La conductibilité spécifique d'un vin varie dans d'assez grandes limites par suite de l'addition de baryte, mais, pour la très grande généralité des vins, ces valeurs sont comprises entre 0,00150 et 0,00500 ohm-cm-réciproque. Il est préférable d'exprimer les conductibilités par des nombres entiers, et, pour cela, nous multiplions toujours z par $100.000 = 10^5$.

Supposons, par exemple, que la constante de la cuve soit $K = 0,110$, la résistance de comparaison 40 ohms, $a = 38,2$ cm. Les tables donnent

$\frac{a}{b} = \frac{38,2}{61,8} = 0,6181$. La conductibilité spécifique devient

$$z = \frac{a}{b R} K = \frac{0,6181}{40} 0,110 = 0,00170$$

$$z \cdot 10^5 = 170$$

On voit immédiatement que, si l'on devait faire ce long calcul pour chaque détermination, la méthode perdrait de sa simplicité. Afin d'éviter cet inconvénient, on use d'un artifice qui consiste à utiliser toujours la même cuve et la même résistance de comparaison (30, 35 ou 40 ohms). Les valeurs de K et de R étant alors constantes, la conductibilité spécifique du vin devient une fonction de a .

On calculera successivement les valeurs $\frac{a K}{b R}$ pour $a = 30, 35, 40, \dots, 65$ cm. — la partie du pont qu'on utilise généralement étant comprise entre 30 et 65 cm. — et l'on portera ces valeurs sur un graphique.

La courbe de la fig. 40, construite sur du papier millimétré, représente les variations de $z \cdot 10^5$ en fonction de a , pour une cuve dont la constante est $K = 0,110$ et pour une résistance de 40 ohms.

La règle à calcul rend, du reste, les mêmes services que cette interpolation graphique.

Afin de faciliter les comparaisons entre les courbes, nous les reportons toutes sur un graphique spécial dont la fig. 41 est une réduction au 35 %. Les dimensions en sont suffisantes pour qu'on puisse y faire figurer tous les vins.

L'échelle que nous avons choisie est arbitraire, mais elle offre sur l'échelle quadratique, qu'on nous a proposée de divers côtés, l'avantage de mettre mieux en relief les dif-

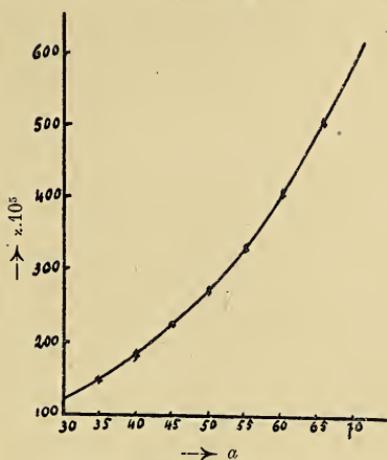


Fig. 40.

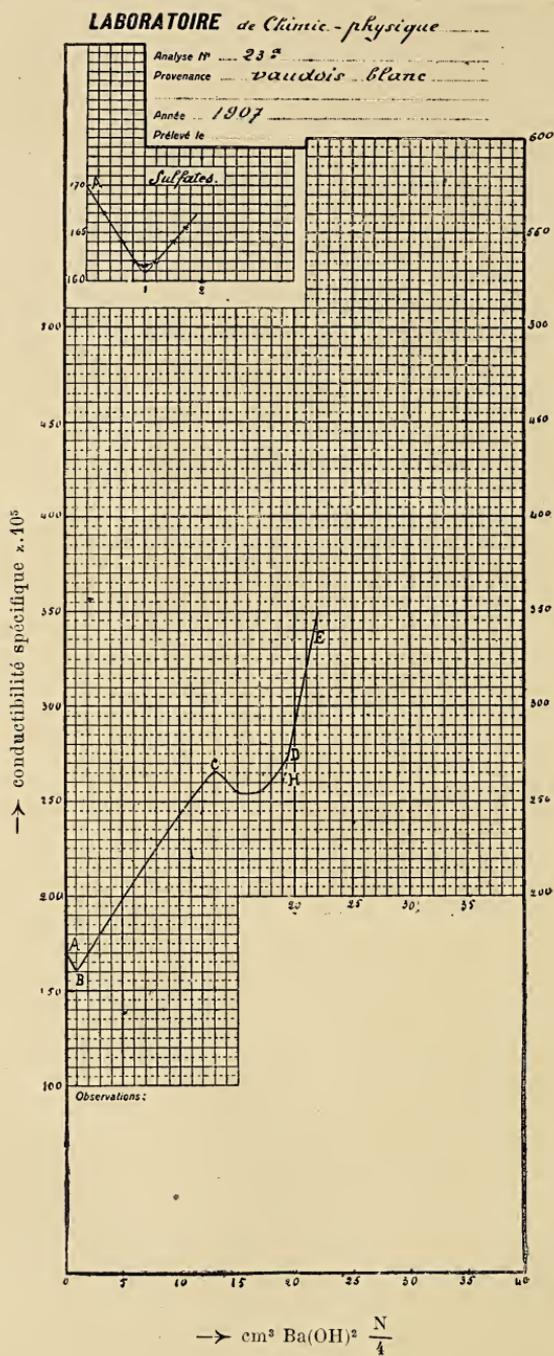


Fig. 41.

férentes particularités de la courbe. La partie supérieure du graphique permet, lorsqu'on veut déterminer les sulfates avec une grande précision, de porter la première partie AB de la courbe à une plus grande échelle.

Les dosages obtenus par la courbe de neutralisation sont les suivants :

$$\text{Cendres, en gr. par litre} = \frac{(z \cdot 10^5 + \beta)(A + 20)}{3340}$$

$$\text{Sulfates, en gr. K}^2\text{S0}^4 \text{ par litre} = Ob \times 0,435$$

$$\text{Acidité totale, en cm}^3 \text{ N par litre} = Oh' \times 5$$

$$\text{Acidité forte, } \gg \gg \gg \gg \gg = Oc \times 5$$

$$\text{Acidité faible, } \gg \gg \gg \gg \gg = ch' \times 5$$

z étant la conductibilité spécifique du vin à 25° (= OA, fig. 25); β le facteur de correction dont la valeur est donnée à la page 256; A le degré alcoolique du vin; Ob, Oh', Oc les abscisses des points B, C et H'.

Exemples :

Vin blanc Alcool = 9,1 %		Vin rouge Alcool = 10,6 %	
cm ³ Ba (OH) ² $\frac{N}{4}$	$z \cdot 10^5$	cm ³ Ba (OH) ² $\frac{N}{4}$	$z \cdot 10^5$
0.0	249	0.0	360
0.5	241	0.5	352
1.0	233	1.0	346
1.5	226	1.5	350
2.0	221	2.0	356
2.5	224	6.0	400
3.0	228	10.0	441
3.5	232	12.0	460
4.0	236	14.0	480
7.0	261	15.0	489
10.0	283	16.0	488
15.0	312	17.0	478
17.0	322	20.0	463
19.0	332	22.0	459

21.0	342	24.0	459
22.0	346	26.0	464
23.0	347	28.0	492
24.0	339	30.0	537
26.0	326	32.0	585
28.0	333	34.0	635
30.0	352	OA = 360	Oh' = 26.8 cm ³
32.0	390	Ob = 1.0 cm ³	Oc = 15.4 cm ³
34.0	446		ch' = 11.4 cm ³
36.0	502	(360 + 34)	30.6
OA = 249	Oh' = 29.8 cm ³	$\frac{3340}{3340} = 3.61 \text{ gr.}$	
Ob = 1.9 cm ³	Oc = 22.6 cm ³	cendres ‰	
	ch' = 7.2 cm ³	1.0 × 0.435 = 0.43 gr.	
(249 + 15)	29.1	K ² SO ⁴ ‰	
$\frac{3340}{3340} = 2.30 \text{ gr.}$		26.8 × 5 = 134.0 cm ³ N ‰	
cendres ‰		d'acidité totale	
1.9 × 0.435 = 0.83 gr.		15.4 × 5 = 77.0 cm ³ N ‰	
K ² SO ⁴ ‰		d'acidité forte	
29.8 × 5 = 149.0 cm ³ N ‰		11.4 × 5 = 57.0 cm ³ N ‰	
d'acidité totale		d'acidité faible	
22.6 × 5 = 113.0 cm ³ N ‰			
d'acidité forte			
7.2 × 5 = 36.0 cm ³ N ‰			
d'acidité faible			

Dosage de l'alcool

(par la méthode des températures critiques de dissolution).

L'aniline du commerce, distillée, est additionnée d'alcool à 95 ‰ dans la proportion :

Aniline, 5 volumes + alcool, 3 volumes.

On conserve cette solution dans un flacon à l'émeri, en ayant soin de tenir toujours le flacon bouché, pour empêcher l'évaporation de l'alcool.

L'appareil pour la détermination des températures criti-

ques de dissolution (T.C.D.) se compose d'une éprouvette de 3 $\frac{1}{2}$ cm. de diamètre et 15 cm. de longueur environ, fermée par un bouchon de liège qui laisse passer librement un petit agitateur de verre (tige de verre recourbée à l'extrémité, qui plonge dans l'éprouvette). Un thermomètre sensible à petit réservoir, permettant d'apprécier le $\frac{1}{10}$ de degré, est fixé dans le bouchon. Si l'on conserve le même thermomètre pour toutes les déterminations, on ne prendra pas la peine de le vérifier, les indications qu'il fournira étant relatives.

Pour étalonner la solution d'aniline, on prépare trois solutions contenant approximativement 8, 10 et 12 % d'alcool. On prend avec soin la densité de ces solutions avec un picnomètre pour fixer leur titre exact, on détermine ensuite leur T.C.D. avec la liqueur d'aniline de la façon suivante :

On introduit dans l'éprouvette bien sèche 15 cm³ du liquide et 10 cm³ de la solution alcoolique. Le mélange est trouble à la température ordinaire et s'éclaircit brusquement à la température critique, lorsqu'on chauffe en agitant. Par refroidissement apparaît le trouble, exactement à la même température ; comme ce dernier processus est plus facile à suivre que le précédent on le préférera. Une table ou un graphique (fig. 39 p. 263.) donne la teneur d'alcool cherchée en fonction de la T.C.D.

Il convient d'employer toujours la même pipette de 10 cm³ pour mesurer la solution alcoolique et d'en avoir une autre de 15 cm³ servant exclusivement pour mesurer la solution d'aniline. Cela évite le nettoyage des pipettes entre deux opérations et diminue les erreurs de mesure du volume.

Exemple : trois solutions aqueuses d'alcool avaient une densité de 0,9889, 0,9865 et 0,9840 correspondant à des teneurs de 8,14 %, 10,07 % et 12,30 % ; leur température critique avec l'aniline était de 43°2, 38°65 et 33°4. En portant ces valeurs sur du papier quadrillé — pour cent

d'alcool en abscisses, T.C.D. en ordonnées — on obtient très sensiblement une droite qui servira à intrapoler le pour cent d'alcool correspondant à une T.C.D. donnée.

Les densités qui servent de repère doivent être déterminées très exactement, mais une fois en possession de la solution d'aniline étalonnée, la détermination de la T.C.D. dure seulement quatre à cinq minutes, tandis que la mesure de la densité exacte à la quatrième décimale prend plus de temps. Une bonne précaution est de contrôler la liqueur de temps en temps avec des solutions aqueuses d'alcool à titres connus.

Le dosage de l'alcool dans le vin se fait en distillant ce liquide en présence d'un léger excès de soude et en déterminant la T.C.D. du distillatum de la façon indiquée. Le graphique donne immédiatement la teneur en alcool correspondante.



RAPPORT ANNUEL

sur la marche de la Société vaudoise des Sciences naturelles
pendant l'année 1911
présenté à l'Assemblée générale du 28 décembre

PAR

M. P.-L. MERCANTON, président.

Messieurs et chers collègues,

Une année encore de travail dans la paix et la concorde s'achève aujourd'hui pour la Société vaudoise des Sciences naturelles.

La mort a durement frappé dans nos rangs ; elle nous a ravi coup sur coup cinq membres effectifs, MM. Burnier, Marc Duvoisin, Henri Jaccottet, W. Robert, Henri Stilling ; un associé émérite, M. Samuel Bieler ; sept membres honoraires, MM. Van Bemmelen, de Coppet, Hagenbach-Bischoff, Hooker, Michel Lévy, Plateau, de Claparède. On vous a dit naguère les mérites de ces collègues, proches ou lointains, dont quelques-uns comptèrent parmi les plus grands dans leur science, dont plusieurs furent de solides soutiens de notre activité et qui tous certainement ne laissent ici que des regrets.

Nous avons dû enregistrer quatre démissions, celles de MM. L. Buttin, Henri Monod, Paul Paccaud et E. Magnenat, et considérer comme démissionnaire M. Limanowski, qui nous laisse sans nouvelles de lui.

Des admissions en nombre réjouissant ont compensé les pertes de notre effectif, qui s'est augmenté principalement de jeunes forces. Nous avons reçu ainsi M^{me} Jé-

rémime, MM. Louis Baudin, Adolphe Burdet, Charles Cherix, Jules Courvoisier, Alexis Emery, Edwin Frankfurter, Ernest Gagnebin, Donatello Gigliucci, Albert Perrier, Louis Piguet, Arnold Raymond, Emile Ruffieux.

L'Assemblée générale du 24 juin, à Nyon, a conféré à M. le Prof. Edouard Bugnion la qualité d'associé émérite et à MM. Hans Hess, de Nuremberg; Fritz Zschokke, de Bâle, et Charles Knapp, de Neuchâtel, celle de membre honoraire.

Notre état nominatif compte ainsi au 20 décembre 1911 225 membres effectifs (221 en 1902), 7 associés émérites, 7 membres en congé et 47 membres honoraires. Au total, 286 membres (287 en 1910).

La Société a été invitée au jubilé cinquantenaire de la Société des Naturalistes de Cassel et au Congrès de chimie appliquée de Washington (1912), ainsi qu'à l'assemblée générale de la Société jurassienne d'émulation, à Berne. M. Fr. Jaccard et votre Président vous ont représentés à la réunion annuelle de la Société helvétique des Sciences naturelles à Soleure; la Société était représentée également à la réunion de la Murithienne.

En 1911, la Société a eu 18 séances, la plupart assidûment suivies. A cinq reprises, nous avons pu attirer à nos réunions du soir un public particulièrement nombreux, ces soirées ayant été consacrées à des exposés d'un caractère général et plus accessible aux personnes qui, sans cultiver directement les sciences naturelles, y prennent cependant intérêt. Semblables séances ont paru fort goûtées et sont de nature à faciliter le recrutement de notre association. Le président a d'ailleurs veillé à ce que cette extension de notre champ d'activité ne fût pas au détriment du sérieux et de la qualité des communications faites.

Il est réjouissant de constater aussi que les communications n'ont jamais manqué à notre ordre du jour; vous en avez entendu 62, soit 6 de chimie, 11 de botanique, 11 de

zoologie, 13 de géologie et géographie, 7 de physique, 8 de géophysique, 2 d'astronomie et 4 de parasitologie.

La Société a tenu ses séances au Palais de Rumine, dans la Salle Tissot ; pour celles qui nécessitaient des projections nous avons reçu hospitalité dans l'auditoire commode de notre collègue M. Wilczek. L'assemblée générale de juin a eu lieu au Château de Nyon et la séance du 5 juillet à l'Usine à gaz de Malley, dont la ville de Lausanne a bien voulu autoriser la visite.

En ce qui concerne la Salle Tissot, des plaintes se faisaient entendre depuis longtemps contre son optique et son acoustique déplorables ; votre comité a pris l'initiative d'une démarche collective des sociétés qui utilisent ce local, auprès de l'Etat de Vaud. Cette démarche a été bien accueillie par le Conseil d'Etat qui, moyennant une participation financière des intéressés, a décidé de faire droit à leur requête. On nous promet que ces travaux d'amélioration vont commencer incessamment. Nous avons offert une participation de 200 fr. qui a été acceptée.

Notre caisse a contribué également par une somme de 100 fr. au transfert du bloc erratique donné à la commune de Lausanne par M. Vinzio, pour être conservé à la promenade J.-J. Mercier, en Chissiez. Grâce à l'activité dévouée de notre collègue M. Eugène Delessert, ce bloc est actuellement à son emplacement définitif. Enfin, la Société a donné 30 fr. pour l'érection du monument à feu notre honoraire v. Beneden.

M. Frédéric Jaccard, qui depuis longtemps dirigeait notre bibliothèque, nous a donné sa démission au 1^{er} janvier 1912. M. Jaccard a apporté à ses fonctions délicates un ordre, un soin et une urbanité qui nous feraient sentir trop vivement sa perte, si nous ne pouvions compter les retrouver chez son successeur, M. Henri Lador.

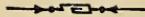
Nous avons d'ailleurs le plaisir de garder M. Jaccard comme éditeur du *Bulletin*. Cette publication prend chaque

année une importance plus grande, tant par l'abondance des matériaux qu'on lui apporte que par le soin mis à sa rédaction. Il ne tient qu'à des raisons financières que le nombre annuel des fascicules s'augmente beaucoup. C'est pour de telles raisons malheureusement aussi que le volume XLVII, 1911, ne pourra comporter que trois numéros (nos 172, 173, 174). Le numéro de décembre a dû être confondu avec celui de septembre, le Comité ayant cru devoir accepter un gros mémoire de M. Lugeon, qui grève lourdement notre budget. Il conviendra que les comités futurs pèsent sérieusement la question de l'insertion de mémoires, d'un intérêt très grand, certes, mais d'une étendue et d'un coût excessifs; si désirable qu'en soit l'acceptation, elle a souvent le fâcheux effet de fermer pour un temps parfois bien long l'accès de notre *Bulletin* aux ouvrages d'autres membres de la Société.

M. Maillefer, notre secrétaire, nous quitte aussi après trois ans de dévoués services; le Comité l'a remplacé par M. Frédéric Jaccard. Je remercie de votre part nos deux aimables collègues de l'activité bienfaisante qu'ils ont déployée envers notre association.

Je remercie également les représentants de la presse du soin qu'ils mettent à rendre compte exactement de nos séances.

Permettez-moi également de vous féliciter de votre assiduité à nos séances et de vous remercier de la bienveillante indulgence que vous m'avez toujours témoignée.



SITUATION AU 31 DÉCEMBRE 1911

Compte général.

RECETTES

BUDGET

Fr. 40 —	Contributions d'entrée	Fr. 55 —
» 1900 —	Contributions annuelles	» 1992 —
» —	Contributions à vie	» 150 —
» 3100 —	Intérêts des créances	» 3180 75
» 2000 —	Redevance de l'Etat	» 2000 —
	Excédent des dépenses.	» 1269 30
<hr/>		<hr/>
Fr. 7040 —		Fr. 8647 05

DÉPENSES

Fr. 4800 —	Bulletins 171 à 173	Fr. 5781 65
» 600 —	Achat de livres et abonnements	» 629 20
» 1640 —	Frais d'administration :	
	Impôts	Fr. 383 90
	Annonces	» 111 90
	Adresse-Office	» 175 15
	Traitement du Secrétaire.	» 100 —
	» de l'édit. du Bull. :	» 200 —
	» du Bibliothécaire	» 200 —
	» » Caissier	» 200 20
	» Concierge	» 80 —
	Notes d'imprimerie, Timbres et divers.	» 555 —
	Dépenses extraordinaires: Con- tributions van Beneden, trans- port bloc erratique, contri- butions pour tables physico- chimiques	» 230 25
		Fr. 2236 20
<hr/>		<hr/>
Fr. 7040 —		Fr. 8647 05

Bilan au 31 décembre 1911.**ACTIF**

	Capital	Taux	Cours		
4 délég. F. Pellat	de 1000 fr.,	4 1/4 0/0	pair	Fr.	4 000 —
12 » Hôtel Gibbon	» »	4 0/0	»	»	12 000 —
1 » Station de Leysin	» »	4 1/2 0/0	»	»	1 000 —
11 » Bonnard frères	» »	4 0/0	»	»	11 000 —
14 oblig. Etat de Vaud 1888, de 500 fr.,		3 1/2 0/0	96 0/0	»	6 720 —
8 » Marais de l'Orbe	» »	3 1/2 0/0	95 0/0	»	3 800 —
2 » Ville Vevey 1889, de 1000 fr.,		3 1/2 0/0	89 0/0	»	1 780 —
2 oblig. Ville Lausanne 1892, 500 fr.,		3 1/2 0/0	90 0/0	»	900 —
2 » Commune du Châtelard, de					
	500 fr.	3 1/2 0/0	89 0/0	»	890 —
2 » Idem, 500 fr.		4 0/0	99 0/0	»	990 —
4 délég. Commune d'Orbe, de 500 fr.		3 3/4 0/0	91 0/0	»	1 820 —
Fr. 4500 Crédit foncier vaudois,		3 1/2 0/0	95 0/0	»	4 275 —
14 oblig. » » S.C. de 1000 fr.		3 3/4 0/0	94 0/0	»	13 160 —
15 » » » F. » »		3 3/4 0/0	94 0/0	»	14 100 —
Fr. 1500 » » E. » »		4 0/0	pair	»	1 500 —

Fonds Agassiz.

Fr. 3500 Crédit fonc. vaud. E.	4 0/0	pair	Fr.	3 500 —
» 11000 » » » G.	4 0/0	»	»	11 000 —
			Fr.	92 435 —
Rates d'intérêts			»	984 65
Valeur des Titres			Fr.	93 419 65
Caisse, solde en caisse			»	71 05
Banque cantonale vaudoise. Solde dû.			»	1327 50
Total de l'Actif			Fr.	94 818 20

PASSIF

Créanciers, Divers, Solde dû.	Fr.	200 —
Fonds Agassiz, montant à ce jour	»	14 838 05
Capital »	»	79 780 15
Total du Passif	Fr.	94 818 20

FONDS AGASSIZ en 1911.

Intérêts des titres de ce fonds, moins droit de garde de la Banque Cantonale	Fr.	576 40
Moins allocations de la Société pour exploration au Groënland.	»	500 —
Solde.	Fr.	76 40

porté au compte Capital du fonds Agassiz.

Lausanne, le 27 février 1912.

Le Caissier,
A. RAVESSOUD.

TABLE DES COMMUNICATIONS

inscrites aux procès-verbaux

18 octobre 1911.

Jeunes rimaies, P.-L. Mercanton. — La Flore bryologique des blocs erratiques du Jura, Ch. Meylan. — Observations sur le cœur et la circulation chez les insectes, E. Bugnion. — Mesures photochimiques et hygrométriques faites au Mexique, Quarles van Ufford. — Exposition d'hygiène de Dresde, Galli-Valerio.

1^{er} novembre 1911.

Poa annua, Perriraz. — Observations sur les moustiques, B. Galli-Valerio et J. Rochaz-de Jongh. — Traversée du Groënland, F.-A. Forel.

15 novembre 1911.

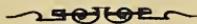
Influence de la sécheresse de l'été 1911 sur quelques plantes, J. Perriraz. — Voyage au Mexique, Q. van Ufford.

6 décembre 1911.

Fata Morgana, F.-A. Forel. — Id. Fr. Jaccard. — Id. Delessert. — Partie inférieure de la vallée de la Tourtemagne, Biermann. — Comparaison entre les résultats de l'analyse chimique et de l'analyse physico-chimique des vins, P. Dutoit.

20 décembre 1911.

Cendres du Krakatoa. Céleris anormaux, Perriraz. — Contribution à une théorie mathématique du géotropisme, A. Maillefer. — Analyse chimique et analyse physico-chimique, F. Porchet.



LIBRAIRIE F. ROUGE & C^{ie}, LAUSANNE

Vient de paraître :

Dr A. SCHENK

**LA SUISSE
PRÉHISTORIQUE**

Le Paléolithique et le Néolithique

Préface du Dr F.-A. FOREL

1 vol. grand in-8, avec 170 figures dans le texte et 20 planches hors
texte. — Prix : broché, 18 fr. ; relié, 23 fr.

**LES
APPLICATIONS MATHÉMATIQUES
A
l'économie politique**

par P. BOVEN

1 volume in-8° : 3 fr. 50

En cours de publication :

**DICTIONNAIRE HISTORIQUE
GÉOGRAPHIQUE & STATISTIQUE**

DU

CANTON DE VAUD

Publié sous la direction de M. E. MOTTAZ

L'ouvrage formera 18 fascicules de 96 pages chacun. Prix de chaque
fascicule, 2 fr. 50.

Les deux premiers fascicules, comprenant les articles A-BELLEVAUX,
ont paru.

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ VAUDOISE
DES
SCIENCES NATURELLES

Publié sous la direction du Comité, par D^r FRÉDÉRIC JACCARD, prof.

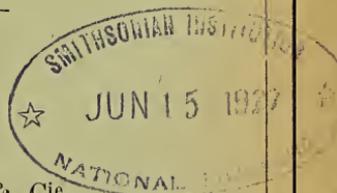
Pl. III. — Prix : 6 francs.

Contenu :	Pages
CHARLES CHERIX. — Contribution à l'étude des volumes spécifiques des solides en particulier.	291
SAMUEL AUBERT. — La congélation du lac de Joux pendant l'hiver 1911-12	327
EMILE ARGAND. — Sur la segmentation tectonique des Alpes occidentales	345
ALFRED ROSSELET. — Contribution à l'étude de l'intensité des radiations ultra-violettes solaires	357
G. J. DE FEJÉRVARY. — Sur deux cas intéressants d'adaptation produits par le terrain	381
C. DUSSERRE. — Influence des sels potassiques sur la résistance des plantes à la gelée	393
M. MOREILLON. — Contribution à l'étude du foudroiement des arbres . .	397

PROCÈS-VERBAUX du 10 janvier 1912 au 22 juin 1912.

LAUSANNE
LIBRAIRIE F. ROUGE & C^{ie}

LIBRAIRIE DE L'UNIVERSITÉ
RUE HALDIMAND



COMITÉ POUR 1912

<i>Président :</i>	MM. E. WILCZEK, D ^r -professeur,	Lausanne.
<i>Vice-Président :</i>	P.-L. MERCANTON, D ^r -professeur,	Lausanne.
<i>Membres :</i>	FÉLIX, directeur, Bellevaux,	Lausanne.
	LINDER, D ^r -professeur,	Lausanne.
	BÜHRER, pharmacien.	Clarens.
<i>Secrétaire, Editeur du Bulletin :</i>	Frédéric JACCARD, D ^r -prof., Chalet Sans-Souci,	Pully.
<i>Archiviste-Biblioth.:</i>	LADOR, Palais de Rumine,	Lausanne.
<i>Caissier :</i>	A. RAVESSOUD, Banque Morel, Chavannes, Günther & C ^{ie} ,	Lausanne.
<i>Vérificateurs :</i>	MM. J. PERRIRAZ, D ^r -professeur,	Vevey.
	PORCHET, D ^r -prof., Ecole de Chimie,	Lausanne.
	E. DELESSERT-DE MOLLINS,	Lutry.

AVIS

I. Les personnes qui désirent publier des travaux dans le Bulletin sont priées de tenir compte des observations suivantes :

1° Tout manuscrit doit être adressé, **en copie lisible**, à l'éditeur du Bulletin et ceci **avant le 1^{er} février** pour l'insertion dans le Bulletin de mars, **avant le 1^{er} mai** pour le Bulletin de juin, **avant le 1^{er} août** pour celui de septembre, **avant le 1^{er} novembre** pour celui de décembre. **Passées ces dates, les travaux seront insérés dans le Bulletin suivant.** Le manuscrit doit contenir l'adresse de l'auteur, l'indication du nombre d'exemplaires qu'il désire comme tirage à part, et celle du nombre de planches ou tableaux hors texte qui accompagnent le mémoire. Les épreuves en retour doivent également être retournées à l'éditeur.

2° Il ne sera fait de tirage à part d'un travail que sur la demande expresse de l'auteur.

3° Les tirages d'auteurs sont remis après le tirage pour le Bulletin, sans nouvelle mise en pages et avec la même pagination, après enlèvement du texte qui précède et du texte qui suit.

Tous les changements demandés pour des tirages à part sont à la charge des auteurs.

Pour la rectification des adresses qui ne seraient pas exactes, on est prié de s'adresser au secrétaire de la Soc. Vaud. des Sc. Nat., Chalet Sans-Souci, Pully.

CONTRIBUTION

à l'Etude des volumes spécifiques

des solides en particulier

par le Dr Charles CHERIX.

Sous le nom de volume spécifique, on comprend le rapport du poids atomique s'il s'agit d'un élément, ou du poids moléculaire s'il s'agit d'une combinaison, au poids spécifique ($H_2O = 1$) du dit élément ou de la dite combinaison.

Exemple : Le potassium, poids atomique 39, poids spécifique 0.86 on aura comme volume spécifique :

$$V_s = \frac{m}{d} = \frac{39}{0.86} = 45.35.$$

Le chlorure de sodium, poids moléculaire 58.5, poids spécifique 2.15 :

$$V_s = \frac{58.5}{2.15} = 27.20.$$

Le volume spécifique d'un corps simple est donc le volume occupé par un nombre d'atomes pareils, groupés en molécules, constituant une masse déterminée, propre à chaque élément ; celui d'une combinaison, le volume d'un nombre de molécules pareilles, formées d'atomes différents, constituant également une masse déterminée caractéristique pour chaque combinaison. Dans les deux cas, le volume spécifique est la somme des volumes atomiques, y

compris les espaces plus ou moins considérables, laissés libres entre les diverses particules; si celles-ci se juxtaposent les unes aux autres sans interstices, la grandeur des espaces sera égale à zéro.

Le volume spécifique se composera donc, des volumes moléculaires ΣV_m , plus les espaces restés libres entre les molécules Σi :

$$V_s = \Sigma V_m + \Sigma i.$$

Le volume moléculaire lui-même se composant de la somme des volumes atomiques, y compris les vides s'il y en a, $\Sigma i'$, nous aurons :

$$\Sigma V_m = \Sigma V_a + \Sigma i'$$

ou d'une manière générale :

$$V_s = \Sigma V_a + \Sigma i + \Sigma i'.$$

Nous étudierons pour commencer les sels inorganiques, tels que les chlorures, sulfates, nitrates, etc., en nous basant pour le calcul des volumes spécifiques sur la densité de ces corps à l'état cristallisé. Les densités varient parfois d'après les auteurs et pouvant différer aussi pour un seul et même corps, il s'en suit que les volumes calculés ne sont pas d'une exactitude rigoureuse, ce qui permet d'autant plus de négliger les écarts de température, s'il ne s'agit que de quelques degrés dans la détermination des densités.

Une autre complication encore, mais plus grave surgit du fait que la plupart des sels renferment de l'eau de cristallisation et comme nous le verrons dans la suite, le volume spécifique de l'eau liée n'étant pas uniforme et l'éloignement de celle-ci amenant ou pouvant amener un changement dans la molécule, il en résulte des valeurs approximatives quant au volume spécifique des dits sels.

Bien que les volumes spécifiques des éléments cristallisés ou solides entrant en ligne de compte, ne soient pas tous connus, nous ignorons ceux de l'hydrogène, de l'oxy-

gène, etc., nous constatons néanmoins que dans leurs combinaisons, la plupart des éléments constituants n'occupent pas les mêmes volumes qu'à l'état isolé. Le volume spécifique du potassium par exemple est supérieur à celui de la potasse caustique, renfermant en plus le groupe OH, et à celui d'autres combinaisons du même élément.

Procédant par simple déduction, nous allons essayer d'assigner aux divers éléments, les volumes respectifs qu'ils occupent dans leurs différentes combinaisons. Nous commençons par les chlorures alcalins.

	Poids moléculaire. <i>m.</i>	Poids spécifique. <i>d.</i>	Volume spécifique. <i>V_s.</i>
K Cl	74.5	1.995	37.34
Na Cl	58.5	2.15	27.20
K	39	0.86	45.35
Na	23	0.97	23.71

(1)

$$\text{KCl} - \text{NaCl} = 37.34 - 27.20 = \underline{10.14},$$

d'où $\text{K} - \text{Na} = \underline{10.14}$. $\text{K} - \text{Na}$ d'après (1) = 21.64, en prenant la moitié des volumes spécifiques, nous aurons :

$$\frac{45.35}{2} - \frac{23.71}{2} = 22.67 - 11.85 = \underline{10.82}$$

contre 10.14 trouvé plus haut.

Admettons donc pour K dans K Cl 22.67, reste (37.34 - 22.67) = 14.67 pour le chlore.

Dans Na Cl, nous avons Na = 11.85, Cl = 27.20 - 11.85 = 15.35.

La moyenne pour le chlore sera $\frac{14.67 + 15.35}{2} = \underline{15.0}$.

Passons aux nitrates :

	<i>m</i>	<i>d</i>	<i>V_s</i>
K NO ₃	101	2.08	48.56
Na NO ₃	85	2.26	37.61

$\text{KNO}_3 - \text{NaNO}_3 = \text{K} - \text{Na} = 10.95$, c'est la même différence qu'entre K - Na comme éléments (10.82). En

prenant les mêmes valeurs pour K et Na que ci-dessus, nous aurons :

	K NO ₃		Na NO ₃	
V _s	48.56		37.61	
— K	<u>22.67</u>	— Na	<u>11.85</u>	
NO ₃	= <u>25.89</u>		25.76	moyenne <u>25.9.</u>

Admettons pour NH₄ Cl et NH₄ NO₃, les mêmes valeurs que ci-dessus en ce qui concerne les groupes acides, et nous déduirons le volume de la base NH₄.

	m.	d.	V _s	
NH ₄ Cl	53.5	1.51	35.43	(1)
NH ₄ NO ₃	80.0	1.74	45.98	(2)
(1) NH ₄	= 35.43	— 15	= 20.43	
(2) (NH ₄)	= 45.98	— 25.9	= 20.08	
			moyenne = 20.255	

à l'état libre il faudrait donc admettre pour NH₄ le double, comme pour les autres alcalis, soit 40.51.

Procédant d'une manière analogue, soit aussi par tâtonnements, nous avons déterminé les volumes d'autres groupes acides, tels que SO₄ = 35.9, CO₃ = 24.2, etc., puis admettant ces grandeurs constantes dans leur combinaison, nous avons déduit le volume des bases seules.

Pour l'oxygène et l'hydrogène; il a été admis H = 5.7, O = 6.5, ce sont les chiffres qui paraissent le mieux convenir.

Les calculs sont résumés dans les tableaux ci-après. En tête de chaque tableau, nous indiquons les volumes de combinaison de l'élément et faisons suivre les combinaisons dans le même ordre, à commencer par les oxydes, chlorures, sulfates, etc., en établissant la comparaison entre le volume calculé d'après les données arrêtées et le volume résultant de l'expérience.

Ces tableaux sont fort incomplets, surtout en ce qui concerne certains éléments, faute de connaissance des

pois spécifiques; il y aurait là une grande et intéressante lacune à combler.

Admettant le volume des groupes acides fixe, nous avons dû faire varier celui de la base pour parfaire la différence; comme il ressort des tableaux, ces variations ne sont pas arbitraires, mais ont lieu au moins dans beaucoup de cas d'après un ordre déterminé.

Nous verrons que le volume spécifique des bases se modifie suivant le groupe acide qui les lie; ces volumes spécifiques de combinaison dérivent du volume atomique de la base, ce sont des parties aliquotes, dont le facteur varie d'après le groupe auquel l'élément appartient, groupe des alcalis, des terres alcalines, etc., et d'après la valence du radical acide. Pour les métaux alcalins en général, le volume spécifique de combinaison est la moitié du volume atomique avec les groupes acides monovalents, le $\frac{1}{3}$ avec les bivalents; pour les terres alcalines les $\frac{4}{5}$ avec les groupes monovalents et les $\frac{2}{5}$ avec les bivalents, pour certains métaux lourds, le volume spécifique est doublé avec les premiers et tel quel avec les derniers, etc.

Nous avons pris comme point de départ le potassium à cause du plus grand nombre de sels, qu'il forme sans eau de cristallisation.

Dans les tableaux qui suivent, nous avons admis les volumes spécifiques ci-après :

H = 5.7	Fl = 3.3	NO ₃ = 25.9	
O = 6.5	Cl = 15.0	SO ₄ = 35.9	
	Br = 21.8	CO ₃ = 24.2	
	I = 31.6	SiO ₃ = 30.75	Si = $\frac{28}{2.49}$ = 11.25
			O ₃ = 19.50
			30.75
CrO ₄ = 41.44	Cr = 15.44	Cr = 15.44	} 41.44
	O = 6.50	O ₄ = 26.00	
Cr ₂ O ₇ = 76.38		Cr ₂ = 30.88	} 76.38
		O ₇ = 45.50	
MnO ₄ admis dans	KMnO ₄ = 36.33	Mn = 10.33	} 36.33
		O ₄ = 26.00	

Potassium.

Volume spécifique de l'élément $\frac{39}{0.86} = 45.35$

» » de combinaison avec les groupes mono-
valents $= \frac{45.35}{2} = 22.67 K_I$

» » bivalents $= \frac{45.35}{3} = 15.11 K_{II}$

$V_s = \frac{K_2O}{2.56} = 36.72$	$\frac{KCl}{1.995} = 37.34$	$\frac{KBr}{2.685} = 44.32$	$\frac{KI}{3.065} = 54.16$
O = 6.5 2K _{II} = 30.22 <hr/> 36.72	Cl = 15. — K _I = 22.67 <hr/> 37.67	Br = 21.80 K _I = 22.67 <hr/> 44.47	I = 31.64 K _I = 22.67 <hr/> 54.31

$V_s = \frac{KNO_3}{2.08} = 48.56$	$\frac{K_2SO_4}{2.65} = 65.66$	$\frac{KHSO_4}{2.35} = 57.87$	$\frac{K_2CO_3}{2.60} = 53.08$
NO ₃ = 25.90 K = 22.67 <hr/> 48.57	SO ₄ = 35.90 2K _{II} = 30.22 <hr/> 66.12	SO ₄ = 35.90 H = 5.70 K _{II} = 15.11 <hr/> 56.71	CO ₃ = 24.20 2K _{II} = 30.22 <hr/> 54.42

$V_s = \frac{K_2CrO_4}{2.70} = 72.03$	$V_s = \frac{K_2Cr_2O_7}{2.7} = 108.80$	$\frac{K_2SiF_6}{2.66} = 82.70$	$\frac{KMnO_4}{2.71} = 58.30$
CrO ₄ = 41.44 2K _{II} = 30.22 <hr/> 71.66	Cr ₂ O ₇ = 76.38 2K _{II} = 30.22 <hr/> 106.60	SiF ₆ = 52.48 2K _{II} = 30.22 <hr/> 82.70	MnO ₄ = 36.33 K _I = 22.67 <hr/> 59.00

Sodium.

Volume spécifique de l'élément $\frac{23}{0.97} = 23.71$

» » de combinaison
avec les groupes monovalents $= \frac{23.71}{2} = 11.85 Na_I$

» » bivalents $= \frac{23.71}{3} = 7.90 Na_{II}$

$V_s = \frac{Na_2O}{2.805} = 22.10$	$\frac{NaFl}{2.766} = 15.18$	$\frac{NaCl}{2.15} = 27.20$
O = 6.50 2Na _{II} = 15.80 <hr/> 22.30	Fl = 3.33 Na _I = 11.85 <hr/> 15.18	Cl = 15.00 Na = 1 1.85 <hr/> 26.85

$V_s = \frac{222}{2.448} = 90.7$	$\frac{85}{2.26} = 37.61$	$\frac{142}{2.655} = 53.5$	$\frac{120}{2.742} = 43.76$
I	NO ₃	SO ₄	SO ₄
Na _I	Na _I	2Na _{II}	H
reste pour 4H ₂ O	37.75	51.7	Na _{II}
<u>90.70</u>			<u>49.5</u>
(H ₂ O = 41.80)			

$V_s = \frac{106}{2.476} = 42.80$	$\frac{84}{2.205} = 38.09$	$\frac{299}{2.52} = 118.65$	$\frac{188.4}{2.75} = 68.5$
CO ₃	CO ₃	Cr ₂ O ₇	SiF ₆
2Na _{II}	H	2Na _{II}	2Na _{II}
<u>40.00</u>	Na _{II}	reste pour	<u>68.28</u>
	<u>37.80</u>	2H ₂ O	
		= 26.47	
		<u>118.65</u>	
		(4H ₂ O = 43.23)	

Lithium.

Volume spécifique de l'élément $\frac{7}{0.59} = 11.87$

» » de combinaison

avec les groupes monovalents $= \frac{11.87}{2} = 5.93 \text{ Li}_I$

» » bivalents $= \frac{11.87}{3} = 3.96 \text{ Li}_{II}$

$V_s = \frac{42.5}{2.04} = 20.8$	$\frac{69}{2.39} = 28.87$	$\frac{128}{2.02} = 63.36$	$\frac{74}{2.11} = 35.07$
Cl	LiNO ₃	Li ₂ SO ₄ aq	Li ₂ CO ₃
Li _I	NO ₃	SO ₄	CO ₃
<u>20.93</u>	Li _I	2Li _{II}	2Li _{II}
	<u>31.83</u>	<u>43.82</u>	<u>33.96</u>
		resterait	<u>32.12</u>
		pour l'eau	49.54 ce qui est trop.

Ammonium. NH₄.

Volume spécifique $= 40.51$ (page 294)

Vol. spécifique de combinaison

avec les groupes monovalents $= \frac{40.51}{2} = 20.25 \text{ (NH}_4)_I$

» » bivalents $= \frac{40.51}{3} = 13.50 \text{ (NH}_4)_{II}$

$$V_s = \frac{\text{NH}_4\text{Cl}}{1.51} = 35.43 \quad \frac{\text{NH}_4\text{Br}}{2.379} = 41.20$$

$$\begin{array}{r} \text{Cl} = 15. \\ \text{NH}_{4\text{I}} = 20.25 \\ \hline 35.25 \end{array} \quad \begin{array}{r} \text{Br} = 21.80 \\ (\text{NH}_4)\text{I} = 20.25 \\ \hline 42.05 \end{array}$$

$$V_s = \frac{\text{NH}_4\text{NO}_3}{1.74} = 45.98 \quad \frac{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4}{1.765} = 74.78 \quad \frac{(\text{NH}_4)_2\text{CrO}_4}{1.866} = 81.72 \quad \frac{(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7}{2.367} = 106.88$$

$$\begin{array}{r} \text{NO}_3 = 25.90 \\ \text{NH}_{4\text{I}} = 20.25 \\ \hline 46.15 \end{array} \quad \begin{array}{r} \text{SO}_4 = 35.9 \\ 2(\text{NH}_4)\text{I} = 40.5 \\ \hline 76.4 \end{array} \quad \begin{array}{r} \text{CrO}_4 = 41.44 \\ 2(\text{NH}_4)\text{I} = 40.50 \\ \hline 81.94 \end{array} \quad \begin{array}{r} \text{Cr}_2\text{O}_7 = 76.38 \\ 2(\text{NH}_4)\text{II} = 27.00 \\ \hline 103.38 \end{array}$$

Le sulfate et le chromate font exception ; nous devons admettre pour NH_4 20.25 au lieu de 13.50, qui est assurément trop bas.

Calcium.

$$\text{Volume spéc. de l'élément} \frac{40}{1.578} = 25.35$$

» » de combinaison

$$\text{avec les groupes monovalents} = \frac{25.35 \times 4}{5} = 20.28 \text{ Ca}_\text{I}$$

$$\text{» » bivalents} = \frac{25.35 \times 2}{5} = 10.14 \text{ Ca}_\text{II}$$

$$V_s = \frac{\text{CaO}}{3.18} = 17.6 \quad \frac{\text{CaFl}_2}{3.15} = 24.76 \quad \frac{\text{CaCl}_2}{2.21} = 50.22 \quad \frac{\text{CaBr}_2}{3.32} = 60.24$$

$$\begin{array}{r} \text{O} = 6.50 \\ \text{Ca}_\text{II} = 10.14 \\ \hline 16.64 \end{array} \quad \begin{array}{r} \text{Fl}_2 = 6.66 \\ \text{Ca}_\text{I} = 20.28 \\ \hline 26.94 \end{array} \quad \begin{array}{r} \text{Cl}_2 = 30.00 \\ \text{Ca}_\text{I} = 20.28 \\ \hline 50.28 \end{array} \quad \begin{array}{r} \text{Br}_2 = 43.60 \\ \text{Ca}_\text{I} = 20.28 \\ \hline 63.88 \end{array}$$

$$\frac{\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}}{1.9} = 124.21$$

$$\begin{array}{r} (\text{NO}_3)_2 = 51.80 \\ \text{Ca}_\text{I} = 20.28 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \text{reste pour} \\ \text{l'eau} = 52.43 \text{ d'où } 1\text{aq} = 43.03 \\ \hline 124.21 \end{array}$$

$$V_s = \frac{\text{CaSO}_4}{3.017} = 45.07 \quad \frac{\text{CaCO}_3}{2.95} = 33.90 \text{ (Calcite)} \quad \frac{100}{2.72} = 36.76 \quad \frac{\text{CaSiO}_3}{2.80} = 41.4$$

$$\begin{array}{r} \text{SO}_4 = 35.90 \\ \text{Ca}_\text{II} = 10.14 \\ \hline 46.04 \end{array} \quad \begin{array}{r} \text{CO}_3 = 24.20 \\ \text{Ca}_\text{II} = 10.14 \\ \hline 34.34 \end{array} \quad \begin{array}{r} \text{SiO}_3 = 30.75 \\ \text{Ca}_\text{II} = 10.14 \\ \hline 40.89 \end{array}$$

Strontium.

$$\text{Volume spéc. de l'élément} \frac{87.5}{2.542} = 34.42$$

» » de combinaison

$$\text{avec les groupes monovalents} = \frac{34.42 \times 4}{5} = 27.54 \text{ Sr}_I$$

$$\text{» » bivalents} = \frac{34.42 \times 2}{5} = 13.77 \text{ Sr}_{II}$$

$V_s = \frac{\text{SrCl}_2}{2.80} = 56.6$	$\frac{\text{Sr(NO}_3)_2}{2.93} = 72.2$	$\frac{\text{Sr CO}_3}{3.90} = 37.82$	$\frac{\text{SrSO}_4}{3.96} = 46.34$
$\text{Cl}_2 = 30. -$	$(\text{NO}_3)_2 = 51.80$	$\text{CO}_3 = 24.20$	$\text{SO}_4 = 35.90$
$\text{Sr}_I = 27.54$	$\text{Sr}_I = 27.54$	$\text{Sr}_{II} = 13.77$	$\text{Sr}_{II} = 13.77$
$\frac{57.54}{57.54}$	$\frac{79.34}{79.34}$	$\frac{37.97}{37.97}$	$\frac{49.67}{49.67}$

L'écart en ce qui concerne le nitrate et le sulfate est considérable : il devient presque nul si nous admettons pour ces deux sels la moyenne entre $\text{Sr}^{1/5}$ et $\text{Sr}^{2/5}$, soit $\text{Sr} = 10.33$.

$\frac{\text{Sr(NO}_3)_2}{(\text{NO}_3)_2} = 51.80$	$\frac{\text{SrSO}_4}{\text{SO}_4} = 35.90$	L'oxyde rentre dans la même catégorie, mais il faut admettre $\text{Sr} = 20.66$ au lieu de 10.33 :
$\text{Sr} = \begin{cases} 10.33 \\ 10.33 \end{cases}$	$\frac{46.23}{46.23}$	$\frac{\text{SrO}}{3.9} = 26.54$
$\frac{72.13}{72.13}$		$\frac{O}{3.9} = 6.50$
		$\frac{\text{Sr}}{3.9} = 20.66$
		$\frac{27.16}{27.16}$

Pour le bromure, il en est de même :

$$\frac{\text{SrBr}_2}{3.985} = 62.1$$

$$\text{Br}_2 = 43.60$$

$$\text{Sr} = \begin{cases} 10.33 \\ 10.33 \end{cases}$$

$$\frac{64.26}{64.26}$$

Baryum.

$$\text{Volume spécif. de l'élément} \frac{137}{3.75} = 36.54$$

» » de combinaison

$$\text{avec corps ou gr. monovalents} = \frac{36.54 \times 4}{5} = 29.23 \text{ Ba}_I$$

$$\text{» » bivalents} = \frac{36.54 \times 2}{5} = 14.61 \text{ Ba}_{II}$$

$V_s = \frac{\text{BaO}}{5.4} = 28.33$	$\frac{208}{3.7} = 56.2$	$\frac{175}{4.58} = 38.21$
$\text{O} = 6.50$	$\text{Cl}_2 = 30.00$	$\text{Fl}_2 = 6.66$
$\text{Ba}_{II} = 14.61$	$\text{Ba}_I = 29.23$	$\text{Ba}_I = 29.23$
21.11	59.23	35.89

$V_s = \frac{\text{Ba(NO}_3)_2}{3.2} = 81.56$	$\frac{197}{4.33} = 45.5$	$\frac{233}{4.498} = 51.80$
$\text{(NO}_3)_2 = 51.80$	$\text{CO}_3 = 24.20$	$\text{SO}_4 = 35.90$
$\text{Ba}_I = 29.33$	$\text{Ba}_{II} = 14.61$	$\text{Ba}_{II} = 14.61$
81.03	38.81	50.51

$\frac{\text{BaSiFl}_6}{4.28} = 65.19$	$\frac{\text{BaCrO}_4}{3.9} = 64.87$
$\text{SiFl}_6 = 52.48$	$\text{CrO}_4 = 41.44$
$\text{Ba}_{II} = 14.61$	$\text{Ba}_{II} = 14.61$
67.09	56.05

BaO, BaCO₃ et BaCrO₄ font exception ; il faut admettre pour Ba, dans les trois cas, la moyenne entre 29.23 et 14.61, soit Ba ³/₅ = 21.92.

$\frac{\text{BaO}}{28.42}$	$\frac{\text{BaCO}_3}{46.12}$	$\frac{\text{BaCrO}_4}{63.36}$
$\text{O} = 6.50$	$\text{CO}_3 = 24.20$	$\text{CrO}_4 = 41.44$
$\text{Ba} = 21.91$	$\text{Ba}_{II} = 21.92$	$\text{Ba} = 21.92$

Magnésium.

$$\text{Vol. spéc. de l'élément} \frac{24}{1.743} = 13.77$$

» » de combinaison avec

$$\text{corps ou groupes monoval.} = 2 \times 13.77 \times \frac{4}{5} = 22.03 \text{ Mg}_I$$

$$\text{» » bivalents} = \left. \begin{array}{l} 2 \times 13.77 \times \frac{2}{5} = 11.01 \text{ Mg}_{II} \\ \frac{13.77}{3} = 4.59 \text{ Mg}_{II}' \end{array} \right\}$$

$V_s = \frac{\text{MgO}}{3.65} = 10.96$ <hr style="width: 100%;"/> $\begin{array}{l} \text{O} = 6.50 \\ \text{Mg}_{II}' = 4.59 \\ \hline 11.09 \end{array}$	$\frac{\text{MgFl}_2}{2.97} = 20.87$ <hr style="width: 100%;"/> $\begin{array}{l} \text{Fl}_2 = 6.66 \\ \text{Mg}_I = 22.03 \\ \hline 28.69 \end{array}$	$\frac{\text{MgCl}_2}{1.78} = 53.2$ <hr style="width: 100%;"/> $\begin{array}{l} \text{Cl}_2 = 30.00 \\ \text{Mg}_I = 22.03 \\ \hline 52.03 \end{array}$
---	--	--

$\frac{\text{MgSO}_4}{2.607} = 46.0$ <hr style="width: 100%;"/> $\begin{array}{l} \text{SO}_4 = 35.90 \\ \text{Mg}_{II} = 11.01 \\ \hline 46.91 \end{array}$	$\frac{\text{MgCO}_3}{2.95} = 28.5$ <hr style="width: 100%;"/> $\begin{array}{l} \text{CO}_3 = 24.20 \\ \text{Mg}_{II}' = 4.59 \\ \hline 28.79 \end{array}$	$\frac{\text{MgSiO}_3}{3.2} = 31.2$ <hr style="width: 100%;"/> $\begin{array}{l} \text{SiO}_3 = 30.75 \\ \text{Mg}_{II}' = 4.59 \\ \hline 35.34 \end{array}$
--	---	--

Nous avons deux grandeurs pour Mg_{II}, 11.01 et 4.59 ; la moyenne 7.80, prise deux fois quand il s'agit d'un corps ou groupe monovalent, égale 15.60. En appliquant cette valeur au fluorure, la coïncidence est plus parfaite.

$$\begin{array}{l} \text{Fl}_2 = 6.66 \\ \text{Mg} = 15.60 \\ \hline 22.26 \end{array}$$

Argent.

Volume spécifique de l'élément = 10.25
 » » » avec corps = 10.25 Ag_I
 monovalents = 10.25 Ag_I

$V_s = \frac{\text{AgCl}}{5.501} = 26.10$ <hr style="width: 100%;"/> $\begin{array}{l} \text{Cl} = 15.00 \\ \text{Ag}_I = 10.25 \\ \hline 25.25 \end{array}$	$\frac{\text{AgBr}}{6.36} = 29.5$ <hr style="width: 100%;"/> $\begin{array}{l} \text{Br} = 21.80 \\ \text{Ag}_I = 10.25 \\ \hline 32.05 \end{array}$	$\frac{\text{AgI}}{5.61} = 41.9$ <hr style="width: 100%;"/> $\begin{array}{l} \text{I} = 31.64 \\ \text{Ag}_I = 10.25 \\ \hline 41.89 \end{array}$	$\frac{\text{AgNO}_3}{4.345} = 39.12$ <hr style="width: 100%;"/> $\begin{array}{l} \text{NO}_3 = 25.90 \\ \text{Ag}_I = 10.25 \\ \hline 36.15 \end{array}$
--	--	--	--

Zinc.

Volume spécifique de l'élément $\frac{65}{7.15} = 9.10$
 » » de combinaison
 avec corps ou gr. monovalents = 2 × 9.1 = 18.2 Zn_I
 » » bivalents = 9.1 = 9.1 Zn_{II}

$$V_s = \frac{\text{Cu}_2\text{O}}{5.85} = 24.44 \quad \frac{\text{CuO}}{6.304} = 12.6 \quad \frac{\text{CuCl}_2}{3.05} = 44.10$$

$$\begin{array}{l} \text{O} = 6.50 \\ 2\text{Cu}_{\text{II}} = 14.28 \\ \hline 20.78 \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{O} = 6.50 \\ \text{Cu}_{\text{II}} = 7.14 \\ \hline 13.64 \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{Cl}_2 = 30.00 \\ \text{Cu}_1 = 14.28 \\ \hline 44.28 \end{array}$$

$$\frac{\text{Cu}_2\text{Cl}_2}{3.53} = 56.09 \quad \frac{\text{Cu}_2\text{Br}_2}{4.72} = 60.8 \quad \frac{\text{Cu}_2\text{I}_2}{4.41} = 86.4$$

$$\begin{array}{l} \text{Cl}_2 = 30.00 \\ 2\text{Cu}_1 = 28.56 \\ \hline 58.56 \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{Br}_2 = 43.60 \\ 2\text{Cu}_1 = 28.56 \\ \hline 72.16 \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{I}_2 = 63.28 \\ 2\text{Cu}_1 = 28.56 \\ \hline 91.84 \end{array}$$

$$V_s = \frac{\text{Cu}(\text{NO}_3)_2, 6\text{aq}}{2.05} = 144.1 \quad \frac{\text{CuSO}_4}{3.58} = 44.55$$

$$\begin{array}{l} (\text{NO}_3)_2 = 51.80 \\ \text{Cu}_1 = 14.28 \\ \text{reste p}^\circ \text{l'eau} = 78.02 \text{ d'où } 1\text{H}_2\text{O} = 13.00 \\ \hline 144.10 \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{SO}_4 = 35.90 \\ \text{Cu}_{\text{II}} = 7.14 \\ \hline 43.04 \end{array}$$

Pour Cu_2Br_2 et Cu_2I_2 , où nous avons de fortes différences, il est préférable de prendre la moyenne entre 14.28 et 7.14, c'est-à-dire $\frac{21.42}{2} = 10.71$.

$$\begin{array}{l} \text{Cu}_2\text{Br}_2 \\ \text{Br}_2 = 43.60 \\ \text{Cu} = 21.42 \\ \hline 65.02 \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{Cu}_2\text{I}_2 \\ \text{I}_2 = 63.28 \\ \text{Cu} = 21.42 \\ \hline 84.70 \end{array}$$

Plomb.

Volume spécifique de l'élément $\frac{207}{11.37} = 18.20$

» » de combinaison avec corps
ou groupes monovalents = 18.20 Pb_1
avec corps » bivalents = 9.10 Pb_{II}

$$V_s = \frac{\text{PbO}}{9.21} = 24.2 \quad \frac{\text{PbCl}_2}{5.80} = 47.93 \quad \frac{\text{PbBr}_2}{6.611} = 55.51$$

$$\begin{array}{l} \text{O} = 6.50 \\ \text{Pb}_1 = 18.20 \\ \hline 24.70 \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{Cl}_2 = 30.00 \\ \text{Pb}_1 = 18.20 \\ \hline 48.20 \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{Br}_2 = 43.60 \\ \text{Pb}_1 = 18.20 \\ \hline 61.80 \end{array}$$

PbI_2	PbFl_2
$\frac{460}{6.07} = 75.8$	$\frac{244}{8.241} = 29.67$
$\text{I}_2 = 63.28$	$\text{Fl}_2 = 6.66$
$\text{Pb}_I = 18.20$	$\text{Pb}_I = 18.20$
$\underline{81.48}$	$\underline{24.86}$

$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	PbSO_4	PbCO_3	PbCrO_4
$V_s = \frac{331}{4.5} = 73.55$	$\frac{303}{6.38} = 47.5$	$\frac{267}{5.465} = 41.3$	$\frac{323.5}{6} = 53.9$
$(\text{NO}_3)_2 = 51.80$	$\text{SO}_4 = 35.90$	$\text{CO}_3 = 24.20$	$\text{CrO}_4 = 41.44$
$\text{Pb}_I = 18.20$	$\text{Pb}_{II} = 9.10$	$\text{Pb}_I = 18.20$	$\text{Pb}_{II} = 9.10$
$\underline{70.00}$	$\underline{45.00}$	$\underline{42.40}$	$\underline{50.54}$

PbO et PbCO_3 font exception, en ce sens qu'on doit admettre Pb_I en place de Pb_{II} , écart assez considérable avec PbBr_2 .

Cadmium.

Volume spécif. de l'élément $\frac{112}{8.67} = 12.92$

» » de combinaison

avec corps ou gr. monovalents = $2 \times 12.92 = 25.84$ Cdr

» » bivalents = 12.92 Cdr

CdO	CdCl_2	CdBr_2
$V_s = \frac{128}{6.95} = 18.4$	$\frac{183}{3.625} = 50.5$	$\frac{272}{4.8} = 56.66$
$\text{O} = 6.50$	$\text{Cl}_2 = 30.00$	$\text{Br}_2 = 43.60$
$\text{Cd}_{II} = 12.92$	$\text{Cd}_I = 25.84$	$\text{Cd}_I = 25.84$
$\underline{19.42}$	$\underline{55.84}$	$\underline{69.44}$

CdI_2	CdFl_2
$\frac{366}{4.576} = 79.98$	$\frac{150}{5.99} = 25.04$
$\text{I}_2 = 63.28$	$\text{Fl}_2 = 6.66$
$\text{Cd}_I = 25.84$	$\text{Cd}_I = 25.84$
$\underline{89.12}$	$\underline{32.50}$

CdCO_3
$V_s = \frac{179}{4.49} = 38.3$
$\text{CO}_3 = 24.20$
$\text{Cd}_{II} = 12.92$
$\underline{37.12}$

Avec les halogènes, il est préférable de prendre pour le cadmium la moyenne entre Cd_I et Cd_{II} , soit :

$$\frac{25.84 + 12.92}{2} = 19.38.$$

CdCl ₂	CdBr ₂	CdI ₂	CdFl ₂
Cl ₂ = 30.00	Br ₂ = 43.60	I ₂ = 63.28	Fl ₂ = 6.66
Cd = 19.38	Cd = 19.38	Cd = 19.38	Cd = 19.38
49.38	62.98	82.66	26.04

Manganèse.

Volume spécifique de l'élément $\frac{55}{8.0} = 6.89$
 » » de combinaison avec corps
 ou groupes bivalents = 6.89 Mn_I

MnO ₂	Mn ₂ O ₃	MnCO ₃	MnSiO ₃
V _s = $\frac{87}{4.85} = 17.94$	$\frac{138}{4.75} = 33.3$	$\frac{115}{3.5} = 32.86$	$\frac{131}{3.6} = 36.4$
O ₂ = 13.—	O ₃ = 19.50	CO ₃ = 24.20	SiO ₃ = 30.75
Mn _I = 6.89	2Mn _I = 13.78	Mn _I = 6.89	Mn _I = 6.89
19.89	33.28	31.09	37.64

Dans KMnO₄ nous avons admis pour Mn, 6.89 + 1/2 6.89, soit 10.33, il serait intéressant de trouver d'autres sels confirmant cette hypothèse.

Fer.

Volume spécifique de l'élément $\frac{56}{7.86} = 7.12$
 » » de combinaison avec corps
 ou groupes bivalents = 7.12 Fe_I

Fe ₂ O ₃	FeCO ₃	FeCl ₂ 4aq
V _s = $\frac{160}{5.23} = 30.6$	$\frac{116}{3.80} = 30.5$	$\frac{199}{1.93} = 103.11$
O ₃ = 19.50	CO ₃ = 24.20	Cl ₂ = 30.00
2Fe _I = 14.24	Fe _I = 7.12	Fe _I = 14.24
33.74	31.32	resterait
		p ^r 4H ₂ O = 58.87
		103.11
		Soit 1H ₂ O = 14.72

Nous laissons de côté les sels cristallisant avec beaucoup de molécules d'eau, vu le volume très variable que celle-ci prend, ce qui nous empêche de tirer des déductions touchant le fer.

Nous clôturons la série des bases avec le chrome, volume spécifique $\frac{52.5}{6.8} = 7.72$; dans les chromates, voir page 295, nous avons admis comme volume spécifique de combinaison $2 \times 7.72 = 15.44$; pour l'oxyde ce chiffre est trop élevé, les $\frac{3}{4}$ de $7.72 = 5.79$ paraissent suffisants.

$$\begin{array}{r} \text{Cr}_2\text{O}_3 \\ 153 \\ \hline 5.21 = 29.4 \end{array} \qquad \begin{array}{r} \text{Cr}_2 = 11.58 \\ \text{O}_3 = 19.50 \\ \hline 31.08 \end{array}$$

Il y aurait lieu aussi de décomposer dans leurs éléments respectifs, les groupes SO_4 , NO_3 , CO_3 , etc., mais de grandes difficultés surgissent et il est impossible d'arriver à des conclusions par de simples comparaisons.

En attribuant partout la même valeur à l'oxygène, nous avons :

SO_4 35.9,	en retranchant l'oxygène	4×6.5 ,	reste pour le soufre	9.9.
NO_3 25.9,	»	»	3×6.5 ,	» l'azote 6.4.
CO_3 24.2,	»	»	3×6.5 ,	» le carbone 4.7.

valeurs dont nous ne pouvons contrôler l'exactitude.

Si nous jetons un coup d'œil sur les résultats exposés dans les tableaux précédents, nous sommes, il est vrai, encore loin d'une concordance parfaite entre le volume spécifique constaté et le volume calculé, mais malgré les écarts plus ou moins considérables, dus en partie à des données inexactes ou peut-être à une cause plus complexe qui nous échappe, une certaine corrélation est indéniable.

Il eût été plus rationnel de distinguer les corps d'après l'état de la matière, en corps cristallisés et corps fondus par exemple, mais cette classification nous eût entraîné trop loin pour le moment.

Les métaux (bases) se présentent donc dans leurs combinaisons sous des volumes différents; prenons par exemple le potassium, nous distinguons les trois gradations suivantes :

Potassium métallique.	Potassium comme chlorure.	Potassium comme sulfate.
$V_s = 45.35$	22.67	15.11

Nous sommes ici en présence d'un état particulier des éléments; c'est en quelque sorte une *isométrie* de volume que nous constatons. Cet état, comme nous l'avons déjà vu, est en corrélation avec la valence du groupe acide de la combinaison.

La saturation des valences semble être une fonction de la contraction de la matière ou vice versa la contraction une fonction de la liaison des valences; comme nous l'avons fait ressortir bien des fois, une base combinée à un groupe négatif monovalent a un volume spécifique plus élevé que si le groupe négatif était bivalent.

La contraction augmente-t-elle encore avec les groupes trivalents, PO_4 par exemple? Nous donnons ci-après le volume spécifique de quelques phosphates pour faire ressortir à titre comparatif la valeur de PO_4 , en comptant les bases à leur volume le plus bas, celui admis avec les groupes bivalents :

	m	densité	Vs	PO_4
KH_2PO_4	135.9	2.3	59.1	32.60
$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	310	3.18	97.5	33.54
$\text{BaH}_4(\text{PO}_4)_2$	331	2.9	114.34	38.36
$\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$	385	3.99	96.5	34.60

Nous trouvons des volumes assez approchants pour PO_4 , mais la question est de savoir si ces valeurs ne sont pas trop faibles et celles des bases trop élevées, c'est là un point à éclaircir.

Pour expliquer les divers volumes de combinaison d'un seul et même élément, nous supposons les plus petites particules des corps simples composées d'un noyau, placé au centre, représentant la matière et d'une zone libre variable tout autour. La juxtaposition de particules semblables ou d'éléments hétérogènes ne se fait que de zone à zone. Représentons-nous les particules pour le moment de la forme d'un cube, auquel nous donnons pour plus de simplicité la

grandeur relative du volume spécifique, nous aurons pour le potassium :

Potassium métallique.	Potassium lié au chlore.	Potassium lié à l'ac. sulfur.
V = 45.35	22.67	15.11

La contraction linéaire subie par la zone dans les divers cas, sera exprimée par la racine cubique de ces grandeurs :

	3.566	2.830	2.472
ou ramené à une proportion plus simple :	1.000	0.7936	0.6932
	1.260	1.000	0.8735

Cette zone variable, mobile, permet la juxtaposition des diverses particules des éléments sans laisser d'autres vides, ce qui est un point important.

Considérons les chlorures alcalins KCl et NaCl, dans les deux cas nous admettons pour le chlore le même volume moléculaire ; la différence $37.34 - 27.20 = 10.14$, ne porte donc que sur celui des bases, en outre nous supposons les interstices entre les diverses particules comme égalant zéro, c'est-à-dire n'existant pas.

Si nous dissolvons dans l'eau des corps tels que le sucre, l'albumine, etc., nous pouvons, en partant du poids spécifique du solide, calculer d'une façon très simple et assez exactement la densité de la solution, connaissant bien entendu la quantité d'eau employée et celle du corps dissous ; procédant ainsi avec les sels ci-dessus, nous sommes loin de la même exactitude, le calcul donnant un poids spécifique bien moins élevé que celui résultant de l'expérience. Le processus de la dissolution est donc différent et accompagné de réactions secondaires amenant une contraction des masses, laquelle peut dans certains cas devenir si considérable, qu'il est impossible d'admettre qu'elle ait lieu entièrement aux dépens du sel. Nous supposerons même que le sel n'entre pour rien dans la réduction de volume et que c'est au détriment des molécules d'eau seules qu'elle se produit. Que l'eau est susceptible d'occuper

un volume moindre qu'à l'état liquide, nous en avons la preuve dans les cristaux de sels renfermant de l'eau moléculaire.

Le volume spécifique des cristaux avec et sans eau liée permet de constater que la part à attribuer à cette dernière, au lieu d'être de $\frac{18}{1} = 18$, est toujours inférieure à ce chiffre, qu'elle varie de 11.5 — 14.5 — 16.0.

Exemples :

	V _s		V _s	d'où 1H ₂ O =	Contraction	
					pr molécule	totale
K ₂ CO ₃ , 2H ₂ O	76.65	K ₂ CO ₃	53.08	11.77	6.22	12.44
Na ₂ CO ₃ , 10H ₂ O	197.0	Na ₂ CO ₃	42.80	15.40	2.6	26.0
Na ₂ SO ₄ , 10H ₂ O	220.24	Na ₂ SO ₄	53.50	16.67	1.33	13.3
CaCl ₂ , 6H ₂ O	132.73	CaCl ₂	50.22	13.75	4.25	25.50
CaSO ₄ , 2H ₂ O	73.80	CaSO ₄	45.07	14.36	3.64	7.28
BaCl ₂ , 2H ₂ O	80.13	BaCl ₂	56.20	11.97	6.03	12.06
MgCl ₂ , 6H ₂ O	130.13	MgCl ₂	53.25	12.81	5.19	31.14
MgSO ₄ , 7H ₂ O	146.43	MgSO ₄	46.03	14.34	3.66	25.62

etc.

Le volume moléculaire de l'eau paraît varier pour chaque sel, toutefois nous voyons que la contraction totale est la même pour le carbonate de sodium, le chlorure de calcium, le sulfate de magnésium, environ moitié moins élevée pour le sulfate de sodium, le chlorure de baryum, le carbonate de potassium, etc.

Bien que l'eau (tous les liquides en général) soit faiblement coercible, elle peut néanmoins sans changement de composition chimique occuper un volume moindre. Nous nous représentons les particules ou agglomérations de molécules, de la forme d'un prisme quadratique, jetées pêle-mêle sans ordre et sans équilibre stable dans un même tas; entre les diverses particules existent des interstices, lesquels disparaissent une fois celles-ci rangées parallèlement les unes contre les autres. Les sels en cristallisant ont la propriété de grouper géométriquement ces particules, d'où la contraction dans le volume. A la dissolution il se pré-

sente les mêmes phénomènes, les molécules des sels groupent autour d'elles un certain nombre de particules d'eau, venant s'aligner avec ordre, en occasionnant ainsi une densité plus considérable de la masse du liquide.

Pour illustrer les intervalles entre les particules des liquides, nous prendrons un exemple plus plausible. Soit un volume de sable fin de 234 cm.³, nous pourrions sans augmentation de volume y introduire 89 cm.³ d'eau, représentant ainsi le volume total des interstices ; le volume réel des particules de sable ne sera donc que de 234—89=145 cm.³ Jetées au hasard les particules occupent 234 cm.³, groupées avec ordre 145, ou 18 devient 11.15, rapport approchant celui constaté pour l'eau.

Revenons donc aux deux sels énumérés plus haut, les chlorures de potassium et de sodium et déterminons à l'aide des tables des poids spécifiques des solutions la contraction à différents degrés de concentration. Les résultats obtenus sont résumés dans les deux tableaux suivants :

Exemple de calcul : Volume de l'eau liée, en admettant pour 1KCl 2H₂O, à la concentration de 15 % ?

$$a' = a \times p = 15.0 \times \text{poids spécifique à 15 \%} = 15.0 \times 1.10036 = 16.5054 \text{ gr.}$$

$$\text{L'eau liée correspondante} = \frac{36 \times 100}{74.5} = 48.322 \% \times 16.5054 = 7.9756 \text{ gr.}$$

$$\text{L'eau libre sera de : } 110.036 - 24.4810 = 85.5550 \text{ cm}^3.$$

$$\text{Les } 16.5054 \text{ gr. KCl occuperont un volume de } \frac{16.5054}{1.995} = 8.2734 \text{ cm}^3.$$

$$(1.995 = \text{densité de KCl comme cristal.}) \quad 93.8284 \text{ cm}^3.$$

$$\text{L'eau liée représentant } 7.9756 \text{ gr. occupera donc un volume de } 100 - 93.8284 = 6.1716 \text{ cm}^3, \text{ ou } 18 \text{ gr.} \longrightarrow = \frac{6.1716 \times 18}{7.9756} = 13.9286 \text{ cm}^3, \text{ ou } 13.929 \text{ figurant sur la tablelle.}$$

Chlorure de potassium. KCl.

$$m = 74.5 \quad d = 1.995 \quad V_s = \frac{74.5}{1.995} = 37.34$$

$$\text{Température } 15^\circ, \text{ H}_2\text{O à } 15^\circ = 1.00.$$

Densité des solutions p	% KCl a	a' = ap	Vol. de l'eau liée en admettant pr 1KCl		
			2 molécules Vs	4 molécules Vs	6 moléc. Vs
1.00650	1.0	1.006	12.523	15.261	16.174
1.01300	2.0	2.026	12.677	15.338	16.226
1.03250	5.0	5.162	13.128	15.564	16.376
1.06580	10.0	10.658	13.581	15.790	16.527
1.10036	15.0	16.505	13.929	15.964	16.643
1.13608	20.0	22.722	14.269	16.135	16.756
1.16568	24.0	27.976	14.518	16.259	16.839
1.17234	24.9	29.191	14.587	16.293	16.862

solut. saturée

Chlorure de sodium. NaCl.

$$m = 58.5 \quad d = 2.15 \quad V_s = \frac{58.5}{2.15} = 27.21$$

Température 15°, H₂O à 15° 1.00.

Densité des solutions p	% NaCl a	a' = ap	Vol. de l'eau liée en admettant pr 1NaCl		
			2 molécules Vs	4 molécules Vs	6 moléc. Vs
1.00725	1.0	1.007	12.54	15.25	16.18
1.01450	2.0	2.029	12.71	15.355	16.237
1.03624	5.0	5.181	13.18	15.59	16.39
1.07335	10.0	10.733	13.65	15.83	16.55
1.11146	15.0	16.67	14.086	16.043	16.695
1.15107	20.0	23.02	14.451	16.22	16.82
1.20098	26.0	31.225	14.819	16.409	16.940
1.20433	26.395	31.788	14.844	16.422	16.948

solut. saturée

Il est évident que plus on admettra d'eau liée par molécule de sel, moins la contraction moléculaire de l'eau sera considérable ; d'après les tableaux ci-dessus deux molécules paraissent être la bonne proportion pour les deux sels. Après examen, on constatera que la contraction diminue avec la concentration et qu'elle est à peu près la même dans les deux cas, identique en prenant des quantités de

sels équivalentes et comme poids spécifique du chlorure de sodium 2.166 au lieu de 2.15 admis dans nos premiers calculs. Ceci permet donc de passer de la tablelle des densités des solutions d'un sel à l'autre, de la tablelle dressée pour le chlorure de potassium on peut déduire celle du chlorure de sodium ou vice versa.

Avec les données admises, partant du chlorure de potassium, il faut retrancher au chiffre trouvé comme volume de l'eau liée au chlorure de sodium, 0.111 par molécule H_2O pour toutes les concentrations, ce qui correspond à la différence des poids spécifiques 2.15 et 2.166.

Etudions maintenant dans quelle proportion la contraction de l'eau liée diminue avec la concentration, ou ce qui revient au même, dans quelle mesure le volume spécifique de l'eau augmente-t-il avec la proportion de sel dissous.

Soit : $a = \%$ de sel de la solution.

$p =$ poids spécifique de la solution.

$a' = ap =$ quantité de sel contenue dans
100 $cm.^3$ de la solution,

on aura pour le chlorure de potassium comme volume spécifique de l'eau liée l'équation suivante :

$$V_s = 12.523 + 0.455 \sqrt[3]{a'} \log a' \quad (1)$$

ou la contraction par molécule sera :

$$\begin{aligned} C &= 18 - V_s = 18 - 12.523 - 0.455 \sqrt[3]{a'} \log a', \\ &= \underline{5.477 - 0.455 \sqrt[3]{a'} \log a'}. \end{aligned}$$

Déterminons d'après la formule (1), le volume spécifique de l'eau liée pour diverses concentrations, comparativement aux volumes portés au tableau page 311.

	Vs d'après tableau	Vs d'après formule
a = 2.0, a' = 2.026	12.677	12.669
a = 5.0, a' = 5.162	13.128	13.083
a = 10.0, a' = 10.658	13.581	13.553
a = 15.0, a' = 16.505	13.929	13.933
a = 20.0, a' = 22.722	14.269	14.271

Ces chiffres concordent d'une manière suffisamment exacte, car si nous calculons les densités correspondantes p en appliquant la formule :

$$100 - \frac{ap}{d} - \frac{apb V_s}{18} = p (100 - a (1 + b)) \quad (2)$$

qui résume simplement l'opération arithmétique, où a = % sel, d = sa densité, dans ce cas 1.995
 b = rapport de l'eau liée au sel, celui-ci admis = 1, pour 1 KCl et 2 H2O = 0,48322; on arrive à des écarts insignifiants, à des différences dans la 5^e décimale.

Pour le chlorure de potassium la formule (2), en introduisant les coefficients ci-dessus, devient :

$$p = \frac{100}{a (0.0268445 V_s - 0.98195) + 100}$$

et prenant les valeurs V_s accusant les plus grandes différences, on a :

	d'après la tabelle	
pour a = 10, V _s = 13.553	p = 1.06588,	1.06580
a = 5, V _s = 13.083	p = 1.03256,	1.03250

Ce sont, comme nous le répétons, les écarts les plus considérables.

La contraction de l'eau, ou de la solution en un mot, est une fonction logarithmique de la quantité de sel dissoute.

Pour le chlorure de sodium, il en est de même, nous trouvons :

$$V_s = 12.54 + 0.49 \sqrt[3]{a'}, \log a'$$

$$\begin{aligned} \text{ou } C = 18 - V_s &= 18 - 12.54 - 0.49 \sqrt[3]{a'}, \log a' \\ &= 5.46 - 0.49 \sqrt[3]{a'}, \log a'. \end{aligned}$$

pour des quantités équivalentes, il existe entre les deux chlorures l'équation suivante :

$$\begin{aligned} \sqrt[3]{s^{\text{KCl}}} &= 12.523 + 0.455 \sqrt[3]{a'}, \log a' = \sqrt[3]{s^{\text{NaCl}}} + 0.111 \\ &= 12.54 + 0.49 \sqrt[3]{a''} \log a'' + 0.111. \end{aligned}$$

le dernier terme 0,111 disparaît en modifiant légèrement soit l'une ou l'autre des densités des sels, comme nous le faisons remarquer plus haut.

Les formules établies sont aussi vraies en supposant 4 ou 6 molécules d'eau, seules les constantes changent.

Les sels KCl et NaCl, différant comme grandeur moléculaire, se comportent donc également à la dissolution dans l'eau, nous en concluons que chez les deux à l'état cristallisé, les particules sont juxtaposées les unes aux autres sans interstices ou du moins dans les mêmes conditions, ce qui revient à dire, vu l'inégalité des particules des deux sels, que ces interstices sont nuls.

$$\Sigma i + \Sigma i' = 0, \quad \text{page 292.}$$

Le chlore occupant dans les deux sels exactement le même volume, il s'ensuit que les surfaces de juxtaposition des particules doivent coïncider entre elles, les intervalles étant nuls.

Partant de la forme prismatique des particules, nous admettrons la surface de contact 1 \square^2 et les deux chlorures seront représentés par deux prismes de base égale mais de hauteurs différentes :

$$h^{KCl} = 22.67 + 15.0 = 37.67$$

$$h^{NaCl} = 11.85 + 15.0 = 26.85$$

Les particules sont-elles de forme sphérique, il faut distinguer pour le chlorure de potassium par exemple :

1° Volume des sphères K

2° » » » Cl

3° » des interstices, restant tels quels à la dissolution.

Nous inclinons plutôt pour la forme quadratique, qui est plus simple.

Dans les sels doubles, la liaison des diverses molécules a lieu sans augmentation de volume, le volume spécifique étant égal à la somme des volumes spécifiques des sels composants.

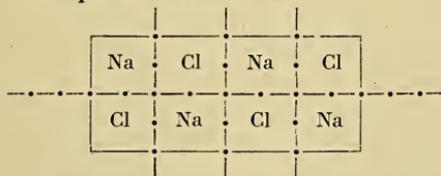
Exemple : $Na_2 SO_4, Ca SO_4 \cdot d = 2.85. m = 278. \frac{m}{d} = 97,5.$

$$Na_2 S_2 O_4 = 53.5 \quad \text{page 297}$$

$$Ca SO_4 = 45.07 \quad \text{» 298}$$

$$\underline{\underline{98.57}}$$

Conformément à la théorie des ions, nous devons admettre dans les solutions une partie des molécules dissociées, ainsi pour le sel de cuisine, des ions Na, modification I, voir page 296, et des ions Cl. Le dissolvant pénètre les particules de sel de part en part, les isole d'après les lignes indiquées suivant croquis ci-dessous :



L'eau est-elle liée aux deux éléments (ions) ou bien à un seul, c'est ce que nous ne saurions préciser par nos calculs.

En solution les bases doivent passer assez facilement de la modification I à la II ou vice versa, sans quoi on ne pourrait expliquer la double décomposition des sels.

Soient deux solutions aqueuses Na Cl et Cu SO₄, dans la première la base Na a comme volume spécifique 11,85 (page 297), dans la deuxième Cu 7.14 (page 303). Mélangeons les deux solutions pour former d'une part du sulfate de sodium, et d'autre part du chlorure de cuivre; dans le premier sel, le sodium aura comme volume spécifique 7,90, et le cuivre dans le deuxième 14.28.

NaCl			CuSO ₄	
$\langle 11.85 \rangle$	$\langle 15 \rangle$		$\langle 7.14 \rangle$	$\langle 33.9 \rangle$
Na	Cl	1	Cu	SO ₄
Na	Cl	1		

après mélange :

	$\langle 7.9 \rangle$	$\langle 33.9 \rangle$	$\langle 7.9 \rangle$
1	Na	SO ₄	Na
	$\langle 15 \rangle$	$\langle 14.28 \rangle$	$\langle 15 \rangle$
1	Cl	Cu	Cl

Comme on peut en juger d'après les schémas ci-dessus, il y a eu sans changement extérieur apparent, si ce n'est qu'une modification dans le coloris du liquide, diminution du volume spécifique chez le sodium et augmentation chez le cuivre.

$$\text{Diminution : Na } 2 \times 11.85 - 2 \times 7.9 = 7.90$$

$$\text{Augmentation : Cu } 14.28 - 7.14 = 7.14$$

Il y a donc compensation, l'équilibre s'établira lorsque l'énergie développée par un sel sera consommée par l'autre.

Nous avons examiné sous le rapport de la contraction les solutions d'autres sels, tels que : KNO₃, NaNO₃, K₂SO₄, Na₂SO₄, K₂CO₃, Na₂CO₃, mais aucuns d'entre eux ne présentent une analogie aussi frappante que les chlorures.

Ce sont les nitrates qui renferment le moins d'eau liée,

une molécule au lieu de deux admises pour les chlorures, six pour le carbonate de potassium, dix pour le sulfate de potassium, douze pour le carbonate de sodium.

Le volume spécifique de l'eau liée est exprimé pour les divers sels aux différents degrés de concentration par les formules ci-après :

KNO_3 . Eau liée 1 aq (en admettant $2H_2O$, la contraction serait trop faible):

$$V_s = 12.033 + 0.76 \sqrt[5]{a'}, \log a' \quad (1)$$

$$\text{ou} \quad V_s = 12.033 + 0.52 \sqrt[3]{a'}, \log a' \quad (2)$$

a' = la quantité de sel
contenue dans 100 cm.³
de solution.

Tabelle des densités des solutions de KNO_3 .

$m = 101$, $d = 2.078$.

à 1 KNO_3 correspond 0.356436 H_2O .

Température 15°.

% KNO_3 a	Densité p	KNO_3 contenu dans 100 cm ³ solution $a' = pa$	Vol. de l'eau liée H_2O par molé- cule KNO_3 V_s
1	1.00641	1.0064	12.033
2	1.01283	2.0256	12.211
5	1.03207	5.1603	12.813
10	1.06524	10.6524	13.269
15	1.09977	16.4965	13.656
20	1.13599	22.7198	13.971
21.07 saturation	1.1436	24.096	14.102

Par exemple :

$a' = 24.096$, d'après (2)

$$V_s = 12.033 + 0.52 \sqrt[3]{a'} \log a' \quad \sqrt[3]{a'}, \log a' = 3.9914$$

$$= 12.033 + 0.52 + 3.9914 = 14.108 \text{ contre } 14.102$$

suyant tablelle.

$NaNO_3$. Eau liée $1H_2O$:

$$V = 14.155 + (0.21 + 0.0035 a' - 0.000029 a'^2) \sqrt[3]{a'} \log a'$$

Ici, la formule est un peu plus compliquée ; la tablelle employée est la suivante :

$m = 85$ densité $NaNO_3 = 2.25$ température $25^{\circ}2$

% $NaNO_3$ a	Densité p	$NaNO_3$ contenu dans 100 cm^3 solution $a' = ap$	Vol. de l'eau liée $1H_2O$ par molé- cule $NaNO_3$ V_s
1	1.0065	1.006	14.155
5	1.0332	5.166	14.298
8	1.0537	8.430	14.536
10	1.0676	10.676	14.699
15	1.1035	16.552	15.034
20	1.1418	22.836	15.221
30	1.2239	36.717	15.694
50	1.4180	70.90	16.554

K_2CO_3 . $6 H_2O$ liée.

$$V_s = 11.322 + 0.573 \sqrt[3]{a'} \log a'$$

$m = 138$ densité = 2.600 température $15^{\circ}0$

% K_2CO_3 a	Densité p	K_2CO_3 contenu dans 100 cm^3 solution $a' = ap$	Volume de l'eau liée, 6 molécules p ^r 1 K_2CO_3 . V_s
1	1.00914	1.0091	11.322
5	1.04572	5.2286	12.042
10	1.09278	10.9278	12.626
20	1.19286	23.8572	13.5608
30	1.30105	39.0315	14.414
40	1.41870	56.748	15.184
50	1.54408	77.204	15.945
52.02 saturation	1.57079	81.7125	16.087

K_2SO_4 . $10 H_2O$ liée.

$$V_s = 14.669 + 0.65 \log a'$$

m = 174 densité = 2.648 température 15°

%K ₂ SO ₄	p	a'	V _s
1	1.0082	1.008	14.669
2	1.01635	2.033	14.833
5	1.04105	5.205	15.105
8	1.06644	8.531	15.279
9.9 saturation	1.08305	10.722	15.351

Na₂CO₃. 12 H₂O liée.

$$V_s = 13.741 + 0.33 \log a'$$

Na₂CO₃ m = 106 d = 2.476 température 15°

% Na ₂ CO ₃	p	a p × = a'	V _s
1	1.0109	1.0109	13.741
3.72	1.0410	3.8725	13.914
5.208	1.0578	5.509	13.998
9.30	1.1074	10.2988	14.054
12.276	1.1452	14.0585	14.142
14.880	1.1816	17.582	14.142

Na₂SO₄. 10 H₂O liée.

$$V_s = 14.262 + 0.059 a'$$

Na₂SO₄ = 142 Na₂SO₄ 10 aq = 322 . densité = 2.655
température 19°

% Na ₂ SO ₄ 10 aq	% Na ₂ SO ₄	p	ap = a'	V _s
2.27	1.00	1.00895	1.009	14.262
3.00	1.323	1.0118	1.3386	14.335
5.00	2.205	1.0198	2.2487	14.3486
10.00	4.410	1.0398	4.585	14.526
15.0	6.615	1.0601	7.0125	14.682
20.0	8.820	1.0807	9.5318	14.830
25.0	11.025	1.1015	12.144	14.983
30.0	13.230	1.1226	14.852	15.130

Le volume de l'eau liée dans les 6 sels examinés, à l'exception du dernier, est exprimé par une fonction loga-

rithmique de la quantité du sel contenue dans un volume déterminé de la solution (100 cm³). *Ces solutions «salines» ne sont autres que des colonies de cristaux liquides dissociés ou non dissociés; sous le nom de cristaux nous entendons les particules de sel avec leurs molécules d'eau liée, contrairement aux corps colloïdaux, tels que l'albumine, le sucre, entrant en dissolution par simple désagrégation des molécules sous l'action du dissolvant (sans contraction).*

En somme les corps à l'état cristallisé peuvent être considérés comme des assemblages analogues à des mosaïques formant des combinaisons variées, mais dont les éléments ont en outre la propriété de modifier leur volume selon les circonstances; l'étude des lois de ces changements constituerait un chapitre nouveau de la chimie.

Le champ des recherches s'étendrait encore, surtout en ce qui concerne les corps organiques en faisant intervenir différents dissolvants, il faudrait distinguer les dissolvants neutres et ceux présentant des affinités avec les corps dissous; comme on le voit, c'est un horizon très large qui s'ouvre devant nous.

La dissolution du chlorure de calcium dans l'eau a été aussi l'objet d'un examen approfondi, la contraction de l'eau est exprimée par la formule suivante :

$V_s = 13.82 + 0.17 \log a'^4$, en admettant 6 molécules liées.

	CaCl ₂ 6H ₂ O = 219		densité de CaCl ₂ = 2.21	
	CaCl ₂ = 111		température 18°3	
				Volume de l'eau liée 6 H ₂ O.
p	% CaCl ₂ 6 aq	% CaCl ₂ a	CaCl ₂ a' = p a	V _s
1.00779	1.973	1	1.0078	13.8295
1.0079	2.0	1.014	1.022	13.826
1.0200	5.0	2.534	2.5847	13.815
1.0407	10.0	5.068	5.2743	13.854
1.0619	15.0	7.602	8.0726	13.944

1.0838	20.0	10.136	10.9854	14.0173
1.1292	30.0	15.205	17.1695	14.208
1.1768	40.0	20.273	23.8573	14.4196
1.2262	50.0	25.342	31.074	14.6622
1.3300	70 %	35.479	47.1870	15.1910

Partant de a ou a' , on peut exprimer par une formule la valeur de p , vraie pour chaque degré de concentration.

L'examen de toutes les dissolutions de sels s'impose, mais c'est là un travail formidable, sortant un peu du cadre tracé.

En admettant pour les liquides les mêmes volumes spécifiques appliqués aux combinaisons solides, nous nous éloignons de la vérité, la contraction des molécules étant moins accentuée. Ce supplément de volume est-il dû à la molécule même où à la formation d'intervalles entre les molécules, ou bien les deux causes contribuent-elles ensemble à cet effet.

Nous groupons dans le tableau qui suit quelques liquides inorganiques, des chlorures, en assignant par déduction la part de volume revenant à chacun des composants :

$$\text{Cl} = 25.0, \text{Br} = 28.0, \text{Si} = 11.25, \text{Ti} = 9.1,$$

$$\left(\frac{28}{2.45} = 11.25 \right)$$

$$\text{P} = 10.8., \quad \text{As} = 7.3.$$

$$\left(\frac{31}{2.34} = 13.25 \right) \left(\frac{75}{4.71} = 15.92 \right)$$

SiCl ₄	Cl 4 × 25	100	
	Si .	<u>11.25</u>	
		111.25	—> constaté 111.6

TiCl ₄	Cl	100	
	Ti	<u>9.1</u>	
		109.1	—> constaté 109.10

SiBr ₄	Br ₄	112.0	
	Si	<u>11.25</u>	
		123.25	→ constaté 123.75
PCl ₃	Cl	75.0	
	P (admis 10.8)	<u>10.8</u>	
		85.8	→ constaté 85.8
PBr ₃	Br	84.0	
	P	<u>10.8</u>	
		94.8	→ constaté 93.4
POCl ₃	Cl	75.0	
	O	6.5	
	P	<u>10.8</u>	
		92.2	→ constaté 90.8
As Cl ₃	Cl	75.0	
	As admis	<u>7.3</u>	
		82.3	→ constaté 82.3
As _s Br ₃	Br	84.0	
	As _s	<u>7.3</u>	
		91.3	→ constaté 86.0?
CCl ₄	Cl	100	
	C	<u>?</u>	
		?	→ constaté 94.4

Cette répartition est assurément erronée à en juger par les deux dernières combinaisons As_sBr₃ et CCl₄; le chlore se lie-t-il à un élément trivalent de la même manière qu'à un tétravalent et les éléments Si, Ti, As, P. n'apparaissent-ils pas sous des volumes plus considérables que ceux admis, bien que l'écart insignifiant entre SiCl₄ et TiCl₄ parle contre cette assertion, mais il y a l'existence des inter-

valles, qu'il ne faut pas oublier, apportant des complications venant en travers des déductions premières.

La preuve qu'on ne peut assigner aux éléments des volumes constants, nous l'avons encore dans les séries homologues organiques; comme nous le disions plus haut, les intervalles entre les molécules jouent un rôle important chez les liquides. Nous donnons ci-après les volumes spécifiques de 3 séries de combinaisons toutes liquides de la série grasse avec indication en regard des volumes spécifiques calculés partant de $H = 7.3$ ($5.7 + 1.28 = 7.3$), $O = 8.4$ ($6.5 + 1.28 = 8.3$), $C = 6.2$ mais avec une correction variable établie en $\%$:

Précédemment pour les solides nous admettions :

$$H = 5.7$$

$$O = 6.5$$

page 295.

	V_s déterminé	V_s calculé en admettant une contraction de $\%$	
C_5H_{12} Pentane isomères liquides	{ 115.0 112.8	115.1	3
C_6H_{14} Hexane »	{ 130.0 128.0	131.1	6
C_7H_{16} Heptane »	{ 140.4 146.4 140.3	145.8	9
C_8H_{18} Octane »	{ 162.1 159.7	159.3	12
C_9H_{20} Nonane »	172.7	171.6	15
HOH	18	18.0	21.7
CH_3OH	40.1	40.3	8
C_2H_5OH	57.5	57.5	11
C_3H_7OH isomères liquides	{ 74.4 75.8	73.5	14

C_4H_9OH	»	$\left\{ \begin{array}{l} 89.8 \\ 92.5 \\ 87.1 \\ 95.0 \end{array} \right.$	88.1	17
$C_5H_{11}OH$	»	106.1	101.6	20 (17% = 103.4 paraît être un maximum.)
$HCOOH$		37.6	37.6	0
CH_3COOH		56.8	56.7	3
C_2H_5COOH		74.3	74.5	6
C_3H_7COOH		91.9	91.0	9
C_4H_9COOH		106.5	106.4	12
$C_5H_{11}COOH$		122.7	120.4	15

Il découle de ce tableau une certaine régularité, les corrections allant de 3 en 3%, que nous retrouvons encore dans les combinaisons dérivant de ces corps, nous citons comme exemples :

$CH_3COOC_2H_5$. En appliquant les volumes sus indiqués

$$CH_3CO = 42.7$$

déduisons la contraction de 3% figurant au tableau — $\frac{1.3}{41.4}$

ajoutons le groupe OC_2H_5 sans déduction $\frac{57.3}{98.7}$

Total 98.7

Volume spécifique constaté $\frac{m}{d} = 97.2$.

$HCOO_2CH_5$. Répétons les mêmes calculs que ci-dessus :

$$HCO = 21.9$$

$$\text{contraction} = 0$$

$$+ OC_2H_5 = \frac{57.3}{79.2}$$

$$\text{Total} = \frac{79.2}{V_s \text{ constaté} = 79.06}$$

$$\begin{array}{r}
 C_2H_5OC_2H_5. C_2H_5 = 48.9 \\
 \text{contraction } 11 \% \\
 \text{à déduire} \quad \underline{5.4} \\
 \quad \quad \quad 43.5 \\
 OC_2H_5 \quad \quad \quad \underline{57.3} \\
 \quad \quad \quad \underline{100.8} \quad V_s \text{ constaté} = 100.6
 \end{array}$$

$$\begin{array}{r}
 C_3H_7CO OC_2H_5. C_3H_7CO = 84.3 \\
 - 9 \% = \underline{7.6} \\
 \quad \quad \quad 76.7 \\
 + OC_2H_5 \quad \quad \underline{57.3} \\
 \quad \quad \quad \underline{134.0}
 \end{array}$$

$$V_s \text{ constaté} = \frac{116}{1.902} = 128.6$$

Ici, l'écart est plus considérable.

$$\begin{array}{r}
 C_4H_9CO OC_2H_5. C_4H_9CO = 105.1 \\
 - 12 \% = \underline{12.6} \\
 \quad \quad \quad 92.5 \\
 + OC_2H_5 \quad \quad \underline{57.3} \\
 \quad \quad \quad \underline{149.8}
 \end{array}$$

$$V_s \text{ constaté} = \frac{130}{0.869} = 149.06$$

$$\begin{array}{r}
 (CH_3CO)_2O. (CH_3CO)_2 \quad 85.4 \\
 O \quad \quad \quad \underline{8.4} \\
 V_s \quad \quad \quad \underline{93.8}
 \end{array}$$

$$V_s \text{ calculé} = \frac{102}{1.073} = 95.06$$

Ici, on ne peut admettre de contraction.

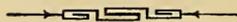
$$\begin{array}{r}
 C_2H_5Cl. V_s \text{ constaté} = 70.3. \text{ Il s'en suit pour le chlore} \\
 C_2H_5 = 48.9 - 11 \% = \underline{43.5} \\
 \text{reste pour Cl} \quad \quad \underline{26.8}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{r}
 C_3H_7Cl. C_3H_7 = 69.7 - 14 \% \text{ contraction} = 60.0 \\
 \quad \quad \quad Cl = \underline{26.8} \\
 \quad \quad \quad V_s = \underline{86.8}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{r}
 V_s \text{ constaté isomères } \left\{ \begin{array}{l} 85.7 \\ 89.8 \end{array} \right. \\
 C_4H_9Cl. C_4H_9 = 90.5 - 17 \% \text{ contraction} = 75.4 \\
 \text{Cl} = \underline{26.8} \\
 V_s = \underline{\underline{101.9}} \\
 \\
 V_s \text{ constaté } \left\{ \begin{array}{l} 102.0 \\ 103.0 \end{array} \right.
 \end{array}$$

Une combinaison présentant un intérêt particulier est l'aether éthylique $C_2H_5O C_2H_5$. page 325; en établissant le volume spécifique nous avons scindé la molécule en 2 groupes C_2H_5 et C_2H_5O et attribué au premier $V_s = 48.9$ moins 11 % = 43.5, au 2^e $V_s = 57.3$, en retranchant 8.4 pour l'oxygène, reste 48.9. Or, nous avons deux groupes identiques C_2H_5 , occupant des volumes différents, ce qui rappelle l'isomérisie des éléments décrits à la page 306. Qu'un même groupe ou radical se contracte plus ou moins dans ses diverses combinaisons, n'offre rien d'impossible, mais distinguer la part du changement de volume imputable aux molécules, de celle résultant des intervalles est un problème difficile à résoudre.

En somme soit pour les combinaisons à l'état solide ou celles à l'état liquide, la connaissance du volume spécifique des divers éléments ou groupes constituants, apporterait de sérieux éclaircissements sur la nature des molécules et leur arrangement intérieur, sur la matière en général.



Observations sur *Poa annua*

PAR LE

Dr J. PERRIRAZ

Le *Poa annua* très fréquent dans la région Vevey-Montreux est une graminée dont la longueur peut atteindre 35 cm. suivant les stations. Dans notre contrée il n'arrive guère qu'à une hauteur moyenne de 20 à 25 cm. La production de pousses décombantes forme quelquefois aux nœuds des bourgeons foliaires qui en se développant rapidement deviennent bientôt libres par dessiccation de la graine. Ces tiges reforment à leur tour des bourgeons latéraux qui fleurissent après un laps de temps plus ou moins long suivant l'exposition de la station, la valeur nutritive et l'humidité du sol. Cette espèce peut fleurir pendant toute l'année, elle n'est cependant pas annuelle.

Nous savons que dans certains cas des mutilations produites sur des végétaux et même des animaux peuvent être héréditaires; chez les plantes les traumatismes floraux sont plus fréquents que les foliaires. Le *Poa annua* peut présenter de ces déformations héréditaires; nous avons eu l'occasion d'en observer et étudier deux cas produits par des facteurs très différents.

Une première station de *Poa anormaux* existe sur le Plateau de Praz, non loin de l'ancienne école de viticulture, dans une région boisée. Les plantes croissent au pied des arbres, elles sont souvent foulées aux pieds par les enfants qui viennent s'amuser dans ces sous-bois et par les passants qui arrivant de Vevey par le bois des

Bosquets coupent au court pour rejoindre la route de Praz. Au printemps plus spécialement, les jeunes plantes sont soumises à de fréquentes mutilations et en juin, à la suite de fêtes champêtres, la station disparaît pour ne reparaitre que le printemps suivant.

Deux autres stations offrent des exemplaires à malformations semblables aux précédentes : une première sur la ligne du Vevey-Chamby une deuxième sur celle du Montreux-Oberland, non loin des Avants ; dans ces deux cas les traumatismes sont très probablement produits, comme nous le verrons, par les trépidations du sol, occasionnées par le passage des convois.

I^{re} Station. — Plateau de Praz.

Nous avons observé ces plantes depuis cinq ans ; chaque année le phénomène s'est renouvelé sans interruption. Dès la première année nous avons essayé d'établir la valeur héréditaire des caractères nouveaux que présentaient les plantes maltraitées. Par le fait des mutilations subies, les inflorescences ne pouvaient se développer normalement ; si par hasard les fleurs arrivaient à se former, la maturation des graines ne pouvait se faire, il était donc de toute nécessité pour le végétal de changer son mode de multiplication ; les fleurs firent place à des bourgeons adventifs, la plante devint vivipare. Les bourgeons tombant sur le sol y produisaient de petites racines ; ce mode de reproduction assurait ainsi la propagation de l'espèce. Des observations identiques ont été faites sur d'autres graminées : *Sesleria cœrulea* près de Vallorbes, *Anthoxanthum odoratum* au Pèlerin ; *Festuca alpina* dans la vallée de Viège (Zeneggen). Pour étudier la valeur héréditaire de ces caractères nouveaux, nous avons récolté avec la motte un certain nombre de pieds anormaux ; ils ont été

placés dans des conditions physiques aussi identiques que possible à celles de leur station primitive.

2^{me} année. Les bulbilles sont tombées en terre, l'année suivante elles ont donné de nouvelles plantes qui peuvent être classées en deux groupes. Dans le premier rentrent les plantes normalement conformées, soit ayant des fleurs sans déformation; dans le deuxième sont rangées toutes celles qui présentaient les mêmes caractères que la plante mère, soit transformation des masses florales en bulbilles. Nous constatons en premier lieu que le caractère vivipare est en partie héréditaire mais non complètement. En effet le nombre des plantes déformées a atteint le 92 % du nombre total. En second lieu ce coefficient héréditaire est très élevé, vu qu'en général les chiffres donnés atteignent le 80 % environ.

3^{me} année. Nous devons faire deux lots, le premier comprenant les graines des plantes redevenues normales, soit n'ayant pas subi « extérieurement » l'action héréditaire de la mutilation; le deuxième ne renfermant que les plantes montrant « extérieurement » cette action héréditaire (plantes à bulbilles).

a) *Plantes normales.*

Nous n'avons eu malheureusement qu'un nombre relativement restreint d'exemplaires, c'est pourquoi l'établissement des résultats s'est fait en pour cent, de manière à être comparables. Les plantes issues des graines semées nous ont fourni trois sortes de végétaux: 1° des plantes normales; 2° des plantes que nous appellerons demi-normales, 3° des plantes à bulbilles.

Les végétaux du premier groupe sont de beaucoup les plus nombreux, le 60 %, l'aspect général de ces individus ne diffère que dans les dimensions des plantes normales que l'on rencontre habituellement; les unes étaient naines, les autres au contraire atteignaient des dimensions extraordinaires, 40-45 cm. de hauteur. Il semble donc que

l'hérédité de ces plantes n'était pas normale et quoique ne manifestant pas de déformations florales elles n'en étaient pas moins modifiées dans leur allure générale.

Les plantes du deuxième groupe que nous avons appelées demi-normales différaient des précédentes en ce que les inflorescences étaient en partie pourvues de bulbilles, ces dernières se trouvant de préférence à la base de l'inflorescence ; moins nombreuses que celles du premier groupe, elles ne représentent que le 13 % du nombre total.

Le troisième groupe, soit celui des plantes anormales a présenté des individus en tous points semblables à ceux qui furent récoltés la première année.

b) *Plantes anormales.*

Les bulbilles tombées en terre nous ont aussi donné trois groupes de plantes, les mêmes que dans le groupe *a*. Par contre leur répartition est très différente, voire même inverse. En effet, les individus normaux ne donnent que le 7 %; ils ne présentent pas en outre ces caractères extrêmes dans leur taille. Les demi-normaux soit le 3 % sont semblables à ceux du groupe *a*. Les plantes à bulbilles sont de beaucoup les plus nombreuses, arrivant au 90 % du nombre total.

Ce qui se dégage nettement des chiffres précédents est la tendance chez toutes ces plantes à accentuer dans les deux groupes *a* et *b* leurs caractères extrêmes, les plantes normales tendant à ne donner que des rejetons normaux, les anormales des plantes à bulbilles, les végétaux demi-normaux étant toujours en pourcentage manifestement inférieur.

4^{me} année.

Les plantes des six groupes précédents ont été étudiées et nous répartirons les résultats obtenus en trois nouveaux groupes (plantes normales, demi-normales, à bulbilles). Examinons les plantes du groupe *a*.

Les végétaux de cette série nous ont donné les résultats suivants : 1° les plantes normales donnent le 90 %, 2° les demi-normales le 2 % et 3° les plantes à bulbilles le 8 %. Les individus de la série I sont tout à fait normaux extérieurement du moins, sans écart dans la dimension des tiges ou des feuilles.

Les demi-normales du même groupe α (13 %) ont donné quelques graines et des bulbilles; nous avons donc été obligé de classer les résultats en deux groupes suivant leur origine. D'une manière générale les exemplaires ne différaient que par des détails des plantes déjà décrites.

Les graines semées ont donné le 52 % de plantes normales, le 4 % du deuxième groupe et le 44 % de végétaux à bulbilles.

Les bulbilles par contre ont donné le 33 %, le 10 % et le 57 % (même ordre que précédemment).

Le groupe des plantes à bulbilles (27 %) a montré une tendance inverse, en effet nous obtenons le 28 %, 13 %, 59 %.

Les végétaux issus des anormaux de 1909 ont été répartis en trois groupes dont les descendants ont été collationnés comme ceux de la série précédente.

Les normaux de ce groupe (75 %) cultivés dans des conditions identiques aux précédents accusaient dans leur descendance les chiffres suivants: 12 %, 1 %, 87 %. Tous les échantillons présentaient les caractères déjà décrits.

La deuxième partie (3 %) a été également séparée en deux divisions : plantes à graines α et plantes à bulbilles β .

série α	35 %	3 %	62 %
----------------	------	-----	------

série β	18 %	2 %	80 %
---------------	------	-----	------

Nous n'avons rien remarqué de spécial dans ces divers cas.

La troisième série (90 %) a donné 7 %, 0 %, 93 %.

Remarquons en passant que c'est le seul cas où les plantes demi-normales aient fait défaut.

Ce qui semble résulter des chiffres précédents c'est la tendance générale dans tous les groupes à l'accentuation des caractères héréditaires extrêmes; sauf dans les groupes des plantes demi-normales où cette caractéristique est moins accentuée. Nous voyons en outre que dans les cas de mutilation héréditaire, cette hérédité n'est pas uniforme et que l'on peut observer des variations relativement considérables dans les coefficients obtenus. Notons en outre que dans la première génération il n'y a pas eu de plantes demi-normales.

RÉSUMÉ

1908	1909	1910	1911	
Plantes à bulbilles 100 %	Plantes normales 8 %	Plantes normales 60 %	normales 90 % 1/2 normales 2 % Pl. à bulbilles 8 %	
		Plantes 1/2 normales 13 %	Graines	normales 52 % 1/2 normales 4 % bulbilles 44 %
				Bulbilles	normales 33 % 1/2 normales 10 % bulbilles 57 %
	Plantes à bulbilles 27 %	normales 28 % 1/2 normales 13 % bulbilles 59 %		
	Plantes à bulbilles 92 %	Plantes normales 7 %	Plantes 1/2 normales 3 %	normales 12 % 1/2 normales 1 % bulbilles 87 %
				Graines	normales 35 % 1/2 normales 3 % bulbilles 62 %
		Bulbilles	normales 18 % 1/2 normales 2 % bulbilles 80 %	
			Plantes à bulbilles 90 %	normales 7 % 1/2 normales 0 % bulbilles 93 %

II^{me} PARTIE

Des plantes anormales ont été observées dans deux stations distantes de 4 km. environ; l'une sur la ligne du Montreux-Oberland, l'autre sur celle du Vevey-Chamby. Ces végétaux devaient leurs transformations à d'autres facteurs que celui du passage des piétons, vu qu'elles croissaient en dehors des sentiers de service de ces lignes. Les malformations étaient en tous points identiques à celles des plantes du Plateau de Praz, mais un certain nombre de caractères permettaient de les en distinguer facilement. Tout d'abord les plantes étaient beaucoup plus vigoureuses; les entre-nœuds plus courts; les tiges montraient en coupe des cellules à parois beaucoup plus épaisses qu'elles ne le sont ordinairement. Les cellules chlorophylliennes semblaient plus colorées, les grains d'amidon plus fréquents se voyaient facilement quoique les cellules fussent en général plus petites. De nombreux échantillons ne portaient des bulbilles que dans la partie basale de leur inflorescence. Quelques légères différences se manifestaient entre les végétaux des deux stations; ceux provenant de Sendi-Sollard (M. O. B.) établissaient la moyenne entre ceux du Plateau de Praz et ceux de St-Légier; ces divergences dans les détails s'observaient spécialement dans la grandeur des feuilles, le limbe plus ou moins large (+ Plateau de Praz — M. O. B.), les racines plus fortes (— Praz + M.-O.-B.).

Une première question se pose: A quels facteurs sont dues ces transformations si intéressantes, puisqu'elles ne peuvent être produites par le passage des piétons.

Nous nous sommes demandé tout d'abord si le courant électrique pouvait avoir quelque influence. Nous ne le croyons pas ou du moins s'il a un effet quelconque, ce ne

peut être que momentané et insuffisant pour forcer les plantes à acquérir des déformations aussi régulières.

L'altitude ne peut avoir qu'une action insensible car les différences de niveau sont trop peu accentuées; les facteurs dérivés: humidité, insolation, variations diurnes et nocturnes de température nous paraissent sans grands effets si nous comparons d'autres phanérogames habitant aussi ces différentes stations.

Nous croyons plutôt qu'il faut attribuer ces déformations à la trépidation du sol produite par le passage des convois; l'ébranlement se propage à plusieurs mètres d'une façon très sensible et suffisante semble-t-il pour provoquer les déformations précitées.

On sait en effet que les plantes inférieures soumises à l'action de ce facteur modifient leur mode de reproduction. M. A. Sartory a montré dans son travail sur « l'influence de l'agitation sur les champignons inférieurs, Oomycètes, Ascomycètes, Mucédinées » que dix à vingt trépidations par minute ne modifient que peu ces organismes, tandis que des déformations rapides et très accentuées se produisent si l'agitation s'accélère à raison de 60 à 90 secousses ou encore 120 secousses à la minute; le thalle revêt des formes étoilées, ovoïdes, cylindroïdes, vermiculées, plus ou moins irrégulières; il peut encore se dissocier en particules plus ou moins ténues; il y a tendance générale de la part de l'organisme à la formation d'une structure cellulaire. M. Ray avait remarqué des faits semblables chez le *Sterigmatocystis alba*. Un caractère important à noter est celui de la modification, la transformation complète même des éléments reproducteurs, qui peuvent avorter dans certains cas.

Puisque nous constatons de légères différences dans les transformations subies par les plantes croissant sur les lignes du Vevey-Chamby et Montreux-Les Avants, examinons si le facteur trépidation est le même dans les deux cas.

Sur la ligne du Vevey-Chamby jusqu'à la station de St-Légier, il passe en moyenne 40 trains d'une charge approximative de 40 à 42 tonnes en 16 heures; sur le M.-O.-B., le tronçon Montreux-Les Avants est parcouru par 22 convois d'un tonnage moyen de 40 tonnes. La fréquence des convois étant inférieure sur cette dernière ligne, il en résulte des périodes de trépidation plus espacées; les plantes sont donc moins souvent influencées et cela doit se manifester dans la structure générale du végétal, plus spécialement dans son mode de multiplication; nous venons de voir que c'était bien le cas.

Il nous semble donc plausible d'attribuer ces modifications dans le mode de multiplication de *Poa annua* à la trépidation intermittente du sol due aux passages des convois. Il y aurait donc un mode de réaction semblable chez les plantes inférieures signalées par MM. Sartory et Ray et les graminées étudiées dans la région Vevey-Montreux.

Vevey, 1^{er} novembre 1911.



La congélation du lac de Joux pendant l'hiver 1911-12.

PAR

Sam. AUBERT

Depuis tantôt une année, nous passons au travers de circonstances météorologiques tout à fait exceptionnelles : l'été de 1911 s'est montré anormalement chaud ; il en a été de même de l'automne et de l'hiver 1911-12 et le printemps que nous traversons maintenant n'est pas moins extraordinaire que les saisons précédentes.

Dans ces conditions, il devenait évident qu'un lac de montagne, comme le lac de Joux, devait offrir dans sa congélation et dans sa *décongélation* des particularités plus ou moins tranchées. Cela a été en effet le cas ; les observations que j'ai faites à ce sujet font l'objet de ce mémoire.

Comme on peut s'y attendre, la congélation du lac de Joux est étroitement liée aux conditions météorologiques. Si, par exemple, et comme c'est assez souvent le cas, il survient au commencement de l'hiver une bise prolongée, forte et froide, la surface liquide se congèle en entier et d'une seule fois, dès que l'eau a repris sa stabilité.

Il en va tout autrement lorsque le froid fait sentir ses effets pendant une période relativement calme. La congélation s'effectue alors en trois étapes, généralement :

Aux premiers froids, l'extrémité sud-ouest — *la tête* — du lac, peu profonde, seule se congèle sur une longueur de 5 à 600 mètres. C'est la première étape. Puis une seconde zone, s'étendant jusqu'à la hauteur des Esserts de

Rive ou même plus loin, suivant les cas, se prend à son tour. Enfin, la continuation du froid amène l'achèvement de la congélation.

Cependant, il subsiste alors souvent des surfaces d'eau libre dans la région située entre l'Abbaye et le Pont, du côté oriental. La cause du retard apporté à la congélation de ces dernières a suscité diverses explications, dont aucune, pour le moment, n'est absolument satisfaisante. Dans un mémoire, paru en 1908, dans le n° 129 du Bull. de la Soc. vaud. des Sc. nat., M. le professeur F.-A. Forel attribue ce retard de congélation à la présence de canards qui agiteraient l'eau de façon à empêcher ou tout au moins retarder sa congélation, afin de se maintenir un champ d'ébats et de pêche.

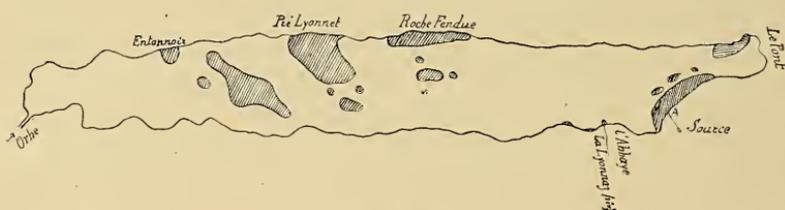


Fig. 1.

Voyons maintenant ce qui s'est passé pendant l'hiver 1911-12. Au milieu de janvier 1912, entre le 15 et le 17, il s'est produit une congélation générale, quoique partielle, de grandes étendues d'eau libre restant visibles ici et là. Le croquis (fig. 1) figure l'état de congélation approximatif le 17 janvier. A partir de cette date, la surface congelée a sensiblement diminué, spécialement dans la partie septentrionale du lac. Ainsi le 21, toute la rade située en avant du Pont et celle s'étendant au nord-est de l'Abbaye étaient libres et séparées seulement par une étroite bande de glaces, partant de la rive orientale et allant en s'élargissant à la rencontre de la rive occidentale (voir le croquis fig. 2).

Nous avons eu ainsi affaire à une congélation extrêmement irrégulière et même variable d'un jour à l'autre. De même partout où j'ai pu l'observer, la glace est très mince et percée par des pierres de faible grosseur jetées depuis la rive. A noter aussi la non congélation de certaines parties du lac très peu profondes contiguës à la rive.

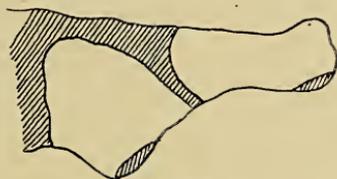


Fig. 2.

Le 27 janvier, une forte bise survient. En peu d'heures le lac est complètement débarrassé de ses glaces. A la tête seulement et à l'extrémité de petits promontoires s'avancant dans le lac, des amoncellements de glaçons charriés par la bise subsistent.

La chute de la bise devait amener une nouvelle congélation. En effet, dans la nuit du 30 au 31 janvier, par une température de -15° , la surface entière du lac se recouvre d'une nouvelle couche de glace. Toutefois, cette congélation n'est pas absolument complète, car voici ce que j'ai observé dans l'après-midi du 31 janvier :

Le long de la rive entre le Pont et l'Abbaye (point A du croquis fig. 1) subsistent quelques flaques d'eau libre. Leur non congélation s'explique aisément. En effet, un petit ruisseau, non congelé, se jette dans le lac exactement en cet endroit. Il est alimenté par une source située à quelque 50 m. en amont et dont la température mesurait $+7^{\circ}5$; à son embouchure dans le lac, l'eau du ruisseau accuse encore une température de $+6^{\circ}75$. Evidemment, c'est l'eau de ce ruisseau, relativement chaude, qui s'éta-
lant à la surface du lac, empêche le bord de se congeler.

Puis, plus en avant dans le lac, à 100 m. environ, j'ai observé distinctement, à l'aide de jumelles, une étendue de quelques mètres carrés, complètement libre de glace, où évoluaient un canard et un grèbe huppé.

Autre chose encore : le 31, au matin, à 9 h. environ, il est tombé 1 cm. de neige sèche ; toute la surface du lac a blanchi sauf une zone de quelques centaines de mètres carrés s'étendant en plein lac entre le Pont et l'Abbaye, à partir du point considéré ci-dessus, A du croquis 1. Sur toute cette étendue la glace présente des taches blanches (formées par la neige), séparées par des taches noires-grises, ayant absolument la couleur et l'aspect de la glace recouverte d'eau ou de neige à l'état de fusion. Il faut donc que sur toute l'étendue à teinte noire la glace ait été très mince ou à l'état de formation au moment où s'est produite la chute de neige, sans quoi, elle aurait pris, comme le reste de la surface congelée, la belle couleur blanche de la neige.

Un fait ressort donc certain : ce n'est pas seulement sur des surfaces restreintes, mais sur une zone très étendue, comprenant plusieurs centaines de mètres carrés, entre le Pont et l'Abbaye, qu'il se manifeste un retard dans la congélation. Et je ne crois pas que la cause puisse en être imputée aux canards. Ils doivent être tout à fait impuissants à retarder la congélation d'une surface aussi considérable.

Par contre, à l'intérieur de celle-ci, réussiraient-ils peut-être, en battant l'eau de leurs ailes, à retarder la congélation d'étendues très restreintes comme la flaque libre où j'ai vu nager un canard et un grèbe.

Maintenant quelle est la cause réelle du retard survenant dans la congélation de cette zone Pont-Abbaye. Sans en avoir encore la preuve matérielle, je crois qu'il faut l'attribuer à des sources chaudes jaillissant du fond du lac.

En effet, puisqu'il est prouvé qu'au bord, une source chaude retarde la congélation, il est logique d'admettre

que plus au large il doit en être de même et que d'autres sources chaudes existent sous le fond du lac et montent à la surface.

Le débit de la source terrestre se déversant dans le lac au point considéré (A du croquis fig. 1) est de quelques litres par minute ; il est trop faible pour que le retard de congélation se manifestant sur toute la surface observée, ait pour cause l'eau du ruisseau s'étendant sur cette dernière.

Le moment du dégel aurait été l'instant propice pour effectuer des sondages de température au sein du périmètre à congélation retardée ; malheureusement, il ne m'a pas été possible de me livrer à cette étude fort délicate et chanceuse du reste.

Décongélation.

La durée de congélation a été très courte : du 31 janvier au 26 février.

Habituellement, le dégel du lac se produit partout à la fois ; la glace s'amincit. Au bout d'un certain temps, elle ne se compose plus guère que de prismes ou de grains plus ou moins indépendants les uns des autres. Survient un vent violent, toute la masse se disloque, se désagrège complètement et les grains de glace non encore fondus sont charriés et abandonnés sur les grèves par les vagues où ils achèvent de se fondre.

Cette année, les choses se sont passées un peu différemment, et, chose extrêmement curieuse, partout où j'ai pu observer le phénomène de décongélation, il s'est produit à partir de la rive en s'avançant au large.

En effet, voici mes observations du 25 février : la glace est en voie de s'en aller. De larges brèches nettement délimitées traversent le lac de part en part. Presque partout la glace a disparu au bord ; la décongélation se produit à

partir de la rive. La présence de l'eau entre le radeau de glace et la rive ne peut pas avoir pour cause l'exhaussement du niveau du lac, car à ce moment les relevés nivométriques faits au Pont n'accusent que de très faibles dénivellations. D'autre part, la zone d'eau libre a une largeur de 10, 20, 30 m. ou plus suivant les endroits. Elle paraît correspondre à celle de la *beine*.

A sa marge, le radeau de glace est complètement désagrégé; la glace ne se compose plus que de grains flottants. Des pierres jetées la traversent très facilement et l'ébranlement produit se manifeste sous la forme d'une vague qui se propage centrifugalement; jetées plus au large, les pierres rencontrent une surface rigide, résistante et rebondissent. Ainsi, la décongélation s'est bien produite de la rive au large, tandis qu'en temps ordinaire elle est générale, les bords n'étant pas plus vite décongelés que l'intérieur.

Partout où j'ai fait cette observation, la grève est plate ou peu décline et il ne saurait être question de mettre en cause la réflexion de la chaleur solaire par les pentes rapides dominant les rives.

Je me suis entretenu de ces faits avec M. le professeur Const. Dutoit; nous avons discuté et envisagé ensemble l'explication suivante :

Pendant l'été de 1911 la chaleur a été, comme on le sait, très forte, le lac a beaucoup baissé et du 5 juillet au 1^{er} octobre son niveau est descendu de 1008,01 m. à 1006,05 mètres.

Donc des portions considérables de la grève ont été mises à sec et ont absorbé pendant ce temps une quantité considérable de chaleur. Recouvertes à nouveau par l'eau, en automne, ces surfaces réchauffées ont restitué peu à peu la chaleur qu'elles avaient emmagasinées pendant l'été; elles l'ont cédée graduellement par conductibilité à l'eau. Ainsi s'expliquerait le retard de congélation survenu en

de nombreux points de la rive et surtout la décongélation hâtive observée le long des rives au Rocheray.

Pour le moment je ne saurais pas attribuer une autre cause à cette décongélation hâtive des bords. Je la propose à MM. les physiciens, dont les travaux sur le pouvoir absorbant des sols doivent être évidemment de nature à jeter quelque lumière dans la question.

Le Solliat (vallée de Joux), 15 avril 1912.

Sam. AUBERT.



Sur la segmentation tectonique des Alpes Occidentales¹

PAR

M. Emile ARGAND.

(Communication présentée à la séance du 1^{er} mai 1912.)

On a coutume d'embrasser, sous le nom de segmentation transversale, deux phénomènes fort dissemblables. Il y a d'abord celui qu'on peut appeler *segmentation active*, pour marquer sa liaison, par identité de cause, de temps et de lieu, avec l'effort tangentiel et orogénique, producteur des nappes et des plis. La segmentation active domine dans les chaînes de type alpin. C'est la succession rythmée des ondulations transverses (bombements, ensellements, ombilics) qui affectent les plis et les nappes, et que les coupes en long, ainsi que la planimétrie, rendent sensibles. Il en faut distinguer la *segmentation passive*, dont la chaîne hercynienne et sa couverture sédimentaire fournissent des exemples classiques. Elle est due, comme on l'a dit, à l'inégal soulèvement épirogénique de la pénéplaine qui a nivelé l'Europe hercynienne vers la fin des temps primaires. Elle est clairement manifestée, de l'Armorique à la Russie méridionale, par la succession alternante des aires suréle-

¹ Consulter : Emile Argand. *Les nappes de recouvrement des Alpes Occidentales*. Matér. Carte géol. Suisse, nouv. sér., liv. XXVII, carte spéciale n° 64, pl. I, 1911.

Neuf coupes à travers les Alpes Occidentales. Ibid., pl. II, 1911.

Coupes géologiques dans les Alpes Occidentales. Ibid., pl. III, 1911.

Les grands plis couchés des Alpes Pennines. Dix-sept profils et trois stéréogrammes. Ibid., pl. IV, 1911.

vées et des aires d'ennoyage, avec leurs détroits et leurs mers d'ingression. Comme toute chaîne plissée, la chaîne hercynienne possède sa segmentation active, orogénique, et la segmentation passive, épirogénique, s'y est superposée beaucoup plus tard; aussi est-elle, le plus souvent, distribuée tout autrement dans l'espace.

La segmentation active des chaînes alpines a été regardée, elle aussi, comme due à des mouvements épirogéniques. On admet, ce qui est évident, que les nappes se sont formées en profondeur, par l'effet des mouvements orogéniques. On ajoute qu'un soulèvement épirogénique, nettement postérieur à la formation des nappes et procédant par segments transversaux inégalement exhaussés, a fait naître les bombements et les ensellements. Cette manière d'expliquer la segmentation est à la fois trop simple et trop exclusive; elle revient à accepter un dualisme absolu des phénomènes, qui seraient entièrement distincts par leur date et par leur origine.

Le massif de l'Aar a été pénéplainé, comme l'a dit Königsberger, et les autres massifs hercyniens actuellement englobés dans les Alpes Occidentales l'ont été aussi. Tous ces fragments de pénéplaine, aujourd'hui recouverts de sédiments mésozoïques et nummulitiques, et tous ceux que montrent les massifs hercyniens de l'Europe moyenne, s'enchaînent, dans la profondeur, en un même complexe de surface : la pénéplaine hercynienne.

La segmentation manifestée par les divers noyaux hercyniens des Alpes Occidentales, du massif de l'Aar à celui du Mercantour, est une segmentation passive; elle existait déjà au Mésozoïque et au Nummulitique, comme le montre la stratigraphie. Mes coupes en long (planche III) la rapprochent (fig. 13) de la segmentation active des nappes penniques (fig. 10 à 12); elles font voir, et ma carte structurale montre également, que des relations géométriques nombreuses unissent les deux phénomènes.

Pour en rendre compte, faisons appel à une image dont l'imperfection n'exclut pas l'opportunité. Un pont est en construction; des piles résistantes s'alignent au travers du courant, mais le tablier manque. Au lieu d'eau, concevons l'écoulement d'un flux visqueux à marche très lente, dont la surface soit capable de se froncer et de se plisser, de manière à manifester extérieurement les ondes de déformation internes et profondes.

Premier cas : La matière n'atteint pas le niveau supérieur des piles. En amont de celles-ci, l'écoulement est gêné; le flux subit une rétention partielle, qui le fait s'accumuler et se tuméfier vers le haut. Il y a bombement. En amont des chéneaux libres, il s'écoule mieux et son niveau se déprime. Il y a abaissement. Une coupe transverse menée un peu en amont du pont montre une succession rythmée de bombements et d'abaissements normaux à la direction de l'écoulement. La même déformation interne se traduit, vue en plan, par des rebroussements en amont des piles, et par des protrusions arquées dans les chéneaux, ainsi qu'en amont et en aval de ces derniers.

Deuxième cas : Le débit du flux a beaucoup augmenté; il recouvre maintenant les piles, et subit, de la part de leur face supérieure, le frottement d'un fond rapproché. Il y a donc sur les piles, ainsi qu'en aval et en amont de ces dernières, retard et rebroussement. Au-dessus des chéneaux, par contre, la section d'écoulement est profonde et débite beaucoup plus; le flux, copieusement alimenté, décrit des protrusions et se renfle au milieu ainsi qu'un glacier de vallée : il y a bombement transversal. Protrusions et bombements se font sentir, de plus, en aval et en amont du chenal.

Attribuons maintenant, aux saillies et aux dépressions hercyniennes comprises à l'intérieur des Alpes Occidentales, en d'autres termes, aux segments passifs, le rôle des piles

et des chéneaux : substituons, à notre flux minuscule, le flux¹ profond et colossal des plis couchés penniques ; mettons enfin, au lieu de notre surface segmentée et plissotée, la surface structurale des Alpes Occidentales : nous aurons ainsi pensé, en espace et en mouvement, le lien par lequel tous ces phénomènes s'enchaînent et se déterminent.

La section d'écoulement du flux pennique peut donc être divisée en segments subtransversaux : des segments A, situés en arrière, au dessus et en avant des saillies hercyniennes, et des segments B, pareillement distribués à l'égard des chéneaux de l'infrastructure. Tous ces segments se divisent à leur tour en deux étages : l'un inférieur, A1 et B1, l'autre supérieur, A2 et B2.

¹ Les structures penniques sont presque exclusivement «incompétentes». L'architecture «compétente», au sens de Bailey Willis, n'existe guère que dans les régions où des niveaux à la fois résistants et flexibles, comme le Trias calcaire, se sont déformés à des profondeurs relativement faibles, comme dans la partie extérieure de la zone pennique tunnel triasique de Vercorin, profil 1) et dans la zone mésozoïque médiane des Alpes Cottiennes. Dans l'intérieur des Alpes Pennines et Graies, où l'épaisseur des nappes était bien plus grande, la déformation «incompétente» prévaut. Les structures dites compétentes sont plus répandues dans les nappes helvétiques, qui sont, comparées aux nappes penniques, un phénomène de semi-profondeur, et dans les nappes préalpines, qui peuvent être appelées, toujours dans le langage relatif, un phénomène de la sub-surface.

La déformation pennique est pseudo-visqueuse; je veux dire visqueuse et continue *en grand*, quand on ferme les yeux sur les petits mouvements discontinus qui la composent, et qui sont partout. Ce sont, au dernier ordre de grandeur, la micro-cataclase, la rotation des particules allongées, les glissements des lamelles clivables, la déformation cristalloblastique d'innombrables individus minéralogiques, avec changements de volume; à un degré plus élevé, l'étalement des purées lithologiques, à la manière d'une pâte granuleuse et feuilletée, les déplacements différentiels le long des fractures, des lits et des structures parallèles de toute espèce; au sommet de l'échelle, les décollements locaux qui interrompent, comme des déchirures peu étendues, la continuité prédominante des flancs renversés et amincis. Concevoir la déformation pennique, c'est voir le discontinu universel dans le continu simulé et global. La déformation pseudo-visqueuse de ces nappes, si bien exprimée par leurs grandes formes, épuise presque toutes les possibilités d'adaptation réciproque, de moulage et d'emboutissement, mais au bout de compte, ce flux tellurique (*rock-flowage*) est la résultante compensée, la somme algébrique d'un nombre presque illimité de petits mouvements élémentaires affectant des individus mécaniques distincts.

Dans les sections A1, l'écoulement est très gêné : il y a bombement axial par rétention et nous disons, pour abrégé, que c'est l'effet A1. Dans les sections A2, l'écoulement est moins difficile; toutes choses égales d'ailleurs, il y a production de bombements moins accentués : c'est l'effet A2. Les effets A sont souvent accompagnés de rebroussement. Dans les sections B1, l'écoulement, bien que profond, est favorisé par l'existence du chenal contre lequel les nappes viennent se mouler; il y a ensellement, c'est l'effet B1. Dans les sections B2 l'écoulement est plus facile que partout ailleurs : il y a nutrition abondante et bombement : effet B2. Les effets B s'accompagnent de protrusion quand l'énergie de proplissement est grande; autrement les protrusions ne se forment pas. En se superposant sur la même verticale, les effets B1 et B2 engendrent la *segmentation croisée* : nappes basses ensellées et nappes hautes bombées.

Les effets A1 et B1 rentrent dans le premier cas examiné plus haut; les effets A2 et B2, dans le deuxième cas.

Passons à l'application concrète. Le bombement axial tessinois (fig. 12) est situé derrière le couple Aar-Gothard (fig. 13); ses deux retombées, valaisanne et grisonne, se placent à l'amont des retombées du massif de l'Aar. La coïncidence est excellente : l'effet A1 a prévalu. L'ensellement valdôtain, qui affecte les nappes IV, V et VI, et celui qui déprime le bord externe de la nappe IV, avec point bas près de Nax, dépendent du chenal Aar-Mont-Blanc; l'effet B1 prédomine et il s'y joint, pour les trois nappes, d'énergiques protrusions. Au-dessus du versant valaisan des Alpes Pennines, il y avait protrusion et bombement axial dans le segment B; c'est l'effet B2, avec *segmentation croisée*. Par suite la surface structurale avait, entre les vallées d'Isérables et de Ginanz, la disposition en demi-dôme que j'ai indiquée¹, avec pentes divergentes

¹ Procès-verbaux Soc. Vaud. Sc. Natur., séance du 3 avril 1912.

au Nord; elle a laissé, comme souvenir de ses traits conséquents primordiaux, le drainage rayonnant dont j'ai parlé. Par le travers du promontoire de Viège, un rebroussement affectait les nappes détruites, comme il affecte les nappes conservées (IV et V); à la surface structurale, qui descendait au Nord, le drainage primordial convergeait dans la même direction et les deux Vièges en gardent la trace.

Le bord interne du massif du Mont-Blanc présente un promontoire rentrant au voisinage de la frontière italo-suisse (Dolent)¹. Au nord de ce promontoire, la partie suisse de ce bord, dirigée au NNE, n'opposait qu'une résistance oblique au flux pennique qui marchait au NW. Plus au Sud, la partie franco-italienne du bord interne, dirigée au NE, résistait perpendiculairement; le bombement des Alpes Graies (Valsavaranche-Grand-Paradis), c'est-à-dire l'effet A1, est donc limité, en long, à ce segment de résistance maximum. Il n'a pu s'allonger beaucoup au NE, derrière la résistance oblique. Celle-ci a résolu l'effort pennique en deux composantes; l'une, dirigée à l'WNW, était normale à la résistance et a été consommée par elle, ainsi que par l'écrasement des bandes penniques extérieures et de la bande helvétique Ferret-Saxon; l'autre, dirigée au NNE, parallèlement au « rivage » hercynien, s'est traînée en long à la manière d'un courant littoral avec *dérive* de la matière dans le même sens. Cette dérive a étiré en long toutes les bandes précitées, jusqu'à la bande houillère inclusivement, en les amincissant; elle a, de plus, favorisé l'écoulement du flux vers le segment Mont Blanc-Aar et empêché ainsi la rétention nécessaire à la production de l'effet A1. Le bombement du Tessin-Mont-

¹ Le rebroussement décrit par la nappe IV un peu au Nord de la Doire Baltée et celui que montre le bord interne de la zone Sesia au N de Biella sont dus à la résistance lointaine de ce promontoire.

Rose, beaucoup plus grand et plus vigoureux, en a profité pour s'allonger jusque dans le Nord des Alpes Graies, où le plongement périclinal du bord W et SW des gneiss du Rafrè sous le Mésozoïque marque son extrémité. C'est pour cela que l'ensellement est si rapproché du massif du Grand-Paradis.

Les nappes de l'Embrunais occupent le chenal Pelvoux-Mercantour; cet ensellement se continue jusqu'à la plaine piémontaise. Il affecte le noyau de la nappe IV, qui disparaît totalement sous le Mésozoïque au delà du massif de Pierre-Eyraud, pour reparaître un peu plus au Sud; plus en amont, il existe sous le Queyras et se manifeste encore par la cuvette transverse comprise entre les bombements IV du Monte Freidour et du Monte Bracco. Derrière le Pelvoux et le Mercantour, la nappe IV montre donc l'effet A1; derrière le chenal intermédiaire, l'effet B1. Le front IV passe en droite ligne derrière le chenal, et il n'y a pas de protrusion: dans les Alpes Cottiennes, l'énergie de proplissement était moindre que dans les Alpes Graies et Pennines; l'effort tangentiel diminuait peu à peu vers le Sud. La réduction graduelle éprouvée par le volume des nappes entre mes coupes 4 et 9 confirme ce résultat.

Dans le massif Dora-Maira, la nappe V est en segmentation croisée sur la nappe IV. V, étant plus jeune, a coulé sur IV déjà ensellée au km. 40, coupe 12. L'alimentation de V, plus abondante au-dessus de cette dépression (effet B2) qu'au-dessus des dômes du Freidour et du Bracco (effet A2) a déterminé le bombement de cette nappe entre les km. 35 et 60 environ.

Des causes plus locales ont influé sur la segmentation: il faut mentionner, en particulier, le rôle des roches vertes mésozoïques. Le laminage n'a pu venir à bout des plus grandes et des plus résistantes de ces masses, qui ont pris des formes en chapelets et en fuseaux, avec tronçonnement lenticulaire en grand. Ces objets, en se traînant sur les

carapaces sous-jacentes, y ont souvent imprimé leur forme. C'est ainsi que la masse de roches vertes du Viso a déprimé et aminci la nappe V, en produisant ou en accentuant le sillon transversal dont le point bas se trouve au km. 30, et que celle de Rocciavré a travaillé de la même façon près du km. 70. La résistance des bombements de IV en profondeur et la moindre nourriture de V dans ces parages doivent aussi entrer en ligne de compte. Les parties les plus résistantes des Pietre Verdi sont également responsables de l'allure lenticulaire grandiose qui prévaut dans l'ensellement de Lanzo et dans celui dans la vallée d'Aoste.

On voit, par ce qui précède, que la segmentation active des nappes penniques a pour condition la segmentation passive du bord hercynien (Aar-Gothard, Aig. Rouges-Mont Blanc, Pelvoux, Mercantour) et pour cause agissante, pour force motrice, le proplissement pennique lui-même, accru sur le tard de tout l'effort insubrien. Elle est contemporaine de la formation des nappes. C'est un phénomène orogénique, réductible à l'effort tangentiel. C'est le résultat d'un compromis incessamment modifié entre les formes d'équilibre transitoires que le flux pennique, dans toute sa masse, a successivement revêtues pendant son écoulement contrarié vers l'extérieur des Alpes.

La segmentation du bord hercynien a reçu, par l'effet des compressions penniques et insubrienne, un accroissement orogénique. Cet accroissement, c'est la somme des composantes verticales afférentes aux renflements préliminaires de l'infrastructure¹, puis au charriage, le long des *thrust-planes*, des coins hercyniens générateurs des nappes à racines externes, et enfin, au gonflement hémicylindrique imprimé au groupe Aar-Gothard par les plis penniques profonds qui s'y sont encapuchonnés. Ce dernier gonfle-

¹ Procès-verbaux Soc. Vaud. Sc. Nat., séance du 20 mars 1912.

ment s'est transmis aux nappes helvétiques, penniques et préalpines sus-jacentes, et l'allure générale en dôme, convexe en long et en travers, qu'elles prennent et prenaient au-dessus de ce groupe hercynien vient principalement de là.

Par suite des déformations ainsi infligées à l'infrastructure, la forme des butoirs et des chéneaux hercyniens se modifiait un peu pendant l'avancée des nappes. Les sections d'écoulement de ces dernières conservaient leurs rapports généraux dans le sens horizontal et dans le sens vertical, mais leurs dimensions, leur altitude et leurs formes de détail variaient un peu. De plus, la vitesse d'écoulement, le *débit* des nappes, lié à l'intensité de l'effort tangentiel et aux réserves de matière disponible dans l'arrière-pays, n'était pas constant, mais soumis à des maxima, à des crues périodiques, mises en évidence par la succession des phases bernardienne, Dent-Blanche, Mont-Rose et insubrienne¹.

Les formes d'équilibre du flux, produit de l'interaction de tous ces facteurs, étaient donc nécessairement instables et variaient lentement. A un instant donné, elles résultaient non seulement des conditions momentanées, mais de tout ce qui s'était passé antérieurement. Les nouvelles figures d'écoulement tendaient à effacer une partie des anciennes, à s'y substituer par degrés, tout en préservant d'autres traits antérieurs, dont beaucoup allaient en s'accroissant. De là le compromis dont j'ai parlé plus haut. La figure actuelle des nappes, que mes constructions s'attachent à faire connaître, est comparable à un *palimpseste* où la dernière écriture est en général plus distincte que les autres, bien que le contraire puisse aussi arriver.

Par ses proportions énormes, la segmentation active

¹ Procès-verbaux Soc. Vaud. Sc. Nat., séances des 21 février, 6 et 20-mars 1912.

des nappes penniques, entre les Grisons et la Méditerranée, est l'un des plus grands exemples de cette catégorie de phénomènes, l'un des plus généralisés et l'un des moins imparfaitement connus. Elle ne fournit pas, nous l'avons marqué, d'évidence en faveur du dualisme absolu mentionné plus haut. Les relations multiples qui la rattachent à la conformation de l'infrastructure ne peuvent être l'effet du hasard. En se donnant cette conformation, ainsi que l'hypothèse du déversement unilatéral des nappes penniques vers l'extérieur des Alpes, on peut déduire, comme je viens de le montrer, toutes les particularités essentielles de la segmentation, et vérifier qu'elles existent dans la nature. La grande sortie axiale¹ des Alpes Pennines orientales est une preuve directe de ce déversement ; la segmentation des grandes nappes cristallines en est une autre. La segmentation existante n'est explicable que dans l'hypothèse du déversement prépondérant vers l'extérieur de la chaîne, et les plissements de la zone pennique présenteraient en surface une distribution tout autre, s'ils étaient autochtones ou si, comme on l'a avancé, le déversement vers l'intérieur de l'arc prédominait dans les Alpes Graies et Cottiennes.

L'hypothèse dualiste qui rend compte des inflexions *axiales* en invoquant une phase tangentielle *nécessairement suivie* de surrection épirogénique, uniquement verticale, seule capable d'expliquer l'exondation des carapaces et d'amener en surface les nappes formées en profondeur, s'est introduite dans la science après le déclin des théories autochtones. Elle bénéficie du prestige encore jeune des nappes. Bien que récente, elle s'affirme volontiers et n'est guère discutée ; elle est presque classique. A ce signe

¹ Emile Argand. *Les nappes de recouvrement des Alpes Pennines et leurs prolongements structuraux*. Matér. Carte géol. Suisse, nouv. sér., livraison XXXI, 1911.

on la croirait inattaquable ; il est aisé, pourtant, de marquer son point faible, qui est de prêter à la nature les procédés de notre esprit.

La géométrie des nappes, pour être éclaircie, veut être embrassée. Il est et il restera toujours difficile, sans une application prolongée, de concevoir dans l'espace, tout d'une venue, la forme d'objets aussi compliqués. Il est plus facile, plus habituel et moins fructueux de se représenter les choses d'abord en plan, puis en coupes. La segmentation, qui apparaît mieux sur ces dernières, est ainsi conçue après coup, comme un phénomène distinct et postérieur. Inconsciemment la succession des images tend à s'imposer comme la succession des faits. Que malgré son caractère disjonctif et analytique, cette double opération mentale soit devenue, pour quelques bons esprits, une double opération de la nature, c'est ce qu'il est permis de croire.

Le point est de concevoir les objets dans l'espace, en une seule image, et non par touches successives. Il y faut quelque attention, mais ce pas franchi, on s'aperçoit très vite que la segmentation vue en plan, avec ses protrusions et ses rebroussements, c'est tout à fait la même chose que la segmentation vue en coupe, avec ses abaissements et ses relèvements d'axe. Ce sont deux aspects d'un même corps, déformé aux mêmes moments par les mêmes agents.

Les nappes se sont bien formées en profondeur, comme on l'admet généralement, mais la surrection et l'émersion des carapaces se manifestaient dans le même temps, grâce aux composantes verticales dérivées de l'effort tangentiel par l'intervention de l'infrastructure. Dans la zone pennique, cette dérivation a pris des chemins nombreux, dont les principaux aboutissent à :

1° La composante ascendante de segmentation, plus

grande au-dessus des bombements et des dômes qu'au dessus des ensellements et des ombilics ;

2° La composante verticale provenant de grandes déformations profondes, telles que les encapuchonnements ;

3° La composante d'ascension du faite structural, déterminée par le sous-charriage insubrien. Cette composante avait son maximum au faite lui-même, et allait en décroissant vers les deux bords de la zone pennique, qui se conformait en voûte surbaissée ;

4° La composante verticale afférente aux formes de détail des carapaces : replis, fractures de la surface et de la sub-surface.

Les trois premiers de ces facteurs ont joué un rôle essentiel dans la surrection des carapaces.

Contribution à l'étude de
l'Intensité des radiations ultraviolettes solaires

MESURES COMPARATIVES ENTRE LAUSANNE ET LEYSIN

PAR

ALFRED ROSSELET, Docteur ès sciences,
ancien assistant de physique à l'Université de Lausanne.

La guérison des tuberculoses chirurgicales et parfois pulmonaires obtenues par la seule exposition des malades aux rayons solaires de l'altitude, a donné, au problème de leur absorption par l'atmosphère, une actualité nouvelle. Il devenait intéressant, en effet, de chercher à obtenir des renseignements quelque peu précis sur l'intensité de cette absorption et sur ses variations saisonnières et diurnes.

Dans nos recherches effectuées à la demande de M. le D^r Rollier, médecin à Leysin, et sous la direction du regretté professeur Henri Dufour, nous ne nous sommes occupés que des radiations ultraviolettes, c'est-à-dire de celles qui, particulièrement absorbées par l'atmosphère, semblent devoir jouer un rôle prépondérant dans les guérisons mentionnées.

A ma connaissance, aucun travail analogue n'a encore été publié ; les travaux de Cornu, qui sont une merveille de précision et de clarté, peuvent être considérés comme étant seuls à nous fournir des documents importants sur les différences relatives aux radiations ultraviolettes du spectre solaire observé en plaine, puis à l'altitude.

Mais cet éminent physicien ne s'est point occupé de leur intensité, ses recherches n'ayant eu pour but que d'atteindre par l'intermédiaire du spectrographe les limites extrêmes du spectre solaire.

Sur quelques expériences effectuées par cette méthode, Cornu a basé tout un développement mathématique duquel il résulte qu'une augmentation d'altitude de 821 mètres ne permet qu'une diminution d'un millionième de millimètre ($1\mu\mu$) dans la longueur d'onde des radiations ultraviolettes. Des mesures analogues à celles effectuées par Cornu, entreprises en 1908 par d'autres expérimentateurs, semblent montrer que cette loi de l'éminent physicien n'est pas rigoureusement exacte et qu'une augmentation dans l'étendue du spectre solaire n'est pas toujours corrélative d'une diminution de l'épaisseur atmosphérique. C'est ainsi qu'au Gornergrat (3136 mètres) la valeur de la dernière longueur d'onde se trouvait être de $291\mu\mu136$ alors qu'au Mont-Blanc (4810 mètres) elle était de $291\mu\mu21$.

Si, par ses brillantes recherches, Cornu paraît avoir définitivement résolu le problème de la limite extrême du spectre solaire, que l'on supposait s'étendre plus loin encore, à cause de son analogie avec le spectre de l'arc du fer, il n'en est pas de même de celui de l'intensité des radiations ultraviolettes. Il offre, aux chercheurs, un champ nouveau d'exploration sillonné seulement par quelques expériences isolées.

La résolution de ce problème, à laquelle le présent travail apportera peut-être quelque secours, est rendue difficile par l'absence d'une méthode permettant d'opérer avec une grande précision ; l'effet Hertz-Hallwachs nous en fournit une, paraissant le mieux convenir à ce genre de recherche, par sa simplicité et la facilité avec laquelle peuvent être transportés les appareils que nécessite son application.

Le dispositif expérimental utilisé dans nos recherches se compose d'un cylindre de laiton, muni d'une ouverture avec diaphragme, permettant aux rayons solaires de pénétrer à l'intérieur et d'arriver ainsi sur une sphère de zinc amalgamé, de 2 cm. de diamètre, placée suivant l'axe géométrique du cylindre, elle constitue ainsi l'armature interne d'un condensateur, dont l'armature externe est le cylindre lui-même ; elle en est isolée par un bouchon d'ambre, dans lequel pénètre la tige métallique à l'extrémité de laquelle elle se trouve placée. A l'extérieur, elle est mise en relation avec un électroscope d'Elster et Geitel.

Chargée d'électricité négative, la sphère de zinc amalgamé ne tarde pas à se décharger sous l'action des radiations ultraviolettes de la lumière solaire (effet Hertz-Hallwachs) et c'est le temps plus ou moins long nécessaire à la production d'une chute de potentiel connue, toujours la même, de 630 volts dans nos expériences, qui mesurera l'intensité plus ou moins forte de ces radiations.

L'on sait que cet effet photoélectrique est fortement dépendant de l'état de la surface métallique, dans le cas particulier du zinc amalgamé, frappée par les radiations. Il est impossible d'affirmer que cet état soit rigoureusement identique pendant une série d'expériences, et cela devient plus douteux encore si l'on considère des séries différentes ; c'est essentiellement dans ce fait que réside le manque de précision de la méthode photoélectrique. Nous y avons suppléé de notre mieux en amalgamant toujours les sphères de zinc par le même procédé, puis en les polissant après chaque mesure ; lorsque le poli d'une sphère était quelque peu altéré, celle-ci était remplacée par une autre nouvellement amalgamée.

Les mesures ont été faites à Lausanne (553 m.) et à Leysin (clinique du Dr Rollier, 1300 m.) et sont représentées par les courbes jointes à ce travail ; l'intensité me-

surée en seconde est portée en ordonnée, puis en abscisse l'heure à laquelle elle fut mesurée.

L'examen de ces graphiques nous conduit à un premier résultat important, mis en évidence par le tableau suivant qui en est déduit, *c'est que la différence d'intensité des radiations ultraviolettes, mesurée en plaine et en montagne, diminue à mesure que l'on se rapproche de la saison chaude et n'est vraiment appréciable qu'en hiver.*

Mois.	Moyenne de l'intensité.		Différence.
	à Lausanne.	à Leysin.	
Mai . . .	13 ^s	10 ^s 5	2 ^s 5
Août . . .	8 ^s 3	6 ^s	2 ^s 3
Septembre . . .	11 ^s 3	8 ^s	3 ^s 3
Octobre . . .	15 ^s	12 ^s	2 ^s 5
Novembre . . .	42 ^s	29 ^s 3	12 ^s 7
Février . . .	44 ^s	34 ^s 3	19 ^s 3

La faible différence d'intensité constatée pendant une partie de l'année, nous autorise à penser qu'elle ne peut expliquer seule l'action heureuse de la radiation solaire à l'altitude sur les malades qui y sont exposés ; un autre facteur doit aussi être pris en considération, soit l'intervalle de temps plus ou moins considérable, suivant que l'on considère l'altitude ou la plaine, pendant lequel a été observée, d'une façon intermittente ou continue, la radiation d'intensité maxima ; dans le cas particulier de Lausanne et de Leysin, l'heure où elle a pu être décelée est indiquée par le tableau suivant :

Mois.	Stations.	Heures.	Durée.
Mai . . .	Lausanne	11 $\frac{1}{4}$ — 1 $\frac{3}{4}$	2 $\frac{1}{4}$ h.
Mai . . .	Leysin	11 — 2	3 »
Août . . .	Lausanne	11 — 1 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$ »
Août . . .	Leysin	11 — 2	3 »
Septembre . . .	Lausanne	11 $\frac{1}{4}$ — 11 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{4}$ »
Septembre . . .	Leysin	11 — 2	3 »
Octobre . . .	Lausanne	12 $\frac{1}{2}$ — 12 $\frac{3}{4}$	$\frac{1}{4}$ »
Octobre . . .	Leysin	11 — 1 $\frac{1}{4}$	2 $\frac{1}{4}$ »
Novembre . . .	Lausanne	12 — 12 $\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$ »
Novembre . . .	Leysin	11 $\frac{3}{4}$ — 1 $\frac{1}{4}$	1 $\frac{1}{2}$ »
Février . . .	Lausanne	12 — 12 $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$ »
Février . . .	Leysin	11 $\frac{3}{4}$ — 1	1 $\frac{3}{4}$ »

Deux constatations encore peuvent être déduites de nos mesures : l'intensité des radiations ultraviolettes est toujours plus faible à Lausanne qu'à Leysin, et dans cette dernière station la différence dans l'intensité entre l'hiver et l'été est moins considérable qu'à Lausanne. Si notre première conclusion tendait à montrer l'importance de la cure d'altitude seulement pendant la saison froide, celle-ci nous oblige, au contraire, à la préconiser pour la maladie dont la gravité oblige une cure solaire prolongée. En effet, le tuberculeux qui s'y trouve soumis n'est point obligé de l'interrompre pendant la saison froide, comme il serait nécessaire de le faire en plaine, à cause de la diminution dans l'intensité des radiations ultraviolettes, résultant de leur passage à travers la brume dont sont si souvent enveloppées les basses régions et que Crova appelait pittoresquement la « vase atmosphérique ».

Enfin signalons encore, comme dernière observation générale, la variation grande de l'intensité des radiations ultraviolettes pendant l'hiver, et sa constance relative pendant la saison chaude; ces variations sont dues sans doute à l'épaisseur atmosphérique plus considérable que les radiations ont à traverser pendant cette période de l'année.

Au cours de ces mesures, nous avons eu la chance de nous trouver en présence du fait inattendu, signalé déjà par le professeur Gockel, de Fribourg, d'une absorption anormale et momentanée des radiations ultraviolettes; c'était le 25 novembre 1908, l'intensité dont la valeur se trouvait être de 1 m. 5 s. est tombée brusquement à 2 m. 56 s. pour remonter ensuite à 1 m. 24 s.; ce phénomène, qu'un mauvais fonctionnement de l'appareil ne pouvait expliquer, était d'autant plus étrange qu'il se produisit par un ciel très pur, dont l'état n'a subi aucun changement, du moins apparent, pendant le temps très court de l'opération. Il est un dernier fait, que nous tenons à mentionner encore, c'est l'augmentation, souvent constatée, de l'intensité des

radiations ultraviolettes, lorsqu'un léger nuage passe devant le soleil.

Dans ce travail, nous nous sommes bornés à ne rendre compte que des faits observés, sans méconnaître toutefois l'intérêt et les idées que pourrait susciter la comparaison des présentes mesures avec celles effectuées de l'intensité totale du rayonnement solaire, et peut-être même avec les recherches de Cornu sur la limite extrême du spectre solaire. Peut-être en ferons-nous l'objet d'un prochain mémoire.

Lausanne le 22 avril 1908.

Intensités en secondes.	Heures.	Intensités en secondes.	Heures.
38. 45. 35. 36. 36. 40.	11 - 11 ¹ / ₄	32. 26. 28. 35. 30. 30.	11 ¹ / ₄ -11 ¹ / ₂
35. 32. 27. 27. 27. 27.	11 ¹ / ₂ -11 ³ / ₄	25. 24. 27. 28. 32. 32.	11 ³ / ₄ -12
35. 23. 25. 29. 31. 37.	12 - 12 ¹ / ₄	29. 29. 24. 21. 23. 29.	12 ¹ / ₄ -12 ¹ / ₂
18. 30. 32. 30. 28. 28.	12 ¹ / ₂ -12 ³ / ₄	30. 30. 31. 30. 30. 30.	12 ³ / ₄ - 1
30. 30. 31. 30. 30. 31.	1 - 1 ¹ / ₄	25. 27. 30. 40. 34. 44.	1 ¹ / ₄ - 1 ¹ / ₂
30. 42. 30. 42. 30. 30.	1 ¹ / ₃ - 1 ³ / ₄	30. 30. 37. 40 ^s 27. 34.	1 ³ / ₄ - 2
30. 30. 37. 45. 39. 46.	2 - 2 ¹ / ₄	52. 58. 54 ^s 50. 51. 51.	2 ¹ / ₄ - 2 ¹ / ₂
40. 54. 57. 55. 51. 51.	2 ¹ / ₂ - 2 ³ / ₄	49. 47. 42. 41. 50. 45.	2 ³ / ₄ - 3
50. 57. 55. 1. 50. 55.	3 - 3 ¹ / ₄	54. 65. 80 ^s 60 ^s 75. 60 ^s	3 ¹ / ₄ - 3 ¹ / ₂

Lausanne le 30 avril 1908.

Intensités en secondes.	Heures.	Intensités en secondes.	Heures.
49. 20. 16. 21. 17. 18.	11 - 11 ¹ / ₄	19. 21. 20. 14. 17. 17.	11 ¹ / ₄ -11 ¹ / ₂
15. 15. 16. 22. 18. 17.	11 ¹ / ₂ -11 ³ / ₄	20. 18. 17. 15. 16. 16.	11 ³ / ₄ -12
17. 18. 18. 16. 15. 16.	12 - 12 ¹ / ₄	16. 21. 22. 27. 21. 24.	12 ¹ / ₄ -12 ¹ / ₂
24. 15. 15. 17. 29. 23.	12 ¹ / ₂ -12 ³ / ₄	21. 20. 24. 24. 22. 24.	12 ³ / ₄ - 1
21. 18. 19. 19. 29. 30.	1 - 1 ¹ / ₄	21. 20. 14. 19. 22. 22.	1 ¹ / ₄ - 1 ¹ / ₂
25. 27. 22. 28. 19. 25.	1 ¹ / ₂ - 1 ³ / ₄	23. 28. 29. 28. 35. 34 ^s	1 ¹ / ₂ - 1 ³ / ₄

Lausanne le 1^{er} mai 1908.

Intensités en secondes.	Heures.	Intensités en secondes.	Heures.
26. 23. 20. 19. 26. 30.	11 - 11 ¹ / ₄	24. 25. 25. 23. 22. 26.	11 ¹ / ₄ -11 ¹ / ₂
25. 20. 20. 22. 23. 23.	11 ¹ / ₂ -11 ³ / ₄	21. 21. 21. 21. 21. 21.	11 ³ / ₄ -12
21. 20. 17. 20. 21. 20.	12 - 12 ¹ / ₄	19. 21. 18. 21. 21. 21.	12 ¹ / ₄ -12 ¹ / ₂
21. 22. 17. 21. 31. 31.	12 ¹ / ₂ -12 ³ / ₄	31. 34. 27. 27. 27. 29.	12 ³ / ₄ - 1
12. 16. 16. 15. 15. 15.	1 - 1 ¹ / ₄	20. 18. 18. 16. 19. 21.	1 ¹ / ₄ - 1 ¹ / ₂
23. 23. 15. 15. 19. 20.	1 ¹ / ₂ - 1 ³ / ₄	17. 20. 24. 17. 23. 23.	1 ¹ / ₂ - 1 ³ / ₄

Leysin le 2 mai 1908.

Intensités en secondes.	Heures.	Intensités en secondes.	Heures.
21. 21. 22. 24. 30. 16.	10 1/4-10 1/2	13. 14. 14. 14. 15. 16.	10 1/2-10 3/4
19. 19. 14. 15. 17. 17.	10 3/4-11	16. 14. 15. 18. 20. 18.	11 -11 1/4
14. 16. 16. 17. 18. 21.	11 1/4-11 1/2	20. 16. 17. 15. 16. 16.	11 1/2-11 3/4
30. 26. 26. 18. 19. 19.	11 3/4-12	18. 17. 16. 19. 14. 14.	12 -12 1/4
22. 24. 30. 25. 31. 31.	12 1/4-12 1/2	26. 16. 15. 14. 13. 15.	12 1/2-12 3/4
12. 13. 13. 13. 13. 12.	12 3/4- 1	13. 13. 13. 13. 13. 13.	1 - 1 1/4
14. 14. 14. 14. 14. 19.	1 1/4- 1 1/2	26. 29. 28. 28. 29. 25.	1 1/2- 1 3/4
28. 26. 24. 22. 22. 19.	1 3/4- 2	17. 17. 19. 22. 25. 25.	2 - 2 1/4

Leysin le 17 mai 1908.

Intensités en secondes.	Heures.	Intensités en secondes.	Heures.
14. 15. 17. 16. 18. 16.	9 3/4-10	16. 13. 15. 15. 15. 15.	10 -10 1/4
16. 14. 18. 16. 16. 16.	10 1/4-10 1/2	15. 16. 15. 15. 14. 17.	10 1/2-10 3/4
12. 12. 13. 13. 15. 16.	10 3/4-11	14. 17. 11. 11. 15. 13.	11 -11 3/4
15. 16. 18. 14. 15. 16.	11 1/4-11 1/2	14. 14. 14. 15. 15. 13.	11 1/2-11 3/4
18. 15. 13. 13. 13. 13.	11 3/4-12	15. 13. 14. 11. 12. 14.	12 -12 1/4
14. 13. 15. 14. 14. 14.	12 1/4-12 1/2	11. 10. 12. 12. 12. 15.	12 1/2-12 3/4
11. 9. 9. 10. 10. 10.	12 3/4- 1	10. 8. 10. 8. 9. 9.	1 1 1/4
11. 11. 11. 14. 12. 15.	1 1/4- 1 1/2	15. 18. 10. 10. 8. 8.	1 1/2- 1 3/4
5. 10. 8. 10. 11. 11.	1 3/4- 2	10. 11. 11. 12. 10. 12.	2 - 2 1/4
10. 11. 12. 13. 15. 11.	2 1/4- 2 1/2	12. 13. 12. 15. 18. 11.	2 1/2- 2 3/4
17. 14. 14. 18. 20. 27.	2 3/4- 3.		

Lausanne le 18 mai 1908.

Intensités en secondes.	Heures.	Intensités en secondes.	Heures.
18. 15. 16. 18. 16. 15.	11 -11 1/4	16. 15. 16. 15. 15. 16.	11 1/4-11 1/2
15. 15. 15. 18. 17. 18.	11 1/2-11 3/4	13. 13. 13. 13. 13. 13.	11 3/4-12
14. 13. 13. 12. 12. 14.	12 -12 1/4	13. 15. 12. 12. 13. 14.	12 1/4-12 1/2
18. 18. 18. 17. 12. 14.	12 1/2-12 3/4	13. 13. 14. 14. 14. 17.	12 3/4- 1
13. 13. 14. 14. 14. 17.	1 - 1 1/4	17. 14. 16. 16. 15. 15.	1 1/4- 1 1/2
18. 15. 15. 16. 12. 16.			

Lausanne le 19 mai 1908.

Intensités en secondes.	Heures.	Intensités en secondes.	Heures.
14. 14. 12. 16. 14. 13.	11 -11 1/4	14. 13. 12. 15. 14. 13.	11 1/4-11 1/2
14. 14. 12. 12. 12. 12.	11 1/2-11 3/4	14. 13. 15. 14. 15. 15.	11 3/4-12
12. 13. 12. 13. 13. 13.	12 -12 1/4	14. 14. 14. 14. 15. 15.	12 1/4-12 1/2
12. 13. 12. 12. 13. 12.	12 1/2-12 3/4	13. 13. 14. 14. 13. 14.	12 3/4- 1
15. 13. 13. 15. 15. 15.	1 - 1 1/4	14. 14. 15. 16. 13. 14.	1 1/4- 1 1/2
14. 14. 16. 15. 17. 20.	1 1/2- 1 3/4.		

Lausanne le 4 juin 1908.

Intensités en secondes.	Heures.	Intensités en secondes.	Heures.
16. 17. 15. 16. 17. 15.	11 -11 1/4	14. 14. 13. 13. 15. 11.	11 1/4-11 1/2
14. 14. 13. 13. 14. 12.	11 1/2-11 3/4	13. 16. 14. 13. 14. 12.	11 3/4-12
14. 14. 15. 16. 12. 14.	12 -12 1/4	15. 15. 15. 15. 15. 14.	12 1/4-12 1/2
13. 14. 15. 13. 13. 15.	12 1/2-12 3/4	12. 13. 13. 14. 13. 13.	12 3/4- 1
17. 15. 14. 13. 15. 14.	1 - 1 1/4	13. 17. 15. 16. 14. 15.	1 1/4- 1 1/2
12. 12. 11. 12. 15. 17.	1 1/3- 1 3/4		

Leysin le 4 août 1908.

Intensités en secondes.	Heures.	Intensités en secondes.	Heures.
11. 11. 11. 13. 11. 14.	9 1/2- 9 3/4	10. 10. 10. 12. 13. 13.	9 3/4-10
9. 11. 14. 9. 12. 12.	10 -10 1/4	10. 11. 11. 12. 13. 13.	10 1/4-10 1/2
14. 11. 10. 8. 11. 10.	10 1/2-10 3/4	12. 10. 9. 11. 11. 12.	10 3/4-11
8. 9. 8. 11. 7. 9.	11 -11 1/4	10. 9. 13. 10. 10. 10.	11 1/4-11 1/2
7. 7. 7. 7. 7. 7.	11 1/2-11 3/4	6. 6. 6. 6. 6. 7.	11 3/4-12
7. 7. 6. 6. 6. 6.	12 -12 1/4	6. 6. 7. 9. 9. 7.	12 1/4-12 1/2
6. 7. 7. 6. 8. 6.	12 1/2-12 3/4	9. 9. 9. 8. 10. 9.	12 3/4- 1
8. 9. 10. 10. 8. 12.	1 - 1 1/4	14. 12. 9. 9. 9. 9.	1 1/4- 1 1/2
9. 10. 13. 12. 12. 14.	1 1/2- 1 3/4	6. 7. 8. 7. 7. 7.	1 3/4- 2
7. 7. 7. 7. 7. 8.	2 - 2 1/4	7. 7. 9. 13. 14. 15.	2 1/4- 2 1/2

Lausanne le 11 août 1908.

Intensités en secondes.	Heures.	Intensités en secondes.	Heures.
10. 11. 11. 14. 13. 12.	11 -11 1/4	12. 11. 12. 12. 13. 12.	11 1/4-11 1/2
11. 12. 10. 11. 11. 12.	11 1/2-11 3/4	10. 11. 11. 10. 11. 11.	11 3/4-12
10. 10. 10. 11. 10. 10.	12 -12 1/4	10. 10. 10. 10. 10. 10.	12 1/4-12 1/2
11. 10. 10. 10. 10. 11.	12 1/2-12 3/4	12. 10. 11. 12. 13. 12.	12 3/4- 1
11. 10. 11. 8. 10. 11.	1 - 1 1/4	12. 13. 10. 12. 12. 12.	1 1/4- 1 1/2
11. 12. 12. 12. 13. 12.	1 1/2- 1 3/4	15. 13. 15. 15. 17. 17.	1 3/4- 2

Lausanne le 14 août 1908.

Intensités en secondes.	Heures.	Intensités en secondes.	Heures.
10. 10. 11. 11. 10. 11.	11 -11 1/4	10. 10. 10. 10. 10. 10.	11 1/4-11 1/2
9. 10. 10. 11. 10. 11.	11 1/2-11 3/4	10. 12. 14. 9. 10. 10.	11 3/4-12
12. 14. 10. 12. 9. 11.	12 -12 1/4	8. 9. 10. 15. 15. 15.	12 1/4-12 1/2
		Soleil légèrement voilé.	
12. 13. 13. 10. 10. 10.	12 1/2-12 3/4	10. 12. 11. 10. 10. 8.	12 3/4- 1
		Soleil voilé.	
11. 11. 10. 12. 12. 12.	1 - 1 1/4	9. 12. 16. 13. 15. 14.	1 1/4-1 1/2
		Soleil voilé.	
15. 15. 15. 18. 15. 15.	1 1/2- 1 3/4.		

Leysin le 20 août 1908.

Intensités en secondes.						Heures.		Intensités en secondes.						Heures.	
11.	12.	13.	14.	12.	11.	9	- 9 1/4	13.	13.	13.	14.	10.	10.	9 1/4-	9 1/2
10.	12.	13.	12.	11.	10.	9 1/2-	9 3/4	11.	14.	14.	13.	14.	14.	9 3/4-	10
14.	13.	11.	9.	9.	9.	10	-10 1/4	10.	10.	9.	9.	9.	9.	10 1/4-	10 1/2
6.	8.	7.	7.	7.	7.	10 3/2-	10 1/4	8.	8.	9.	7.	6.	8.	10 3/4-	11
9.	8.	9.	8.	9.	7.	11	-11 1/4	8.	6.	6.	6.	6.	5.	11 1/4-	11 1/2
6.	6.	6.	7.	8.	8.	11 1/2-	11 3/4	9.	7.	7.	7.	7.	7.	11 3/4-	12
8.	7.	7.	8.	8.	8.	12	-12 1/4	6.	6.	7.	7.	6.	7.	12 1/4-	12 1/2
7.	7.	7.	7.	6.	6.	12 1/2-	12 3/4	6.	6.	7.	7.	7.	7.	12 3/4-	1
6.	7.	8.	6.	7.	7.	1	- 1 1/4	7.	7.	7.	7.	8.	8.	1 1/4-	1 1/2
5.	6.	7.	6.	7.	7.	1 1/2-	1 3/4	8.	8.	6.	8.	7.	7.	1 3/4-	2
7.	7.	8.	8.	9.	11.	2	- 2 1/4	12.	14.	9.	11.	10.	10.	2 1/4-	2 1/2
8.	8.	8.	8.	10.	9.	2 1/2-	2 3/4	9.	12.	8.	8.	11.	16.	2 3/4-	3

Lausanne le 27 août 1908.

Intensités en secondes.						Heures.		Intensités en secondes.						Heures.	
10.	10.	10.	10.	8.	9.	11	-11 1/4	8.	9.	8.	9.	8.	10.	10 1/4-	10 1/2
10.	10.	10.	9.	8.	9.	11 1/2-	11 3/4	9.	9.	9.	10.	9.	8.	11 3/4-	12
8.	8.	8.	8.	7.	7.	12	-12 1/4	10.	11.	8.	9.	10.	10.	12 1/4-	12 1/2
8.	8.	8.	8.	8.	8.	12 1/2-	12 3/4	9.	10.	8.	6.	8.	9.	12 3/4-	1
9.	9.	8.	9.	8.	7.	1	- 1 1/4	12.	13.	12.	13.	12.	1 1/4-	1 1/2	

Lausanne, le 7 septembre 1908.

Intensités en secondes.						Heures.		Intensités en secondes.						Heures.	
14.	14.	11.	12.	11.	11.	11	-11 1/4	11.	11.	12.	12.	13.	14.	11 1/4-	11 1/2
10.	13.	13.	13.	14.	12.	11 1/2-	11 3/4	10.	10.	10.	12.	10.	10.	11 3/4-	12
11.	11.	10.	10.	10.	10.	12	-12 1/4	11.	12.	13.	13.	13.	13.	12 1/4-	12 1/2
9.	11.	10.	10.	10.	10.	12 1/2-	12 3/4	9.	9.	10.	11.	12.	14.	12 3/4-	1
14.	14.	12.	12.	12.	12.	1	- 1 1/4	10.	10.	11.	13.	11.	11.	1 1/4-	1 1/2
12.	13.	13.	11.	13.	15.	1 1/2-	1 3/4	13.	14.	14.	15.	13.	14.	10 3/4-	2

Leysin, le 8 septembre 1908.

Intensités en secondes.						Heures.		Intensités en secondes.						Heures.	
10.	13.	10.	10.	12.	10.	9 3/4-	10	10.	10.	10.	13.	13.	13.	10	-10 1/4
12.	10.	10.	12.	12.	8.	10 1/4-	10 1/2	9.	8.	9.	8.	8.	8.	11	-11 1/4
7.	7.	8.	8.	7.	7.	10 3/4-	11	9.	8.	9.	8.	9.	8.	11	-11 1/4
10.	9.	11.	10.	8.	8.	11 1/4-	11 1/2	8.	8.	8.	8.	8.	8.	11 1/2-	11 3/4
8.	9.	8.	9.	9.	7.	11 3/4-	12	7.	7.	7.	7.	8.	9.	12	-12 1/2
8.	8.	10.	10.	8.	8.	12 1/4-	12 1/2	8.	8.	9.	9.	8.	9.	12 1/2-	12 3/4
8.	10.	10.	10.	7.	8.	12 3/4-	1	8.	8.	7.	7.	6.	7.	1	- 1 1/4
9.	10.	8.	8.	7.	9.	1 1/4-	1 1/2	8.	7.	8.	8.	9.	9.	1 1/2-	1 3/4
9.	10.	10.	8.	10.	9.	1 3/4-	2	8.	8.	7.	9.	8.	8.	2	- 2 1/4
10.	10.	8.	8.	9.	9.	1 1/4-	2 1/2	9.	9.	8.	10.	10.	10.	2 1/2-	2 3/4
10.	10.	11.	9.	9.	11.	2 2/4-	3	12.	11.	13.	14.	14.	15.	3	- 3 1/4

Lausanne, le 14 septembre 1908.

Intensités en secondes.	Heures.	Intensités en secondes.	Heures.
14. 18. 17. 20. 14. 17.	11 - 11 ¹ / ₄	18. 15. 20. 15. 13. 25.	11 ¹ / ₄ -11 ¹ / ₂
15. 15. 17. 15. 20. 16.	11 ¹ / ₂ -11 ³ / ₄	16. 18. 20. 17. 18. 20.	11 ³ / ₄ -12
16. 16. 15. 17. 14. 12.	12 - 12 ¹ / ₄	13. 13. 13. 15. 14. 15.	12 ¹ / ₄ -12 ¹ / ₂
15. 15. 16. 15. 15. 12.	12 ¹ / ₂ -12 ³ / ₄	12. 17. 13. 15. 15. 17.	12 ³ / ₄ - 1
15. 15. 15. 15. 15. 15.	1 - 1 ¹ / ₄	17. 15. 15. 17. 18. 18.	1 ¹ / ₄ - 1 ¹ / ₂
15. 15. 18. 24. 25. 20.	1 ¹ / ₂ - 1 ³ / ₄	20. 20. 20. 22. 22. 22.	1 ³ / ₄ - 2

Leysin, le 15 septembre 1908.

Intensités en secondes.	Heures.	Intensités en secondes.	Heures.
15. 13. 15. 15. 15. 15.	9 ³ / ₄ -10	13. 12. 12. 14. 14. 15.	10 - 10 ¹ / ₄
10. 12. 12. 11. 10. 12.	10 ¹ / ₄ -10 ¹ / ₂	10. 10. 12. 12. 11. 11.	10 ¹ / ₂ - 0 ³ / ₄
9. 9. 9. 9. 9. 10.	10 ³ / ₄ -11	10. 10. 9. 9. 9. 9.	11 - 11 ¹ / ₄
10. 12. 9. 9. 10. 12.	11 ¹ / ₄ -11 ¹ / ₂	9. 12. 12. 10. 8. 10.	11 ¹ / ₂ -11 ³ / ₄
10. 10. 12. 14. 11. 14.	11 ³ / ₄ -12	12. 10. 12. 10. 10. 10.	12 - 12 ¹ / ₄
10. 12. 10. 22. 12. 11.	12 ¹ / ₄ -12 ¹ / ₂	12. 15. 14. 14. 14. 14.	12 ¹ / ₂ -12 ³ / ₄
12. 10. 8. 9. 12. 12.	12 ³ / ₄ - 1	10. 10. 8. 8. 8. 8.	1 - 1 ¹ / ₄
12. 12. 12. 13. Soleil voilé.			

Soleil peu voilé.

Leysin, le 18 septembre 1908.

Intensités en secondes.	Heures.	Intensités en secondes.	Heures.
10. 11. 11. 11. 14. 12.	10 - 10 ¹ / ₄	10. 10. 10. 10. 10. 10.	10 ¹ / ₄ -10 ¹ / ₂
10. 10. 12. 13. 10. 10.	10 ¹ / ₂ -10 ³ / ₄	10. 10. 10. 10. 10. 9.	10 ³ / ₄ -11
9. 9. 8. 10. 10. 9.	11 - 11 ¹ / ₄	9. 8. 7. 7. 7. 8.	11 ¹ / ₄ -11 ¹ / ₂
8. 8. 8. 9. 9. 8.	11 ¹ / ₂ -11 ³ / ₄	8. 7. 7. 7. 7. 8.	11 ³ / ₄ -12
10. 8. 8. 7. 7. 7.	12 - 12 ¹ / ₄	8. 7. 8. 9. 9. 8.	12 ¹ / ₄ -12 ¹ / ₂
8. 8. 10. 9. 9. 9.	12 ¹ / ₂ -12 ³ / ₄	8. 10. 9. 9. 9. 9.	12 ³ / ₄ - 1
8. 8. 8. 9. 7. 8.	1 - 1 ¹ / ₄	9. 8. 8. 8. 8. 8.	1 ¹ / ₄ - 1 ¹ / ₂
8. 8. 7. 9. 10. 9.	1 ¹ / ₂ - 1 ³ / ₄	9. 9. 8. 7. 8. 8.	1 ³ / ₄ - 2
10. 10. 10. 10. 9. 10.	2 - 2 ¹ / ₄	10. 9. 10. 15. 13. 15.	2 ¹ / ₄ - 2 ¹ / ₂

Lausanne, le 19 septembre 1908.

Intensités en secondes.	Heures.	Intensités en secondes.	Heures.
16. 21. 12. 14. 14. 14.	11 ¹ / ₂ -11 ³ / ₄	15. 15. 17. 17. 18. 16.	11 ³ / ₄ -12
11. 14. 12. 14. 14. 14.	12 - 12 ¹ / ₄	12. 12. 12. 12. 12. 12.	12 ¹ / ₄ -12 ¹ / ₂
10. 12. 14. 13. 13. 15.	12 ¹ / ₂ -12 ³ / ₄	15. 15. 15. 15. 15. 15.	12 ³ / ₄ - 1
14. 16. 14. 18. 13. 15.	1 - 1 ¹ / ₄	16. 16. 15. 13. 15. 12.	1 ¹ / ₄ - 1 ¹ / ₂
12. 13. 15. 15. 15. 15.	1 ¹ / ₂ - 1 ³ / ₄	19. 21. 17. 17. 18. 15.	1 ³ / ₄ - 2
16. 20. 15. 15. 18. 19.	2 - 2 ¹ / ₄	Journée brumeuse.	

Leysin, le 15 octobre 1908.

Intensités en secondes.	Heures.	Intensités en secondes.	Heures.
47. 16. 15. 18. 16. 16.	10 ¹ / ₄ - 10 ¹ / ₂	14. 16. 15. 17. 15. 17.	10 ¹ / ₄ - 10 ³ / ₄
14. 14. 15. 14. 14. 17.	10 ³ / ₄ - 11	14. 14. 14. 14. 14. 14.	11 - 11 ¹ / ₄
14. 14. 14. 16. 15. 13.	11 ¹ / ₄ - 11 ¹ / ₂	14. 16. 17. 14. 15. 14.	11 ¹ / ₂ - 11 ³ / ₄
14. 14. 13. 14. 13. 13.	11 ³ / ₇ - 12	14. 13. 13. 13. 13. 13.	12 - 12 ¹ / ₄
13. 13. 14. 14. 12. 16.	12 ¹ / ₄ - 12 ¹ / ₂	16. 13. 12. 13. 13. 13.	12 ¹ / ₂ - 12 ³ / ₄
16. 13. 14. 14. 11. 11.	12 ³ / ₄ - 1	12. 12. 12. 11. 12. 12.	1 - 1 ¹ / ₄
14. 15. 16. 14. 14. 14.	1 ¹ / ₄ - 1 ¹ / ₂	14. 15. 16. 14. 17. 16.	1 ¹ / ₂ - 1 ³ / ₄
18. 17. 18. 18. 18. 18.	1 ³ / ₄ - 2		

Lausanne, le 16 octobre 1908.

Intensités en secondes.	Heures.	Intensités en secondes.	Heures.
35. 34. 28. 22. 28. 30.	11 - 11 ¹ / ₄	31. 26. 32. 23. 28. 37.	11 ¹ / ₄ - 11 ¹ / ₂
28. 27. 24. 25. 30. 30.	11 ¹ / ₂ - 11 ³ / ₄	30. 27. 32. 26. 33. 29.	11 ³ / ₄ - 12
19. 30. 26. 33. 30. 31.	12 - 12 ¹ / ₄	24. 19. 27. 25. 18. 18.	12 ¹ / ₄ - 12 ¹ / ₂
18. 15. 15. 15. 15. 15.	12 ¹ / ₂ - 12 ³ / ₄	20. 25. 22. 22. 20. 21.	12 ³ / ₄ - 1
25. 23. 22. 26. 24. 25.	1 - 1 ¹ / ₄	24. 30. 30. 25. 26. 22.	1 ¹ / ₄ - 1 ¹ / ₂
24. 24. 23. 28. 23. 23.	1 ¹ / ₂ - 1 ³ / ₄	32. 20. 25. 27. 29. 25.	1 ³ / ₄ - 2

Journée brumeuse.

Leysin, le 31 octobre 1908.

Intensités en secondes.	Heures.	Intensités en secondes.	Heures.
30. 22. 25. 27. 26. 25.	10 ¹ / ₂ - 10 ³ / ₄	20. 23. 23. 19. 21. 21.	10 ³ / ₄ - 11
18. 16. 16. 14. 18. 16.	11 - 11 ¹ / ₄	13. 14. 14. 14. 14. 19.	11 ¹ / ₄ - 11 ¹ / ₂
18. 17. 16. 16. 17. 17.	11 ¹ / ₂ - 11 ³ / ₄	17. 16. 16. 16. 16. 16.	11 ³ / ₄ - 12
16. 14. 17. 17. 18. 16.	12 - 12 ¹ / ₄	17. 17. 16. 15. 15. 17.	12 ¹ / ₄ - 12 ¹ / ₂
17. 17. 15. 15. 15. 15.	12 ¹ / ₂ - 12 ³ / ₄	15. 15. 15. 15. 15. 15.	12 ³ / ₄ - 1
15. 16. 16. 16. 16. 16.	1 - 1 ¹ / ₄	19. 19. 18. 20. 20. 20.	1 ¹ / ₄ - 1 ¹ / ₂
19. 19. 20. 24. 16. 22.	1 ¹ / ₂ - 1 ³ / ₄	22. 22. 21. 21. 20. 22.	1 ³ / ₄ - 2

Leysin, le 1^{er} novembre 1908.

Intensités en secondes.	Heures.	Intensités en secondes.	Heures.
46. 18. 17. 15. 21. 19.	10 ¹ / ₂ - 10 ³ / ₄	19. 23. 19. 19. 23. 23.	10 ³ / ₄ - 11
21. 21. 19. 19. 19. 19.	10 ¹ / ₂ - 10 ³ / ₄	20. 18. 18. 19. 19. 19.	11 ¹ / ₄ - 11 ¹ / ₂
20. 18. 16. 20. 16. 16.	11 ¹ / ₂ - 11 ³ / ₄	16. 17. 15. 14. 17. 16.	11 ³ / ₄ - 12
16. 16. 20. 16. 16. 16.	12 - 12 ¹ / ₄	16. 16. 16. 15. 15. 16.	12 ¹ / ₄ - 12 ¹ / ₂
16. 16. 16. 15. 16. 16.	12 ¹ / ₂ - 12 ³ / ₄	16. 15. 15. 18. 17. 18.	12 ³ / ₄ - 1
20. 22. 19. 18. 19. 22.	1 - 1 ¹ / ₄	21. 20. 21. 19. 24. 24.	1 ¹ / ₄ - 1 ¹ / ₂
17. 20. 25. 21. 22. 27.	1 ¹ / ₂ - 1 ³ / ₄	19. 23. 17. 23. 20. 23.	1 ³ / ₄ - 2

Lausanne, le 25 novembre 1908.

Intensités en secondes.					Heures.	Intensités en secondes.					Heures.
80.	99.	92.	65.	62.	11 - 11 ¹ / ₄	80.	99.	92.	65.	62.	11 ¹ / ₄ -11 ¹ / ₂
65.	56.	57.	81.	11 ¹ / ₂ -11 ³ / ₄	75.	74.	67.	70.			11 ³ / ₄ -12
47.	60.	55.	53.	12 - 12 ¹ / ₄	48.	50.	75.	65.			12 ¹ / ₄ -12 ¹ / ₂
42.	59.	54.	42.	12 ¹ / ₂ -12 ³ / ₄	62.	59.	67.	75.			12 ³ / ₄ - 1
67.	76.	58.	42.	1 - 1 ¹ / ₄	64.	71.	65.	70.			1 ¹ / ₄ - 1 ¹ / ₂
65.	176.	84.	92.	1 ¹ / ₂ - 1 ³ / ₄							

Leysin, le 29 novembre 1908.

Intensités en secondes.					Heures	Intensités en secondes.					Heures.
77.	85.	78.	60.	11 ³ / ₄ -11	120.	80.	65.	64.	11	- 11 ¹ / ₄	
53.	53.	90.	57.	11 ¹ / ₄ -11 ¹ / ₂	49.	55.	42.	56.	11 ¹ / ₂ -11 ³ / ₄		
45.	90.	41.	46.	11 ³ / ₄ -12	43.	58.	43.	43.	12 - 12 ¹ / ₄		
43.	43.	42.	41.	12 ¹ / ₄ -12 ¹ / ₂	41.	47.	46.	46.	12 ¹ / ₂ -12 ³ / ₄		
53.	65.	45.	45.	12 ³ / ₄ - 1	53.	50.	39.	47.	1 - 1 ¹ / ₄		
50.	46.	53.	55.	1 ¹ / ₄ - 1 ¹ / ₂	57.	54.	52.	37.	1 ¹ / ₂ - 1 ³ / ₄		
55.	52.	48.	70.	1 ³ / ₄ - 2							

Leysin, le 30 novembre 1908.

Intensités en secondes.					Heures.	Intensités en secondes.					Heures.
88.	82.	78.	77.	10 ³ / ₄ -11	66.	64.	51.	45.	11	- 11 ¹ / ₄	
53.	60.	52.	41.	11 ¹ / ₄ -11 ¹ / ₂	37.	45.	45.	49.	11 ¹ / ₂ -11 ³ / ₄		
38.	41.	45.	45.	11 ³ / ₄ -12	37.	38.	42.	50.	12 - 12 ¹ / ₄		
45.	42.	45.	38.	12 ¹ / ₄ -12 ¹ / ₂	41.	45.	45.	46.	12 ¹ / ₂ -12 ³ / ₄		
31.	30.	41.	39.	12 ³ / ₄ - 1	26.	31.	32.	42.	1 - 1 ¹ / ₄		
35.	40.	37.	21.	1 ¹ / ₄ - 1 ¹ / ₂	45.	19.	39.	30.	1 ¹ / ₂ - 1 ³ / ₄		
56.	41.	47.	43.	1 ³ / ₄ - 2							

Leysin, le 9 janvier 1909.

Intensités en secondes.					Heures.	Intensités en secondes.					Heures.
105.	106.	109.	99.	11 - 11 ¹ / ₄	80.	100.	95.	80.	11 ¹ / ₄ -11 ¹ / ₂		
94.	96.	80.	70.	11 ¹ / ₂ -11 ³ / ₄	76.	72.	77.	77.	11 ³ / ₅ -12		
74.	70.	67.	65.	12 - 12 ¹ / ₄	83.	78.	79.	64.	12 ¹ / ₄ -12 ¹ / ₂		
76.	48.	69.	67.	12 ¹ / ₂ -12 ³ / ₄	70.	65.	70.	65.	12 ³ / ₄ - 1		
75.	72.	80.	65.	1 - 1 ¹ / ₄	72.	71.	73.	72.	1 ¹ / ₄ - 1 ¹ / ₂		
72.	73.	66.	74.	1 ¹ / ₂ - 1 ³ / ₄	64.	64.	78.	77.	1 ³ / ₄ - 2		

Leysin, le 7 février 1909.

Intensités en secondes.				Heures.		Intensités en secondes.				Heures.	
50.	55.	42.	43.	11	- 11 ¹ / ₄	45.	40.	46.	40.	11 ¹ / ₄	- 11 ¹ / ₂
35.	32.	40.	43.	11 ¹ / ₂	- 11 ³ / ₄	30.	30.	30.	32.	11 ³ / ₄	- 12
35.	33.	39.	37.	12	- 12 ¹ / ₄	35.	35.	35.	35.	12 ¹ / ₄	- 11 ¹ / ₂
34.	32.	31.	36.	12 ¹ / ₂	- 12 ³ / ₄	34.	40.	40.	30.	12 ³ / ₄	- 1

Lausanne, le 8 février 1909.

Intensités en secondes.				Heures.		Intensités en secondes.				Heures.	
115.	93.	90.	81.	11	- 11 ¹ / ₄	69.	72.	70.	77.	11 ¹ / ₄	- 11 ¹ / ₂
75.	70.	67.	73.	11 ¹ / ₂	- 11 ³ / ₄	53.	64.	63.	60.	11 ³ / ₄	- 12
56.	36.	60.	56.	12	- 12 ¹ / ₄	47.	64.	62.	66.	12 ¹ / ₄	- 12 ¹ / ₂
66.	60.	62.	59.	12 ¹ / ₂	- 12 ³ / ₄	37.	47.	60.	60.	12 ³ / ₄	- 1
49.	67.	62.	50.	1	- 1 ¹ / ₄	77.	64.	80.	55.	1 ¹ / ₄	- 1 ¹ / ₂
64.	66.	69.	79.	1 ¹ / ₂	- 1 ³ / ₄						

Lausanne, le 18 février 1909.

Intensités en secondes.				Heures.		Intensités en secondes.				Heures.	
110.	100.	120.	120.	11	- 11 ¹ / ₄	85.	90.	100.	60.	11 ¹ / ₄	- 11 ¹ / ₂
100.	84.	105.	75.	11 ¹ / ₂	- 11 ³ / ₄	60.	70.	69.	75.	11 ³ / ₄	- 12
60.	60.	64.	75.	12	- 12 ¹ / ₄	56.	52.	62.	54.	12 ¹ / ₄	- 12 ¹ / ₂
58.	75.	60.	59.	12 ¹ / ₂	- 12 ³ / ₄	49.	58.	56.	58.	12 ³ / ₄	- 1
32.	54.	59.	72.	1	- 1 ¹ / ₄	50.	53.	53.	56.	1 ¹ / ₄	- 1 ¹ / ₂
56.	64.	75.	75.	1 ¹ / ₂	- 1 ³ / ₄						

Leysin, le 21 février 1909.

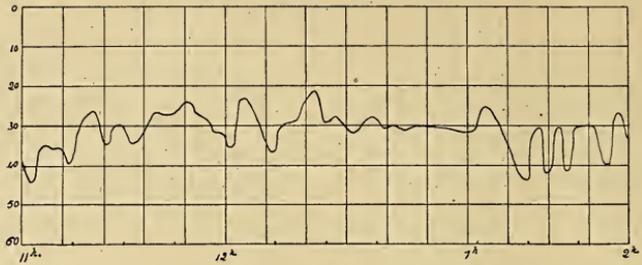
Intensités en secondes.				Heures.		Intensités en secondes.				Heures.	
58.	35.	44.	50.	11	- 11 ¹ / ₄	43.	47.	42.	41.	11 ¹ / ₄	- 11 ¹ / ₂
37.	38.	38.	39.	11 ¹ / ₂	- 11 ³ / ₄	26.	35.	37.	28.	11 ³ / ₄	- 12
25.	25.	29.	25.	12	- 12 ¹ / ₄	31.	25.	25.	26.	12 ¹ / ₄	- 12 ¹ / ₂
26.	29.	27.	37.	12 ¹ / ₂	- 12 ³ / ₄	37.	32.	31.	32.	12 ³ / ₄	- 1
35.	33.	33.	32.	12 ³ / ₄	- 1	35.	33.	33.	32.	1	- 1 ¹ / ₄
33.	31.	30.	36.	1 ¹ / ₄	- 1 ¹ / ₂	40.	34.	37.	38.	1 ¹ / ₂	- 1 ³ / ₄

Leysin, le 22 février 1909.

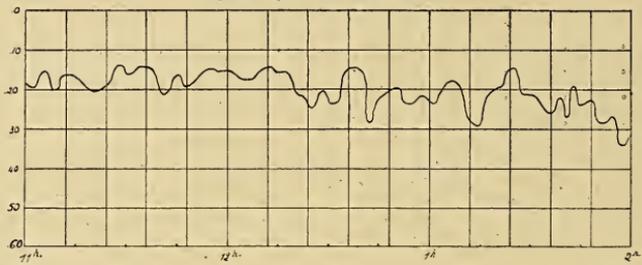
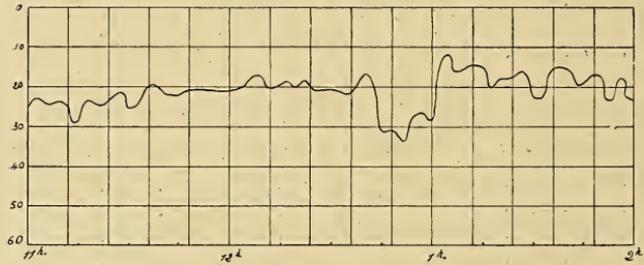
(Hôtel des Chamois.)

Intensités en secondes.				Heures.		Intensités en secondes.				Heures.	
32.	32.	30.	32.	11	- 11 ¹ / ₄	33.	29.	29.	27.	11 ¹ / ₄	- 11 ¹ / ₂
25.	24.	25.	25.	11 ¹ / ₂	- 11 ³ / ₄	22.	23.	22.	90.	11 ³ / ₄	- 12
20.	21.	20.	20.	12	- 12 ¹ / ₄	20.	20.	20.	23.	12 ¹ / ₄	- 12 ¹ / ₂
20.	19.	18.	21.	12 ¹ / ₂	- 12 ³ / ₄	18.	18.	23.	25.	12 ³ / ₄	- 1
27.	29.	32.	30.	1	- 1 ¹ / ₄	28.	29.	31.	24.	1 ¹ / ₄	- 1 ¹ / ₂
30.	23.	26.	32.	1 ¹ / ₂	- 1 ³ / ₄	28.	29.	27.	30.	1 ³ / ₄	- 2

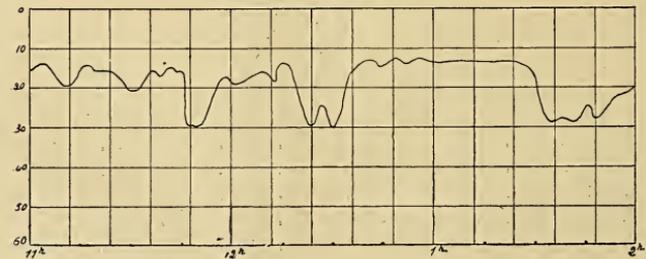
Lausanne, le 22 avril 1908.



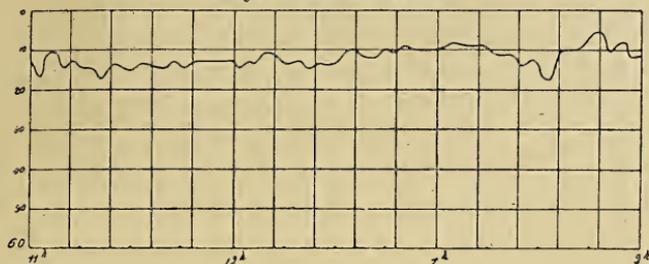
Lausanne, le 30 avril 1908.

Lausanne, le 1^{er} mai 1908.

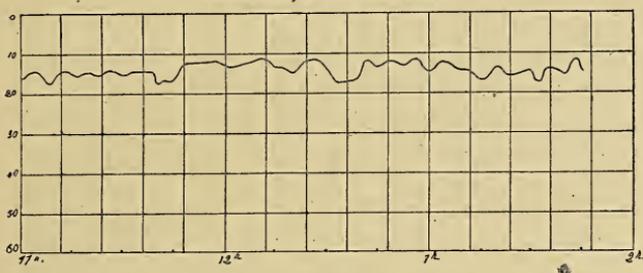
Leysin, le 2 mai 1908.



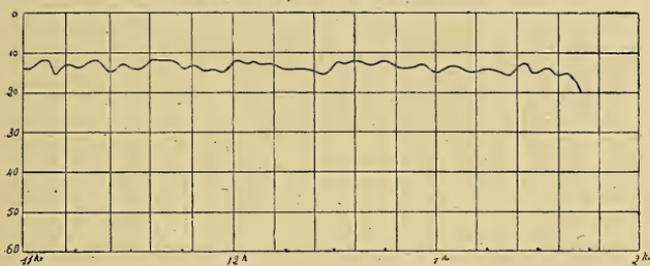
Leysin le 17 mai 1908.



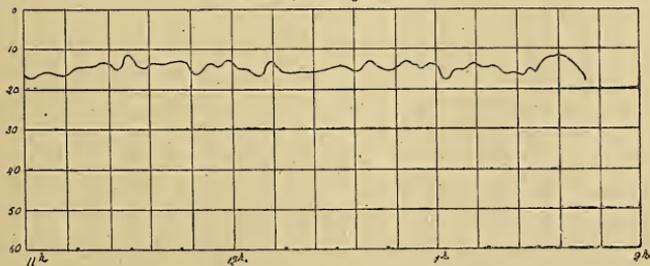
Lausanne, le 18 mai 1908.



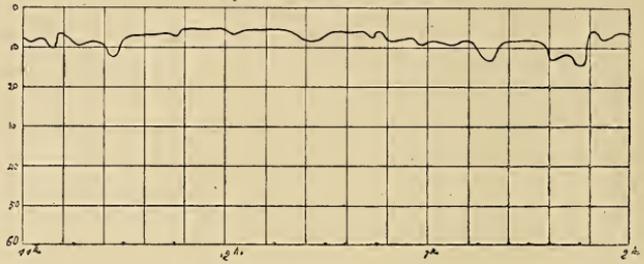
Lausanne, le 19 mai 1908.



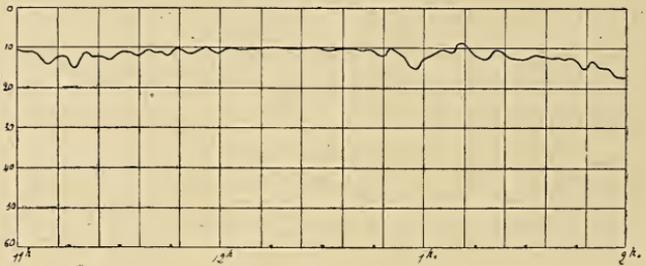
Lausanne, le 4 juin 1908.



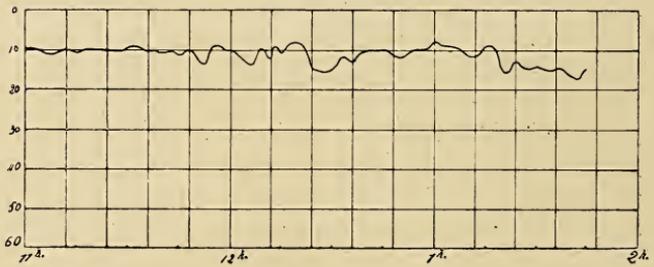
Leysin, le 4 août 1908.



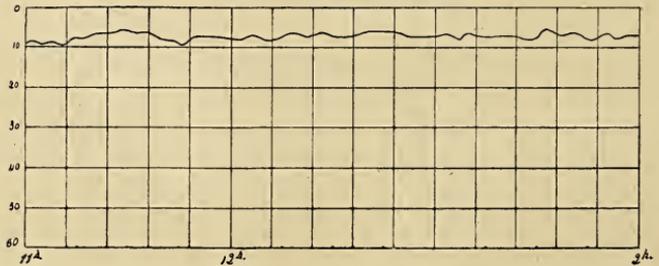
Lausanne, le 11 août 1908.



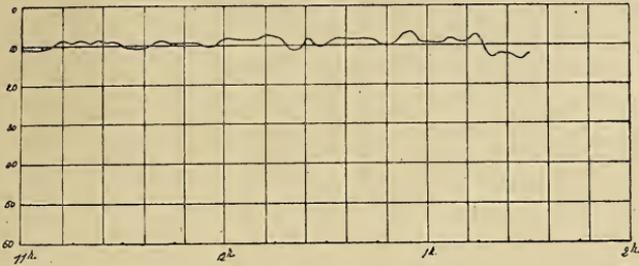
Lausanne, le 14 août 1908.



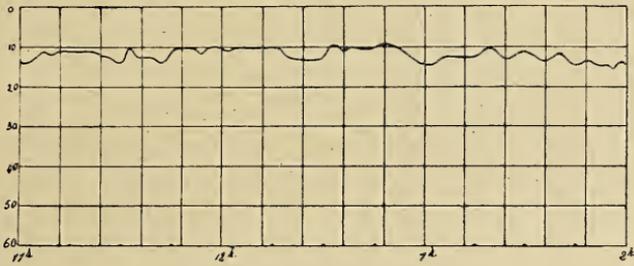
Leysin, le 20 août 1908.



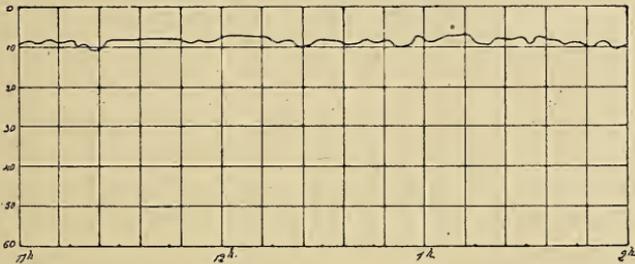
Lausanne, le 27 août 1908.



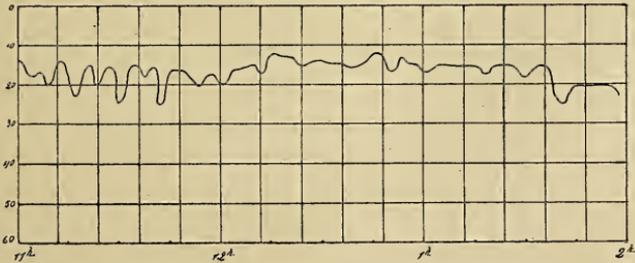
Lausanne, le 7 septembre 1908.



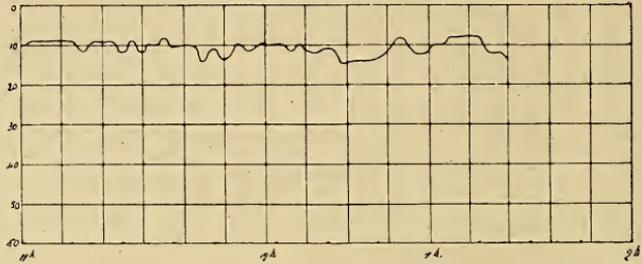
Leysin, le 8 septembre 1908.



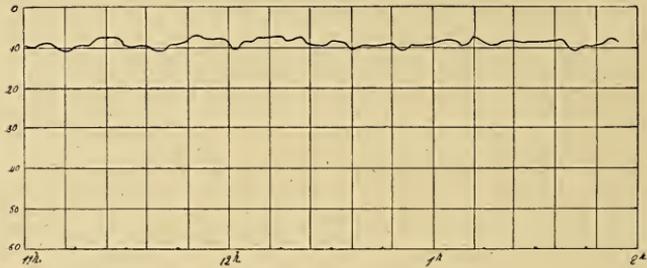
Lausanne, le 14 septembre 1908.



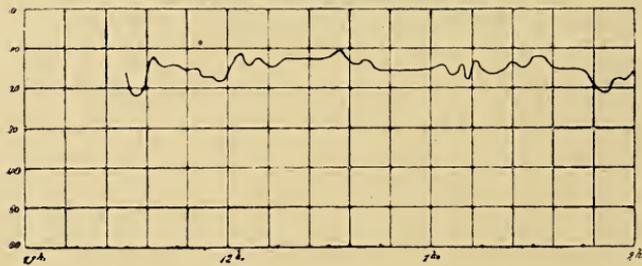
Leysin, le 15 septembre 1908.



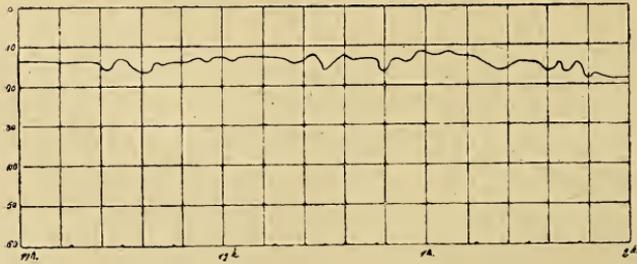
Leysin, le 18 septembre 1908.



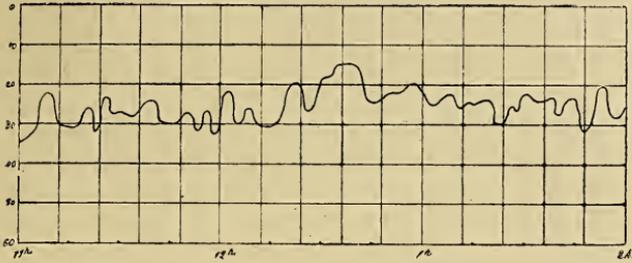
Lausanne, le 19 septembre 1908.



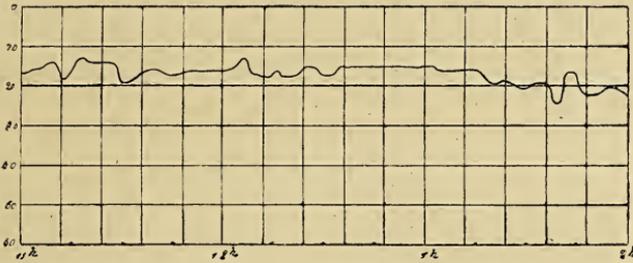
Leysin, le 15 octobre 1908.



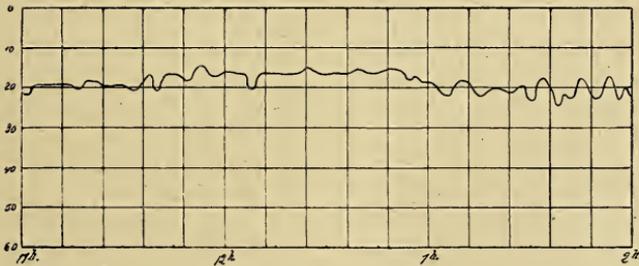
Lausanne, le 16 octobre 1908.



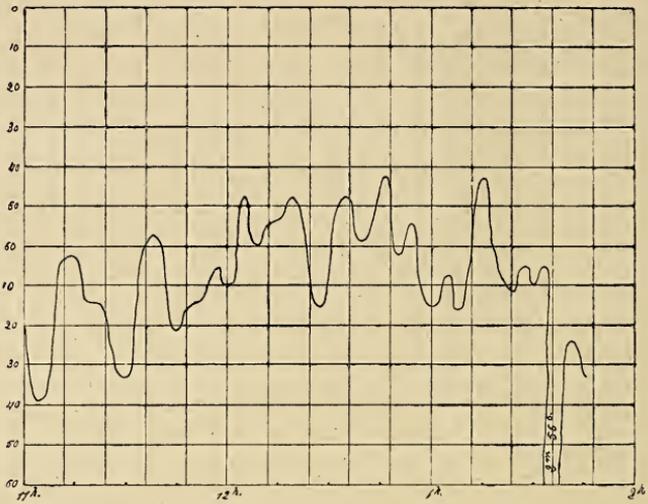
Leysin, le 31 octobre 1908.



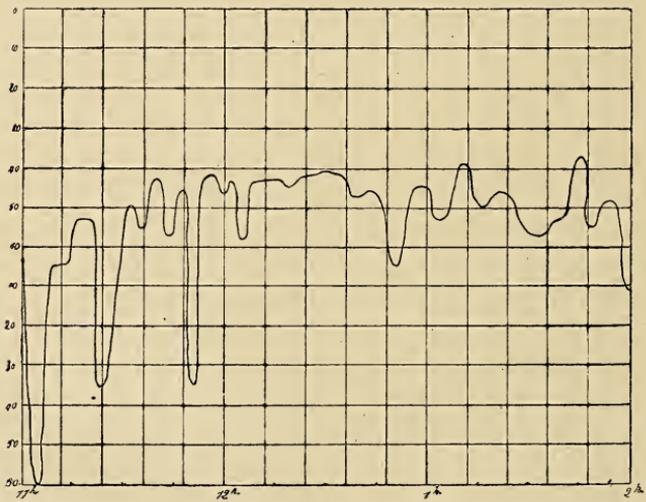
Leysin, le 1^{er} novembre 1908.



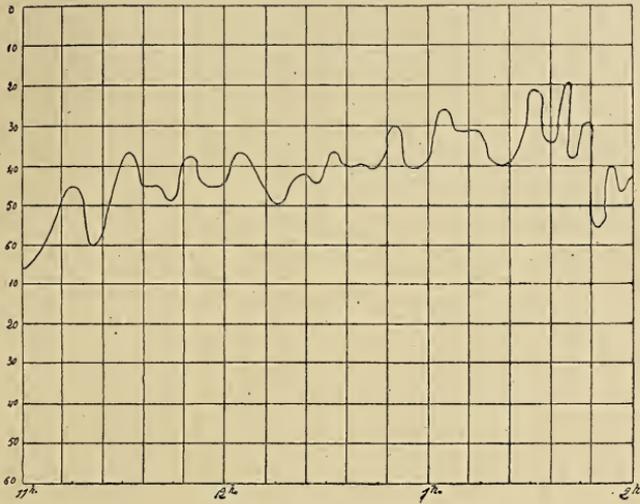
Lausanne, le 25 novembre 1908.



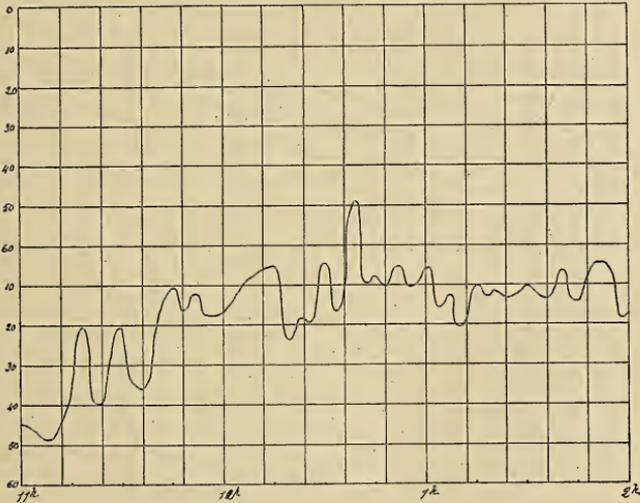
Leysin, le 29 novembre 1908.



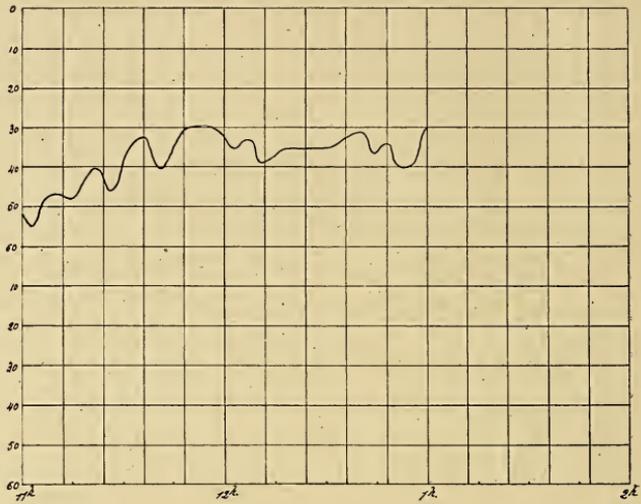
Leysin, le 30 novembre 1908.



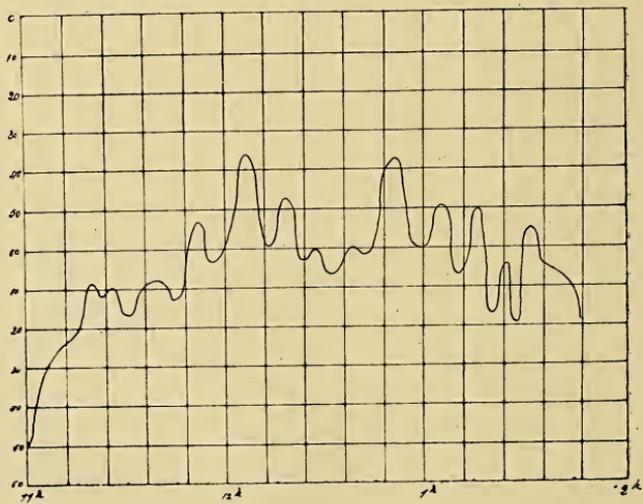
Leysin, le 9 janvier 1909.



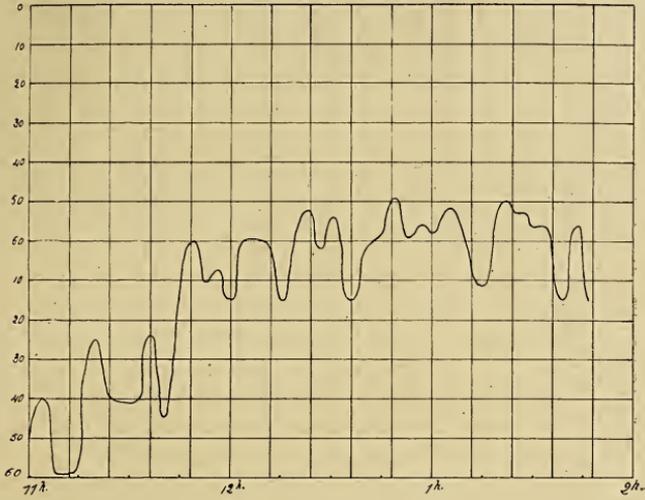
Leysin, le 7 février 1909.



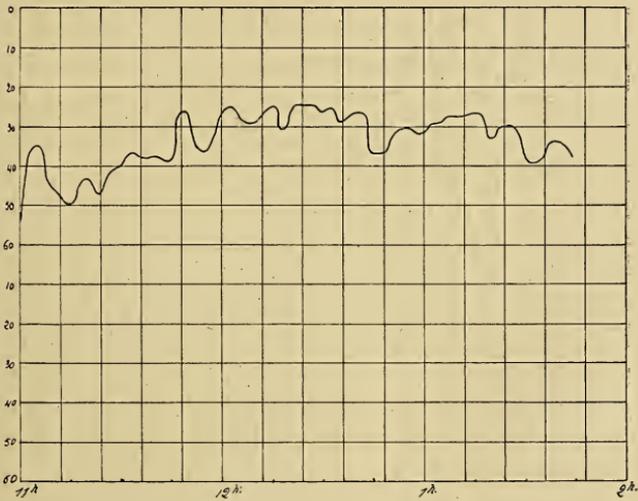
Lausanne, le 8 février 1909.



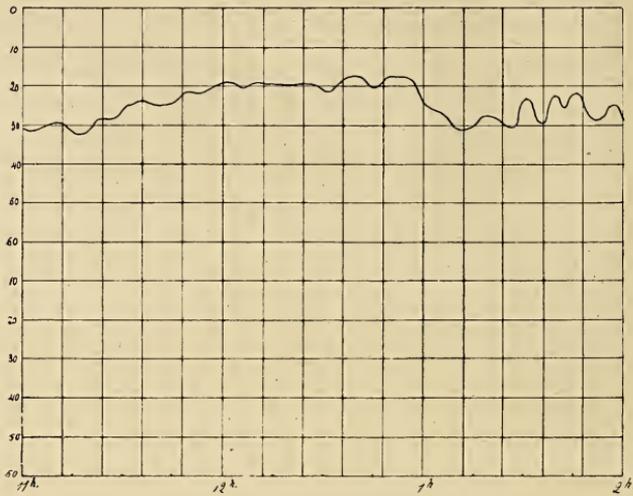
Lausanne, le 18 février 1909.



Leysin, le 21 février 1909.



Leysin, le 22 février 1909.
(Hôtel des Chamois)
1500 m.



Sur deux cas intéressants d'adaptation produits par le terrain

SUR

la couleur des animaux

PAR

le baron **G. J. de FEJÉRVÁRY** à Budapest,
Membre effectif de la Société vaudoise des sciences naturelles.

De nos jours en zoologie, comme aussi dans chaque branche de la science, la méthode de la recherche des causes premières est de plus en plus suivie. Avec LAMARCK on reconnut que dans l'évolution des êtres la transformation des espèces est due à des causes extérieures. On constata avec lui que les conditions à l'adaptation directe, exercée uniquement par le milieu, sont les causes mécaniques modifiant les individus, l'adaptation étant accentuée dans telle ou telle direction par les dispositions naturelles de ces organismes.

Parmi les savants qui se sont occupés dès lors de la recherche des causes premières en général et dans l'erpétologie en particulier, citons, parmi tant de noms illustres, celui de l'éminent physiologiste viennois, M. le Dr Paul KAMMERER.

D'après le Dr KAMMERER ¹ la transformation du coloris

¹ *Willkürlich erzielte Uebereinstimmung zwischen Bodenfarbe u. Tieren.*—
« Lacerta » Beiblatt d. Wochenschr. f. Aqu. u. Terrarienkunde, 1909, p. 21-22.

chez les animaux serait due à deux causes principales. La première serait à rechercher dans les divers *facteurs extérieurs* exerçant leur action sur l'individu. Les transformations de ce genre, exercées par des causes extérieures, ne peuvent toutefois être considérées que comme une adaptation à la couleur du terrain. M. le D^r KAMMERER fait remarquer qu'il faut aussi prendre en considération les facteurs physico-chimiques de l'air et du sol qui donnent lieu souvent à des changements dans la couleur sans qu'on puisse identifier ces procédés à ceux que nous appelons une adaptation à la couleur du terrain.

La seconde cause de la transformation du coloris pourrait être *l'alimentation* des animaux, grâce à laquelle les différents *éléments constitutants du sol passeraient dans l'organisme* et prêteraient à l'animal leur couleur propre pour ce qui concerne en particulier la surface de son corps.

Les observations que nous présentons ici se rapportent à ces deux manières d'adaptation au milieu, du coloris de l'animal.

La première a été constatée sur un *Urodèle* en captivité; la seconde, c'est-à-dire celle qui tient compte des conditions du sol produisant une modification du coloris de l'animal par l'alimentation, a été observée sur une quantité de larves de *Batraciens* en plein air.

J'ai publié en 1909 une petite brochure¹ dans laquelle je décris une nouvelle variété du *Triton crêté*, la *variété au ventre jaune*, *Molge cristata* LAUR. var. *flavigastra* FEJÉRV. (cf. Pl. III).

Quelque temps après, dans une petite étude plus détaillée²

¹ Baron G. J. v. FEJÉRVÁRY, Beiträge z. Herp. d. Rhônetales u. seiner Umgebung von Martigny bis Bouveret. — Genève (Lausanne), 1909, p. 31-34. (Dépôt pour la Suisse chez Georg et C^{ie}, Genève.)

² Baron G. J. v. FEJÉRVÁRY, Beitr. z. Kenntn. v. *M. cristata* LAUR. var. *flavigastra* FEJÉRV. — Zool. Anz. XXXVI, p. 170-175.

encore de ce *Triton* en mentionnant la forme terrestre je citai une paire tenue en captivité depuis huit mois. A l'heure qu'il est, il y a plus de deux ans que la femelle de cette paire fut capturée dans les marécages du *Rhône*, aux environs de *Bex*¹, vis-à-vis du village de *Massongex*. Un des caractères les plus remarquables de cette variété de *Tritons* est certes la couleur de la *zone médiane du ventre*, qui est *complètement jaune*, tant soit peu orange (sans pourtant tirer sur le rouge) chez le ♂, d'un jaune plus fade chez la ♀.

En fait de *taches noires*, on n'en découvre que quelques-unes sur la *région pectorale* et d'autres sur les deux *côtés du ventre*. Celles-ci séparent la couleur des faces supérieures de celles des faces inférieures rappelant les taches disposées de la même manière chez le *Triton alpestre* (*M. alpestris* LAUR.). Celui-ci les a cependant sensiblement plus petites. Ces taches latérales du ventre chez l'individu en question étaient développées *très régulièrement*, *d'une grandeur moyenne*, *laissant un large espace — la zone médiane du ventre — tout à fait jaune*, comme nous le voyons chez les spécimens normaux de cette variété.

J'ai tenu cet exemplaire dans un petit terrarium arrangé de la façon suivante. Le sol représenté par une couche de 2 cm. environ de terre était recouvert de mousse. Un morceau d'écorce de liège tenait lieu de refuge; une augette pour l'eau et une pierre complétaient l'arrangement. La terre employée était de la *simple terre brune, de qualité ordinaire*. Parfois cependant, lorsque celle-ci me faisait défaut, je la remplaçai par de l'humus sans m'occuper ni de sa couleur, ni de ses qualités hygroscopiques. Conformément à la nature des bêtes, le sol était entretenu dans un état *d'humidité tempérée*. Je dois cependant avouer que n'arrosant pas toujours avec la même régularité, *la terre*

¹ Canton de Vaud (Suisse).

se dessécha plus d'une fois. Le petit terrarium n'était directement exposé à aucune lumière particulièrement intense et même grâce au treillis qui l'entourait de trois côtés et le recouvrait, il n'était que *faiblement éclairé* à l'intérieur. Dans ce terrarium vivaient la ♀ et le ♂. Celui-ci périt malheureusement par la faute d'un préparateur à qui je le confiai durant une de mes absences. Je retrouvai cependant la ♀ en bon état et ne la voyant pas apte en ce moment à la vie aquatique ¹, je la tins à sec dans le même terrarium. Durant la dernière année, je ne la nourrissais que rarement; des vers de farine composaient pour ainsi dire son unique aliment.

Je crois, par ce qui précède, avoir fourni les détails nécessaires pour l'orientation générale de mes observations.

Pendant la captivité du *Triton*, je remarquai que les *taches ventrales paraissaient augmenter en circonférence* et par cela la *couleur jaune de la zone médiane s'amoin-drissait* de plus en plus. J'observai en outre que la teinte jaune de la zone médiane changeait, remplacée graduellement par une couleur de nuance plus claire encore, qui faisait l'effet d'être plutôt blanche que jaune.

Au mois de juillet de l'année 1911, comme j'étais pour quelque temps à *Vienne* (Autriche), je saisis cette occasion pour rendre visite au célèbre physiologue de la *Station d'expérimentation biologique*, le D^r P. KAMMERER. M. KAMMERER eut l'obligeance de me montrer entre autres des spécimens de la *Salamandre tachetée* (*Salamandra maculosa* LAUR.) sur lesquels il avait obtenu une forte réduction de la couleur jaune en les tenant sur de la terre noire ².

¹ Elle avait été tenue, entre temps, de la fin de mai de l'année 1910 jusque vers la fin de novembre de la même année, dans un aquarium et menait ainsi une vie aquatique.

² Il m'a montré un individu dans l'alcool, qui n'avait que tout juste *les traces de taches jaunes* à deux ou trois endroits du corps.

Je mentionnai à M. KAMMERER les observations faites sur mon *Triton*, à quoi il me répondit que la réduction de la couleur jaune dans ce cas est due aux *mêmes facteurs* que ceux qui concourent aux changements obtenus sur ses *Salamandres*. Quant à la modification de la couleur jaune en teinte blanchâtre, ceci, dit-il, ne peut être attribué aux facteurs en question mais s'explique facilement par le fait qu'aucune lumière intense ¹ ne pénétrait jusqu'à la bête.

De retour à Budapest, je fis un voyage en Transylvanie, durant lequel j'emportai aussi mon *Triton*, dans un petit bocal de verre au fond duquel se trouvait un peu de mousse. Il résulta de ce changement que ma bête jouissait de beaucoup plus de lumière, aussi constatai-je bientôt que la zone médiane du ventre reprenait petit à petit sa couleur primitive, si bien que lorsque je la mis, il y a trois mois, dans l'alcool, la teinte naturelle avait presque entièrement reparu.

A propos de l'extension des taches (fig. 1)², je tiens à faire la remarque suivante : les *taches pectorales* en s'étendant, ne formaient plus *qu'une seule large tache*, présentant sous le *sulcus gularis* un dessin d'assez grande dimension, au milieu duquel se distinguait une petite étendue jaune. Dans ce dessin, nous pouvons encore distinguer, par leurs contours postérieurs, les quatre taches principales, se prolongeant en forme de langues irrégulières dans l'espace de couleur jaune. Les *taches latérales du ventre sont fortement prolongées* — presque deux fois leur largeur naturelle — *en direction médiane*, formant

¹ Remarquons ici que le *Triton* se [tenait toujours caché sous l'écorce et partant, n'avait pour ainsi dire jamais de lumière.

² Je dois observer que les taches ventrales sont en réalité en *direction médiane* (vis-à-vis l'une de l'autre) encore d'une idée plus rapprochée que ce n'est figuré sur mon dessin (fig. 1), ce que je note pour plus d'exactitude.

des langues assez larges et irrégulières. *Leur largeur, par contre* (en la mesurant dans la direction longitudinale du corps) *ne présente pas de changement aussi frappant, ce qui leur donne une forme étrangement allongée (suivant la direction médiane)*. Il paraît intéressant de mentionner ici justement le fait que les taches s'allongent d'une façon aussi prononcée dans la direction médiane; cela semble nous permettre de conclure ici que ce phénomène est dû à la tendance préservatrice qui s'efforce de recouvrir les parties les plus claires du corps.

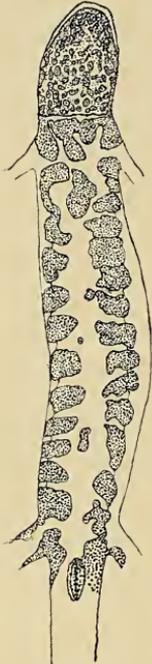


Fig. 1.

Faces ventrales
de l'individu dé-
crit de la *M. cris-*
tata LAUR.
var. *flavigastra*
FEJÉRV.
Grandeur nature.
(Ad. nat. del. G. J.
DE FEJÉRVÁRY.)

Notons en outre que trois petites taches se formèrent sur la zone médiane du ventre. Je suis convaincu que si cet individu avait vécu plus longtemps ¹ l'agrandissement des taches sur toute la face inférieure aurait continué. Il n'est pas sans intérêt de noter le fait que cette bête tenue pendant deux ans seulement dans un entourage nullement aménagé de façon spéciale pour obtenir des changements dans son coloris, n'en ait pas moins subi l'influence de manière aussi prononcée. Le cas présenté ici n'est, il est vrai, que peu de chose vis-à-vis des merveilleux résultats obtenus par le D^r KAMMERER. Il nous offre cependant une preuve de plus pour démontrer combien l'organisme animal est apte à se modifier facilement suivant les influences qui l'affectent, à condition, cela va sans dire, qu'il soit capable de subir de tels changements; il démontre en outre que ces changements semblent se faire bien plus vite qu'on ne

¹ Il fut mis dans l'alcool au commencement d'octobre 1911 (n^o 190 de ma collection).

PLANCHE III.



Molge cristata LAUR.
var. *flavigastra* FEJÉRV. ♀.

le croyait auparavant, fait que nombre d'expériences récentes poursuivies par divers zoologues nous ont déjà amplement prouvé.

Remarquons cependant que pour ce qui concerne *le cas décrit, je ne saurais dire si le changement de la couleur doit être considéré comme une véritable adaptation* de la couleur de ce spécimen à celle du terrain, *ou s'il fut produit par d'autres facteurs* tels que la qualité hygroskopique du sol, la température ou la lumière. Il est certain que les changements constatés sur l'exemplaire en question *sont ou paraissent être identiques aux changements obtenus par le D^r KAMMERER, sur les Salamandres tachetées.* Le D^r KAMMERER nous fait toutefois observer que :

« Da sich nun herausstellt, dass Lehmerde stärker hygroskopisch ist als Gartenerde, demnach unter gleichen Bedingungen stets wasserhaltiger ist, während Gartenerde rasch trocknet und dann die bekannte krümelig-staubige Beschaffenheit aufweist, so dürfte wenigstens der eine von den physikalischen Faktoren, der Feuchtigkeitsgrad, in seiner Bedeutung für das Gedeihen des gelben Pigmentes auf Kosten des schwarzen (und umgekehrt) erkannt sein.

» Gleichwie es sonach mit der Feuchtigkeit bereits geschehen, muss nun noch die Farbe des Bodens einerseits sorgfältig isoliert, anderseits mit der Feuchtigkeit in abgeänderter Weise kombiniert werden. Diesem sich logisch ergebenden Programm zufolge sind Versuche im Gange, in denen die *Kröten* und *Salamander* einerseits auf gelbem und schwarzem Papier und nicht auf Erde gehalten werden, anderseits wiederum auf den bezeichneten Erdsorten, wobei diesmal die schwächer hygroskopische schwarze Erde ständig durchnässt, die stärker wasseraufnehmende gelbe Erde künstlich ausgedörnt wird. Schon jetzt deuten die Ergebnisse an, dass die complexen Factoren « Gelbe Erde » und « Schwarze Erde » zur Feuchtigkeits-, mindestens

noch eine Licht-, wahrscheinlich auch eine Temperaturwirkung addieren ¹. »

Ces remarques doivent être prises en considération dans le cas dont nous nous occupons ici. D'un autre côté, il est vrai que le degré d'humidité du terrarium subissait des variations assez fréquentes et que la température en était naturelle, les mois d'hiver exceptés, lorsque la chambre où je tenais la bête était chauffée à 15° R. La lumière seule me paraît également avoir exercé aussi peu d'influence que la nourriture, pour ce qui concerne les changements observés. Il ne resterait donc que la supposition que le changement résultait du procédé que nous appelons « l'adaptation de la couleur au sol ».

Par contre, il est vrai que, suivant les théories de quelques-uns, les faces ventrales sont, de par leur situation, les moins sensibles aux changements de coloris dans le sens d'une adaptation au sol. Nombreux sont les exemples parmi les *Batraciens* et les *Reptiles* qui viennent nous prouver que les formes dont les faces supérieures présentent une couleur dans un ton homologue à l'entourage, sont pourvues sur leurs faces inférieures de teintes assez fréquemment remarquablement vives ².

Pourquoi alors cette modification apparue sur les faces ventrales du *Triton* en question et quelle peut être en général la raison d'être des couleurs bizarres ³ qui se trouvent sur le ventre de certains *Reptiles* et *Amphibies*? Ces questions restent pendantes et attendent la solution que leur donneront les investigations futures.

¹ KAMMERER, op. cit. p. 22.

² Par ex. chez *Bombinator igneus* LAUR., *B. pachypus* BONAP., *B. orientalis* BLGR., *Molge cristata* LAUR., *M. alpestris* LAUR., *M. pyrrosogaster* BOIE, *M. wolterstorffi* BLGR., *Lacerta muralis* LAUR., etc.

³ Ces couleurs vives ont été expliquées par la supposition qu'elles pourraient servir à effrayer les ennemis dont ces animaux sont poursuivis. Cette hypothèse qui semblerait être appuyée par certaines observations biologiques, me paraît toutefois tant soit peu fantastique.

Passons maintenant à la description du second cas, dans lequel l'alimentation a exercé son influence sur la couleur, fait que j'ai observé sur des larves de *Batraciens*.

Près de *Menaggio*, dans la direction de *Rezzonico*, dans de petites flaques au bord des eaux du *Lago di Como*, j'ai collectionné quelques larves de *Batraciens*, qui, par leur couleur rougeâtre et dorée, me semblaient être des larves de la *Grenouille rousse* (*Rana fusca* Rös.). Je trouvai cependant un peu curieux que les larves d'une espèce fréquentant des régions d'une altitude assez élevée, se rencontrent si bas et en si grande quantité. Cela me porta à faire l'examen de leur bouche; je reconnus tout de suite qu'il n'était point question de la *Grenouille rousse*, mais bien des larves du *Crapaud commun* (*Bufo vulgaris* LAUR.). Ceci se passa le 10 juin 1910. Le matin même je fis encore des recherches dans les quelques ouvrages emportés avec moi dans mes voyages, et ne tardai pas à découvrir une publication du Dr KAMMERER ¹, dans laquelle cet auteur décrit des individus larvaires du *Pélobate brun* (*Pelobates fuscus* LAUR.) d'une couleur rousse-ferrugineuse. Ces individus avaient été élevés par le Dr François MEGUŠAR sur un sol teinté d'oxyde de fer, ainsi que le sont aussi certaines eaux en plein air, comme l'observe le Dr KAMMERER. Dans notre cas, les larves avaient effectivement changé de couleur par l'influence des eaux dont une partie se trouvait déjà à l'état naturel teintes par l'oxyde de fer, tandis que l'autre partie l'était artificiellement, comme nous allons le voir dans un instant. Une fois la question des larves résolue, je me rendis de nouveau au même endroit et collectionnai encore une quantité de ces petits animaux (plus de 40 exemplaires, nos 176-180 et 184 de ma collection). J'examinai ensuite le terrain; celui-ci me parut graveleux, pierreux même en grande partie

¹ KAMMERER, l. c.

et presque complètement dépourvu de végétation aquatique. Dans la plus grande mare gisaient *force débris de ferraille rouillée, dont la rouille se détachait déjà par couches épaisses*, et recouvrait de son sédiment le sol ainsi que les autres débris présents au même endroit. Les autres mares ne contenaient plus ou très peu de ces débris de ferrailles. *L'oxyde de fer s'y trouvait cependant déjà naturellement*, à ce qu'il m'a paru, *comme j'ai pu du reste constater dans plusieurs cours d'eau aux environs de Menaggio.*

Ces mares ont dû se former probablement à la suite d'une crue des eaux du lac; quelques creux restant remplis après leur baisse, des vagues très fortes viennent encore, peut-être, les alimenter quelquefois.

Le procédé par lequel les matières ferrugineuses ont pu se répandre dans le corps est bien simple et se trouve déjà mentionné au début de mon article. Ces matières consommées avec les aliments sont parvenues jusque dans le tube digestif où l'on peut aujourd'hui encore constater leur présence (plus d'une année après la conservation des larves dans du formaldéhyd), et de l'appareil digestif elles ont été absorbées par la peau ¹. Il n'est pas impossible que les corps ferrugineux soient même arrivés en partie, directement de l'extérieur par les pores dans la peau, comme il est par exemple facile de l'observer pour les algues vivantes, dans les pores du *Sonneur igné* (*Bombinator igneus* LAUR.).

La couleur des individus vivants était d'un *brun décidé avec un reflet roux-doré* très prononcé et des plus apparents sur les flancs, ce qui leur prêtait une ressemblance frappante avec les larves de la *Grenouille rousse* (*R. fusca* Rös.) capturée le même jour par ma tante, M^{lle} Catherine DE SZILASSY, au-dessus de *Menaggio*, sous le sommet du

¹ KAMMERER, l. c., appelle ce coloris du nom de « Vitalfärbung ».

Lagrone, à une altitude approximative de 800 à 900 mètres (nos 188 et 189 de ma coll.).

Des petits *Crapauds communs* capturés quelques jours après leur métamorphose (le 17 juillet 1910, n° 185 de ma collection), sur la plage du même endroit *conservaient encore le ton roux du coloris*, propre aux larves décrites ci-dessus.

J'ai aussi collectionné des larves du *Crapaud commun* à *Bellagio*, dans un petit bassin orné de plantes aquatiques, dans le jardin de la *Villa SERBELLONI*, endroit renommé par ses magnifiques palmiers. Cette pièce d'eau n'était *point ferrugineuse*, et les larves que j'en rapportai (nos 186 et 187 de ma coll.) étaient *de couleur tout à fait normale, noire, sans trace de roux, ou de reflet doré*.

Si donc des influences aussi légères sont capables de produire une modification sur des êtres vivants, comment ne subiraient-ils pas des changements lorsqu'ils sont soumis à des causes de transformation bien plus importantes encore.

Budapest, le 6 janvier 1912.

Explication de la planche III.

Molge cristata LAUR. var. *flavigastra* FEJÉRV. — Collectionnée dans les marécages du *Rhône*, près de *Bex*, vis-à-vis de *Massongex*, VII, 1909. — Individu typique de cette variété, cotype de la var. *flavigastra* FEJÉRV. Grandeur naturelle. (Coll. FEJÉRVARY, n° 91.)

Influence des sels potassiques

sur la résistance des plantes à la gelée

PAR

C. DUSSERRE

L'action préservatrice contre les gelées des sels potassiques employés comme fumure a été constatée à maintes reprises sur des cultures plus particulièrement sensibles au froid, telles que la pomme de terre, la betterave. On l'attribue généralement au fait que les sels potassiques, en fixant l'humidité dans les couches superficielles de la terre, les rendent moins bonnes conductrices pour la chaleur et empêchent ainsi le froid de pénétrer. L'eau étant retenue plus fortement, l'évaporation est moins active et abaisse moins la température du sol. Les plantes fumées à la potasse étant souvent plus vigoureuses et plus développées, elles résistent mieux aux intempéries et tout spécialement à la gelée.

L'Etablissement fédéral de chimie agricole possédant à Praz sur Vevey et à Pully deux vignes d'essais avec fumures diverses, nous avons recherché, en 1909 et 1912, si les gelées du printemps avaient eu une action différente sur les parcelles fumées aux sels potassiques et sur celles qui n'en ont pas reçu. Dans ce but, nous avons fait, environ 15 jours après la gelée du printemps, le comptage des bourgeons gelés et de ceux qui ont été épargnés; cela sur des rangées voisines de ceps, dans les parcelles avec ou sans fumure potassique.

En 1909, la gelée est survenue dans la nuit du 2 au 3 mai; le minimum de température observé au Champ de

l'air a été de $-1,3^{\circ}$ C; le comptage des bourgeons a été fait le 18 mai.

En 1912, la gelée est survenue dans la nuit du 25 au 26 avril; le comptage a été fait le 10 mai à Praz et le 14 mai à Pully.

Vigne de Praz sur Vevey. — Nous avons obtenu les résultats suivants :

	Ceps	Bourgeons		Proport. de bourgeons gelés
		gelés	indem.	
Parcelle <i>avec</i> potasse (sel 30 %) 1909	89	306	329	48,2 %
» <i>sans</i> » » 1909	88	356	283	55,7 %
» <i>avec</i> » » 1912	84	222	282	44,3 %
» <i>sans</i> » » 1912	84	251	247	50,7 %

Vigne du Fauxblanc, Pully :

Parcelle <i>avec</i> potasse (sel 30 %) 1909	—	—	—	87,7 %
» <i>sans</i> » » 1909	—	—	—	94,0 %
» <i>avec</i> » » 1912	95	449	215	67,6 %
» <i>sans</i> » » 1912	105	512	170	75,1 %

Les parcelles de vigne n'ayant pas reçu de sel potassique ont donc eu :

à Praz sur Vevey : 7,5 % en 1909, 6,4 % en 1912 en plus de bourgeons gelés
à Pully : 6,3 % » 7,5 % » » »

Il semblerait donc que la fumure potassique, pratiquée depuis un certain nombre d'années déjà dans ces deux vignes, les rende un peu plus résistantes au gel.

Il est intéressant de rechercher la cause de cette plus grande résistance. Il est peu probable qu'elle soit due à l'action, indiquée plus haut, des sels potassiques sur la terre elle-même, qui a gelé très superficiellement; il est plus vraisemblable que cette cause doive être cherchée dans la plante elle-même.

Dans les pousses de vigne de 1909, prélevées un certain temps après le gel du 3 mai, M. le Dr V. Vuilleumier a dosé

la teneur en eau, en cendres, en potasse, en azote et déterminé le poids spécifique du jus et son point de congélation.

	Eau	Mat. sèche	Cen- dres	Potasse	Azote	Densit. du jus	Pt. de congél.
<i>Praz :</i>							
Parc. sans pot.	86,24%	13,76%	7,63%	3,00%	3,61%	—	—
» avec »	86,14%	13,86%	7,37%	2,94%	3,59%	—	—

Pully :

Parc. sans pot.	81,82%	18,18%	3,64%	1,90%	2,87%	1,0248-0,673
» avec »	81,47%	18,53%	3,02%	1,44%	2,77%	1,0245-0,630

Les dosages indiqués pour les cendres, la potasse et l'azote se rapportent à la matière sèche.

Nous avons trouvé des résultats analogues pour des betteraves récoltées en 1909.

Comme l'on voit, les différences sont des plus minimes et le dosage en potasse est même un peu inférieur dans les pousses de vigne de la parcelle potassique ; elles ne sauraient, nous semble-t-il, expliquer la plus ou moins grande résistance au gel par une différence de concentration du liquide des cellules, qui aurait modifié le point de congélation. La cause de cette différence dans la résistance à la gelée, qui semble cependant établie par les observations, nous échappe donc pour le moment et nous serions heureux si cette communication avait pour résultat de provoquer une discussion permettant d'y apporter quelque éclaircissement.

Ajoutons en terminant que nous avons pu observer une différence analogue entre deux parcelles de vigne à Praz, dont l'une avait reçu un engrais azoté (nitrate de soude) et l'autre pas.

Parcelle nitratée	36,4%	43,1%	bourgeons gelés.
» sans nitrate	45,8%	51,9%	» »
Surplus sur parc. sans azote	9,4%	8,8%	» »

Contribution à l'Etude

DU

FOUDROIEMENT DES ARBRES

*Communication**faite à la Société Vaudoise des Sciences Naturelles
le 3 avril 1912, à Lausanne*

PAR

M. MOREILLONInspecteur forestier.

Dans la séance du 7 février 1912, M. le professeur Wilczek, répondant à son collègue Mercanton, a rappelé qu'en 1892, un étudiant de notre Université était arrivé à la conclusion que, si quelques essences forestières étaient endommagées par la foudre, cela tenait à la présence de certaines substances amylicées qui rendent le bois moins conducteur de l'électricité, tandis que d'autres, contenant des substances huileuses, étaient plus résistantes aux effets de la foudre.

M. Wilczek n'a pas défendu cette thèse, mais seulement rappelé le travail précité.

Bien que je n'aie pas eu l'occasion de faire des expériences en laboratoire, je reprendrai cette question des effets produits par la foudre sur les arbres, et vous ferai part de ce que j'ai observé en parcourant les forêts et les campagnes d'une partie du pied du Jura vaudois.

Mes remarques personnelles seront complétées par

celles d'autres observateurs et les statistiques publiées dans différents ouvrages.

Je citerai entre autres :

- I. COLLADON. — Mémoire sur les effets de la foudre sur les arbres et les plantes ligneuses. Genève, 1872.
- II. HESS, Dr. — Statistik der Gewitter und Blitzschläge in den Fürstl. Lippe-Detmold'schen Staatsforsten in dem Zeitraum 1874-1890. (Forstliche Blätter, 1891, S. 320.)
- III. — HESS, Dr. — Forstschutz. 1900. (Band II, S. 537.)
- IV. VANDERLINDEN. — *a*) La foudre et les arbres. Bruxelles 1907. (Extrait des Annales météorologiques de l'observatoire royal de Belgique, an. 1907, nouv. série.)
b) Influence de la conformation du tronc sur la gravité des lésions provoquées par le foudroiement. (Extrait des Annales de la Société scientifique de Bruxelles, tome XXXI, premier fascicule, octobre 1906.)
c) Cas de foudroiement survenu à Koekelberg. (Extrait des Annales de la Société scientifique de Bruxelles, session du 28 octobre 1909. Seconde section.)
- V. JONESCU. — Ueber die Ursachen der Blitzschläge in Bäume. Stuttgart, 1892.
- VI. MOREILLON. — Remarques sur le foudroiement des arbres. (Journal forestier suisse, 1908. p. 122.)
- VII. GABELLI, Dr. — Il fulmine e gli alberi. (Alpe, 1908, n° 8.)
- VIII. DUFOUR, H., Dr. — Notes sur quelques effets de la foudre. (Bulletin de la Soc. vaud. des Sciences naturelles. T. XXII, p. 202.)
- IX. BUREAU CENTRAL MÉTÉOROLOGIQUE SUISSE. — Gewitter Beobachtungen in den Jahren 1889-1910.
- X. EBERMAYER, Dr. — Beobachtungen über Blitzschläge u. Hagelfälle. Jahrgänge 1887 bis 1890. (Augsbourg, 1891.)

XI. HOPPE, D^r. — Regenmessung unter Baumkronen. (Mittheilungen aus dem forstlichen Versuchswesen Oesterreichs. XXI. Heft. Wien 1896).

Le bon sens populaire, comme dit M. Wilczek, nous apprend que certains arbres sont plus dangereux que d'autres et attirent la foudre, comme par exemple, le chêne. Nous n'en restons pas moins déconcertés en voyant que les effets de celle-ci sont si variables. Le public a donc admis que « la foudre avait une prédilection pour les chênes, une répulsion pour le hêtre, et qu'enfin, on pouvait impunément pendant un orage, s'abriter sous un hêtre. » (VI, p. 122.)

Je crois qu'il n'est pas prudent de laisser s'accréditer cette croyance, car un accident mortel de ce genre peut arriver aussi bien sous un hêtre que sous un autre arbre.

* * *

En parcourant les campagnes et les forêts, vous constatarez que la foudre laisse des traces de passage qui varient avec les essences, mais qui sont toujours plus visibles sur certaines espèces d'arbres, telles que peupliers, chênes et résineux. Aussi, de tous temps, cette question des effets de la foudre sur les arbres a-t-elle intéressé le public et les hommes de science. Dans la seconde moitié du siècle dernier, des enquêtes sérieuses furent ordonnées dans différents Etats de l'Europe centrale. Je ne citerai que les suivantes :

a) Dans la principauté de Lippe-Detmold, de 1874 à 1890, par le service forestier.

b) En Bavière, pour les forêts domaniales, de 1887 à 1890.

c) En Saxe, pendant l'année 1897.

d) En Belgique, de 1884 à 1906.

e) En Suisse, il n'y a pas eu d'enquête spéciale. J'ai établi la liste des coups de foudre indiqués sur des arbres

par les observateurs d'orages. Il faut remarquer que ces derniers concernant principalement les environs immédiats des maisons et non les forêts, il y a aussi un grand nombre de cas de foudre tombée sur des arbres fruitiers, tels que poiriers et cerisiers.

A l'aide de ces statistiques, j'ai pu établir le tableau suivant, lequel nous donnera le % des arbres foudroyés dans différents pays de l'Europe centrale.

Les chiffres entre parenthèses indiquent la répartition des essences en %.

ESSENCES	BELGIQUE 1884 à 1906 %	BAVIÈRE forêts doman. 1887 à 1890, %	LIPPE-DETMOLD 1874 à 1890 %	SAXE 1897 %	SUISSE 1889 à 1910 %	MOYENNE %
Epicéa et sapin . . .	2	42—(42)	7—(13)	79	31	32.2
Mélèze	4	2—(1)	2	—	1	1.2
Pin sylvestre	2	33—(31)	20—(6)	46	1	14.8
Pin noir d'Autriche . .	4	—	0.25	—	—	0.2
Weymouth	4	—	0.25	—	—	0.2
Peupliers	56	—	4	—	19	15.2
Chênes	44	16—(2)	58—(11)	4	3	19.4
Ormes	7	—	—	—	—	1.4
Hêtre	4	2—(11)	6—(70)	—	1	2.6
Noyer	1	—	—	—	4	1.0
Saules	1	—	0.5	—	—	0.4
Frêne	4	—	1—	—	2	0.8
Tilleuls	1	—	—	—	4	1.0
Robinier	1	—	—	—	—	0.2
Poirier	3	—	—	—	13	3.2
Pommier	1	—	—	—	3	0.8
Cerisiers	1	—	—	—	10	2.2
Bouleaux	0.4	—	2.0	—	1	0.6
Marronnier	0.3	—	—	—	1	0.4
Sorbiers	0.3	—	—	1	—	0.2
Pruniers	0.2	—	—	—	—	0.0
Châtaignier	0.3	—	—	—	2	0.4
Aulnes	0.1	—	—	—	—	0.2
Aubépine	0.1	—	—	—	—	0.0
Platanes	0.1	—	—	—	—	0.0
Vigne	0.2	—	—	—	1	0.2
Érables	—	—	—	—	1	0.2
Tremble	—	—	—	—	—	—
Bois blancs.	2	3—(2)	2	—	—	1.0
Totaux %	100	100—(89)	100—(100)	100	100	100.0

En examinant ce tableau nous constatons :

1° Que parmi les essences forestières les plus répandues, ce sont celles à écorce rugueuse qui, le plus souvent, montrent des traces du passage de la foudre, alors que celles à écorce lisse ne sont que rarement endommagées, c'est-à-dire qu'il ne reste aucun sillon dans l'écorce;

2° Que pour les essences moins répandues, telles que fruitiers et arbres d'ornement, la proportion reste la même.

Ainsi par exemple :

Epicéa et sapin	= 32 %
Chênes	= 19 %
Peupliers	= 15 %
Pin sylvestre	= 14 %

qui sont tous à écorce rugueuse, tandis que les autres qui ont des écorces qui le sont beaucoup moins ou même lisses, donnent des % plus faibles, comme le cas pour le hêtre qui accuse seulement 2,6 %.

* * *

Aucune des explications données par les auteurs précités ne m'a paru convaincante. Je ne puis les reprendre toutes et les discuter en détail.

A l'époque romaine déjà, on attribuait à certaines essences forestières des propriétés spéciales et mystérieuses les préservant de la foudre, ainsi que cela était le cas pour le laurier (*Laurus nobilis*), dont se ceignait l'empereur Tibère au cours des orages.

I. COLLADON, en 1872 (iv. a. p. 26), conclut, de certaines expériences, « qu'un arbre sain peut recevoir une très violente décharge des nuages et ne montrer à la suite aucune lésion, aucune trace apparente, qui puisse indiquer ou permettre de soupçonner qu'il a été foudroyé (décharge conductive). »

II. JONESCU, en 1892, résumant ses recherches, dit entre autres (v. p. 40 et iv. a. p. 10) que :

a) par une très haute tension électrique, tous les arbres peuvent être foudroyés ;

b) les arbres à graisse et notamment ceux qui en contiennent beaucoup l'été, sont les mieux préservés (hêtre en été) ;

c) les arbres à amidon et ceux qui, en été, sont pauvres en matières grasses, sont préférés par la foudre (résineux en été) ;

d) la teneur en eau est sans influence sur le danger de foudroiement.

Cette théorie ne peut être admise en ce qui concerne les substances hydrocarbonées, car les essences qui contiennent de l'amidon en été n'en ont plus à la saison suivante, où il est remplacé par des substances grasses. Il est fort probable que si nous avions autant d'orages en hiver qu'en été, le % des atteints de chaque essence serait le même pendant les deux saisons, détruisant ainsi les hypothèses de Jonescu.

III. VANDERLINDEN, en 1906 déjà, insiste sur « l'influence que la conformation extérieure du tronc semble exercer sur la gravité des lésions provoquées par le foudroiement (iv. b.). Ainsi, il a constaté (iv. a. p. 26), dans les arbres foudroyés, une prédominance d'essences dont les individus adultes portent une écorce ou, pour mieux dire, un rhytidome fort épais et profondément fendillé, tels que peupliers, chênes, ormes, gros conifères. Par contre, les espèces à tronc plus lisse, comme les hêtres, cerisiers, platanes, érables, fournissent peu de victimes. Le rhytidome est un tissu mort, desséché et, par conséquent, il conduit mal l'électricité. Or, sur un mauvais conducteur, les effets d'une décharge seront nécessairement plus graves et plus manifestes. »

* * *

Je dis que la foudre doit tomber sur tous les objets situés sur le sol, de préférence sur ceux qui sont le plus élevés, parce qu'ils sont le plus chargés d'électricité statique, mais dont les effets sont différents.

Tentons d'expliquer pourquoi nous n'en percevons les effets que sur une partie seulement, alors que sur d'autres, elle reste inaperçue.

La foudre qui tombe sur un paratonnerre ne laisse aucune trace sur celui-ci tant qu'il est bien conditionné, c'est-à-dire que le câble est composé d'un métal bon conducteur, non oxydé, et suffisamment gros, ce qui est le cas avec un toron de cuivre. En cas contraire, le fil est fondu. Cette conductibilité est encore augmentée lorsque le fil est mouillé.

Il doit en être de même avec les écorces lisses, qui sont presque toujours recouvertes d'une certaine quantité d'eau provenant de la pluie qui accompagne l'orage. Le bois étant mauvais conducteur de l'électricité, la foudre suivra naturellement le filet d'eau qui recouvre généralement tout ou partie de la surface lisse de l'écorce.

Nous avons confirmation de ce fait en examinant la statistique des arbres foudroyés de la principauté de Lippe-Detmold (II, S. 219), et partiellement rapportée par Jönescu, page 28 :

Le 11 % des arbres ont été foudroyés lors d'un orage sans pluie ;
le 48 % avec un peu de pluie ;
le 33 % avec une forte pluie ;
le 11 % accompagné de grêle ;
le 1 % accompagné de neige ;
le 4 % avec tempête.

C'est au début des orages qu'il y a le plus de dégâts causés par la foudre, alors que la pluie commence à tom-

ber, ce que chacun d'entre vous a eu l'occasion de remarquer, puis, peu à peu, l'écorce des arbres ayant été plus ou moins humectée, la foudre les frappe sans laisser de traces bien apparentes. Les coups de foudre qui tombent sur les bâtiments sans paratonnerres et sans chéneaux métalliques bien reliés au sol, sont généralement la cause d'incendie.

Pour confirmer ce que je viens de dire, je rapporterai les cas suivants, déjà mentionnés par moi dans le *Journal forestier suisse* de 1908, p. 122.

1^{er} cas. — A Mimorey, près Coinsins, la foudre est tombée sur un platane haut d'environ 30 mètres, sans laisser la moindre trace, si ce n'est quatre feuilles qui ont séché les jours suivants, parce qu'elle avait suivi un filet d'eau descendant le long des branches et de la tige.

2^e cas. — A Montcherand, le 13 août 1903, la foudre tombe sur un bouleau blanc, bordant la route cantonale, haut de 6 mètres et de 25 centimètres de diamètre à hauteur de poitrine, bien que cet arbre fût de deux à trois fois plus petit que les voisins. Aucune trace de ce passage dans le houppier, haut de 4 mètres, à écorce lisse, tandis que le fût, recouvert d'un rhytidome épais, profondément crevassé, était décortiqué et fendu. La foudre avait suivi le filet d'eau coulant sur l'écorce lisse, puis ensuite pénétré entre le bois et l'écorce, pour en suivre la partie la plus humide, le filet d'eau n'ayant pas été continu sur ce rhytidome crevassé, mais arrivant très probablement au sol sous forme de grosses gouttes.

3^e cas. — Il m'a été mentionné deux vieux hêtres isolés dans les pâturages du haut Jura, à vieille écorce crevassée dans la partie inférieure de la tige et plus ou moins lisse dans le houppier, dont l'un fut marqué d'un sillon et l'autre brisé par la foudre.

4^e cas. — *Les vieux sapins blancs* qui ont généralement l'écorce lisse dans la partie supérieure du houppier, laisseront passer la foudre sans aucune trace, tandis

qu'à quelques mètres déjà en dessous de la cime, elle rencontrera une écorce gerçurée, sans filet d'eau ou avec des solutions de continuité, et pénétrera sous l'écorce. Si c'est au moment de la forte végétation du printemps, alors que la sève est abondante, les arbres seront facilement décortiqués ; en été, par contre, nous aurons un sillon marqué dans l'écorce et le bois, tandis qu'à la fin de l'été, où la végétation est ralentie et la sève ne circulant presque plus, les arbres seront généralement brisés, la foudre pénétrant dans le bois.

Il en sera de même pour l'épicéa.

Donc, sur les arbres à écorce lisse, l'eau ruisselant le long des branches, descend le long de la tige, suivant une ou plusieurs lignes, d'autant moins nombreuses que l'arbre est incliné et à branches horizontales. Si l'écorce est gerçurée ou recouverte d'un rhytidome crevassé, le filet d'eau a des solutions de continuité. Dans le premier cas, si le filet d'eau va de la cime au sol, la foudre suit cette traînée d'eau de pluie, très bonne conductrice, sans laisser de trace importante. Par contre, par le fait de la solution de continuité ou un apport d'eau insuffisant, le fluide quittera brusquement la traînée d'eau pour pénétrer entre le bois et l'écorce et suivre la partie la plus riche en eau, en produisant un éclatement de l'écorce et du bois, ou pour sauter dans un corps meilleur conducteur situé à proximité immédiate (animal ou métal) ¹.

* * *

Si un bon conducteur du fluide électrique se trouve entre le sommet de l'arbre et le sol, alors que la partie inférieure de la tige n'est pas encore mouillée, la foudre ira directement au sol, en suivant, non pas le chemin géomé-

¹ Cet éclatement est très probablement dû à la force d'expansion de la vapeur d'eau produite par le passage de la foudre. Cette dernière peut produire la fusion de petites balles de plomb (330 degrés), ainsi que j'ai eu l'occasion de le constater à Zurich, sur un chêne foudroyé en juillet 1893.

trique le plus court, mais celui qui présente la meilleure conductibilité.

Ainsi, deux cas, entre beaucoup d'autres.

1^{er} cas. — A Givrins (Vaud), le 10 juillet 1898, vers huit heures du soir, un homme est appuyé contre le fût d'un tilleul. Sans que rien ne fît prévoir l'orage, la foudre tombe sur l'arbre et tue cet homme. Le fluide, qui était descendu le long des branches, à écorce lisse, passe brusquement de l'écorce dans le corps de l'homme, à environ 1 mètre 50 au-dessus du sol, en laissant dans l'écorce des traces apparentes.

Donc, ici, la foudre a passé d'un corps mauvais conducteur dans un autre, meilleur, sans tenir compte des substances amylacées indiquées par Jonscu.

2^e cas. — Le 23 mai 1909, après-midi, un jeune homme abrité sous un marronnier, à Koekelberg (Belgique) (iv. C.), y fut tué net par un coup de foudre. C'était *au début* de l'orage, alors qu'il pleuvait fortement. « Le tronc était lisse, sauf près du sol, où certaines blessures cicatrisées sont apparentes. Le coup de foudre meurtrier a laissé entièrement intact l'arbre contre lequel le jeune homme s'appuyait, de même que les arbres voisins. Pas la moindre lésion, ni sur le tronc, ni sur les branches. Dans la couronne, quelques feuilles tuées par la décharge, qui sont devenues brunâtres. »

Enfin, un dernier cas confirmant les précédents et où les hommes n'ont pas été tués :

Le 9 juin 1898, le garde forestier Paschoud, de l'Auberson, et deux bûcherons, se réfugient sous un vieil épicéa très branchu, alors qu'il pleuvait fortement. Les trois hommes étaient là depuis plus d'un quart d'heure, *à une petite distance de la tige*, lorsque la foudre tombe sur cet arbre, en laissant indemnes les trois hommes, mais seulement des traces de passage sur les racines.

Dans ce cas encore, le fluide avait suivi le filet d'eau

descendant le long de la tige, puis, dans la partie inférieure de celle-ci, non suffisamment mouillée, passé entre le bois et l'écorce des racines, pour aller se perdre dans le sol.

* * *

Tout naturellement, vous me demandez de prouver qu'au cours d'un orage il s'écoule une certaine quantité d'eau le long du fût, permettant ainsi à la foudre de descendre dans le sol sans laisser de traces apparentes.

A ma connaissance, il n'y a que l'Autrichien Dr Hoppe, adjoint à la station de recherches forestières de Maria-brunn, qui ait publié le résultat de ses observations faites en 1894 et 1895.

Il a trouvé (XI, S. 75), « que dans les forêts de hêtre, l'eau s'écoule le long du fût de l'arbre, déjà avec de très faibles chutes d'eau, alors que sur les résineux elle n'arrive au sol qu'avec des pluies dépassant 10 millimètres. »

Il donne le résumé des recherches faites en été sous la forme suivante :

QUANTITÉ de pluie en millimètres	Pour cent de la quantité de pluie tombée hors bois s'écoulant le long de fût, pour		
	Pin sylvestre	Epicéa	Hêtre
jusqu'à 5	0,0	0,0	8,0
de 5 à 10	0,0	0,1	14,2
de 10 à 15	0,1	0,7	14,7
de 15 à 20	0,7	2,1	18,6
de 20 à plus	1,8	4,8	20,7
MOYENNES	0,7	2,3	15,5
RAPPORTS	1	3	20

Ainsi, le 15,5 % de l'eau de pluie s'écoule le long de la tige d'un hêtre, tandis qu'il n'y a plus que le 2,3 % pour l'épicéa et le 0,7 % pour le pin sylvestre. J'ai là une nouvelle preuve pour justifier mon hypothèse. Donc, sur le hêtre 20 et sur l'épicéa 3 fois plus que sur le pin sylvestre.

Il me reste à faire quelques observations au cours de la saison prochaine, afin de connaître le nombre de minutes qu'il faut à la pluie pour arriver au sol, en suivant le fût des différentes essences. Ceci me permettra de prouver que c'est au début d'un orage que les arbres sont le plus souvent marqués par la foudre, alors que les tiges sont encore sèches ou imparfaitement recouvertes d'eau, ce qui n'est plus le cas lorsque la pluie tombe en grande quantité depuis un certain temps.

Montcherand, mars 1912.



Société vaudoise des Sciences naturelles.



FONDATION AGASSIZ

En assemblée ordinaire de la Société vaudoise des sciences naturelles, réunie le 3 juillet 1912, le Comité de la Fondation Agassiz a proclamé la mise au concours des sujets suivants :

Spéléologie et hydrologie du Jura vaudois.

(Un prix de 500 francs à décerner en 1913.)

Etude sur la distribution des Diatomées d'une région bien délimitée de la Suisse romande.

(Un prix de 500 francs à décerner en 1914.)

Il vient de paraître une monographie des Diatomées de la Suisse par F. Meister (*Beiträge der Kryptogamenflora der Schweiz*, Bd. IV, Heft I, 1912). Il serait désirable qu'un travail de détail au point de vue floristique, biographique et géographique fût entrepris pour une région bien délimitée de la Suisse romande, présentant un ensemble de conditions écologiques suffisamment variées.

Les participants aux concours adresseront leurs mémoires au Président de la Société vaudoise des Sciences naturelles au plus tard pour le 1^{er} novembre de l'année où le prix sera décerné. Ces mémoires ne seront pas signés, mais porteront une épigraphe qui sera répétée sur un pli cacheté contenant les nom et adresse des concurrents. Ces plis seront ouverts à la cérémonie de délivrance des prix, soit en assemblée générale de la Société vaudoise des Sciences naturelles. Les mémoires restent la propriété de leurs auteurs, mais la Société se réserve le droit, cas échéant, de publier les mémoires primés dans son bulletin.

Le concours est ouvert à tous les naturalistes.

Lausanne, le 3 juillet 1912.

Au nom du Comité de la Fondation Agassiz :

Le Président,

E. WILCZEK.

Le Secrétaire,

FR. JACCARD.

TABLE DES COMMUNICATIONS

inscrites aux procès-verbaux

10 janvier 1912.

Quelques rapprochements entre le climat, etc., Horwitz. — Présentation de carte géographique (Arbenz) de notes et brochures, M. Lugeon.

24 janvier 1912.

Graines d'une Euphorbiacée, H. Faes. — Voyage aux Etats-Unis, Quarles von Ufford.

7 février 1912.

Carpocapsa saltitans, Eug Delessert. — Lettre circulaire de P. Scherdlin, E. Wilczek. — Pectinella magnifica, Ch. Linder. — Niagaras électriques, P. Mercanton. — Anomalies dans analyses de vins, F. Porchet.

21 février 1912.

Mèche rapide, M. Bornand. — Tortue fossile, M. Lugeon. — Phase de déformation, E. Argand.

6 mars 1912.

Enneigement 1911, P. Mercanton. — Station météorologique d'Ouchy, P. Mercanton. — Encore sur les phases de déformation, E. Argand. — Itacolumite, Fr. Jaccard.

20 mars 1912.

Parc national suisse, E. Wilczek. — Rythme du proplissement, E. Argand. — Lotte du Léman, Nicati.

3 avril 1912.

Contribution à l'étude du foudroiement des arbres, M. Moreillon. — Sur le drainage des A. O., E. Argand. — Connaissances médicales, Q. v. Ufford. — Bruissement des termites, E. Bugnion.

17 avril 1912.

Eclipse de soleil, Bühner. — Action du sulfure de carbone sur les vers blancs, Décoppet. — Le faite structural, E. Argand. — Eaux thermales de Louèche, M. Lugeon.

1^{er} mai 1912.

Différenciation des castes chez les termites, E. Bugnion. — Segmentation des A. O., E. Argand. — Eclipse de soleil, Maillard. — Congélation du lac de Joux, S. Aubert.

15 mai 1912.

Eclipse de soleil, Bieler-Butticaz. — Saints de glace, Bühner. — Morphogénie préglaciaire, E. Argand.

5 juin 1912.

Recherches sur le mildiou, Faes. — Eclipse de soleil, Perriraz.

22 juin 1912.

Polymorphisme du genre Equisetum, E. Wilczek.

LIBRAIRIE F. ROUGE & C^{ie}, LAUSANNE

Dernières publications :

Dr A. SCHENK

LA SUISSE PRÉHISTORIQUE

Le Paléolithique et le Néolithique

Préface du Dr F.-A. FOREL

1 vol. grand in-8 de 630 pages, avec 170 figures dans le texte et 20 planches hors texte. — Broché, 18 fr.; relié, 23 fr.

Esquisse d'une théorie générale de la rente

suivie d'une critique des principales opinions sur le même sujet, par
B. Samsonoff, Docteur en droit. In-8, 4 fr.

L'Analyse des vins par la volumétrie physico-chimique

par P. Dutoit, Professeur de chimie physique, et M. Duboux, Privat-docent de chimie à l'Université de Lausanne. In-8, 5 fr.

Traité du Droit civil comparé. — Les Successions

TOME IV, par E. Roguin, Professeur de droit comparé à l'Université de Lausanne. In-8, 10 fr.

Nos dents et celles de nos enfants, par le Dr C. Zbinden.
In-18, 80 cent.

En cours de publication :

DICTIONNAIRE HISTORIQUE

GÉOGRAPHIQUE ET STATISTIQUE

DU

CANTON DE VAUD

Publié sous la direction de M. E. MOTTAZ

L'ouvrage formera 18 fascicules de 96 pages chacun. Prix de chaque fascicule, 2 fr. 50.

Les trois premiers fascic., comprenant les articles A-BRETONNIÈRES, ont paru.

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ VAUDOISE
DES
SCIENCES NATURELLES

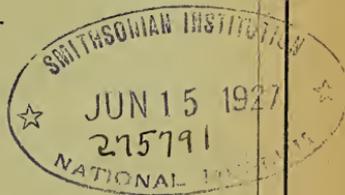
Publié sous la direction du Comité, par D^r FRÉDÉRIC JACCARD, prof.

Pl. III. — Prix : 8 francs.

Contenu :	Pages
ARTHUR MAILLEFER. — Nouvelle étude expérimentale sur le géotropisme et essai d'une théorie mathématique de ce phénomène	411
L. HORWITZ. — Sur la variabilité des précipitations en Suisse	539
F. PORCHET. — Variations de la composition chimique de vins vaudois pendant la période de 1900 à 1909.	545

PROCÈS-VERBAUX du 22 juin au 18 décembre 1912.

TABLE DES MATIÈRES du volume XLVIII.



LAUSANNE
LIBRAIRIE F. ROUGE & C^{ie}
LIBRAIRIE DE L'UNIVERSITÉ
RUE HALDIMAND

COMITÉ POUR 1913

<i>Président :</i>	MM. Paul DUTOIT, prof. Ecole de chimie,	Lausanne.
<i>Vice-Président :</i>	E. WILCZEK, prof. Palais de Rumine,	Lausanne.
<i>Membres :</i>	BUHRER, pharmacien.	Montreux.
	Ch. LINDER, prof.	Lausanne.
	P. MURISIER, assistant, Palais de Rumine.	Lausanne.
<i>Secrétaire :</i>	E. GAGNEBIN, assistant, Palais de Rumine.	Lausanne.
<i>Editeur du Bulletin :</i>	A. MAILLEFER, priv. doc., Palais de Rumine,	Lausanne.
<i>Archiviste-Biblioth.:</i>	H. LADOR, Palais de Rumine,	Lausanne.
<i>Caissier :</i>	A. RAVESSOUD, Banque Morel, Chavan- nes, Günther & C ^{ie} , rue du Lion-d'Or,	Lausanne.
<i>Vérificateurs :</i>	MM. J. PERRIRAZ, Professeur,	Vevey.
	D ^r BARBEY,	Lausanne.
	CORNU,	Corseaux près Vevey.

AVIS

I. Les personnes qui désirent publier des travaux dans le Bulletin sont priées de tenir compte des observations suivantes :

1° Tout manuscrit doit être adressé, **en copie lisible**, à l'*éditeur du Bulletin* et ceci **avant le 1^{er} février** pour l'insertion dans le Bulletin de mars, **avant le 1^{er} mai** pour le Bulletin de juin, **avant le 1^{er} août** pour celui de septembre, **avant le 1^{er} novembre** pour celui de décembre. **Passées ces dates, les travaux seront insérés dans le Bulletin suivant.** Le manuscrit doit contenir l'*adresse de l'auteur*, l'*indication du nombre d'exemplaires* qu'il désire comme *tirage à part*, et celle du nombre de planches ou tableaux hors texte qui accompagnent le mémoire. Les *épreuves en retour doivent également être retournées à l'éditeur.*

2° Il ne sera fait de tirage à part d'un travail que sur la demande expresse de l'auteur.

3° Les tirages d'auteurs sont remis après le tirage pour le Bulletin, sans nouvelle mise en pages et avec la même pagination, après enlèvement du texte qui précède et du texte qui suit.

Tous les changements demandés pour des tirages à part sont à la charge des auteurs.

—•••—
Pour la rectification des adresses qui ne seraient pas exactes, on est prié de s'adresser au secrétaire de la Soc. Vaud. des Sc. Nat., Palais de Rumine, Lausanne.

UNIVERSITÉ DE LAUSANNE. LABORATOIRE DE BOTANIQUE

NOUVELLE ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

SUR LE

GÉOTROPISME

et essai d'une théorie mathématique de ce phénomène

PAR

Arthur MAILLEFER

En 1910¹, j'ai publié une première série d'expériences, faites en 1909, sur le géotropisme de la coléoptile de l'*avoine blonde hâtive de Martinet*. Dans ce travail, j'étais arrivé à la conclusion que la courbure géotropique commence au moment même où l'on soumet la plante à l'action de la pesanteur et que cette courbure se fait avec une vitesse proportionnelle au temps pendant lequel la pesanteur agit et à un facteur b que j'ai nommé l'*accélération géotropique*.

J'ai continué et complété cette étude en 1910 et 1911; quoique je ne sois pas encore parvenu à éclaircir certains points pour lesquels je fais actuellement des expériences, je tiens à publier cette nouvelle série d'expériences; on y trouvera une confirmation des résultats obtenus en 1910; lors de mes premières expériences, j'avais déterminé pour chaque plante le moment où la courbure commençait à

¹ A. Maillefer. *Etude sur la réaction géotropique*. Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat. XLVI, 1910.

être visible à l'œil nu, c'est-à-dire ce que les auteurs ont appelé le temps de réaction; j'ai utilisé ces chiffres que je n'avais pas encore publiés; on verra que cette étude du temps de réaction présente un certain intérêt. Enfin pour les expériences déjà publiées en 1910 (n^{os} 1-300), j'ai refait complètement les calculs des constantes a et b de la formule

$$h = at + bt^2$$

en tenant compte du *poinds* de chacune des valeurs moyennes de h servant à calculer ces constantes.

Méthode et appareils employés.

Je rappelle que la méthode que j'emploie consiste à mesurer, au cathétomètre, de cinq en cinq minutes, le déplacement h de l'extrémité de la plante dans le plan perpendiculaire à la ligne de visée du cathétomètre; ce déplacement h est en réalité la projection de la distance entre deux positions données du sommet de la plante sur une droite perpendiculaire à l'axe de la plante.

Cette méthode est sûre et donne des résultats très précis; mais elle est longue, car elle ne permet de faire qu'une seule expérience à la fois; et il en faut une quantité pour obtenir une moyenne un peu sûre; on ne peut calculer cette moyenne qu'en prenant des plantes ayant, approximativement au moins, la même longueur et ayant été observées à la même température.

Ne disposant pas d'une chambre à température constante, j'ai dû me contenter de la température qui régnait au moment donné dans le laboratoire, de sorte qu'au lieu de pouvoir prendre la moyenne de toutes les expériences en bloc, j'ai dû faire des catégories (température-longueur) nombreuses et par conséquent multiplier les expériences pour avoir dans chaque catégorie un nombre suffisant de cas.

Il est regrettable qu'en général les moyens financiers mis à la disposition des laboratoires ne permettent pas d'organiser les expériences d'une manière plus intensive, plus industrielle pour ainsi dire; le même observateur pourrait

facilement surveiller au moins cinq expériences, peut-être même sept ou huit; seulement il faudrait avoir les appareils nécessaires et ce n'est pas la coutume d'avoir dans un laboratoire plusieurs appareils identiques. L'expérimenta-

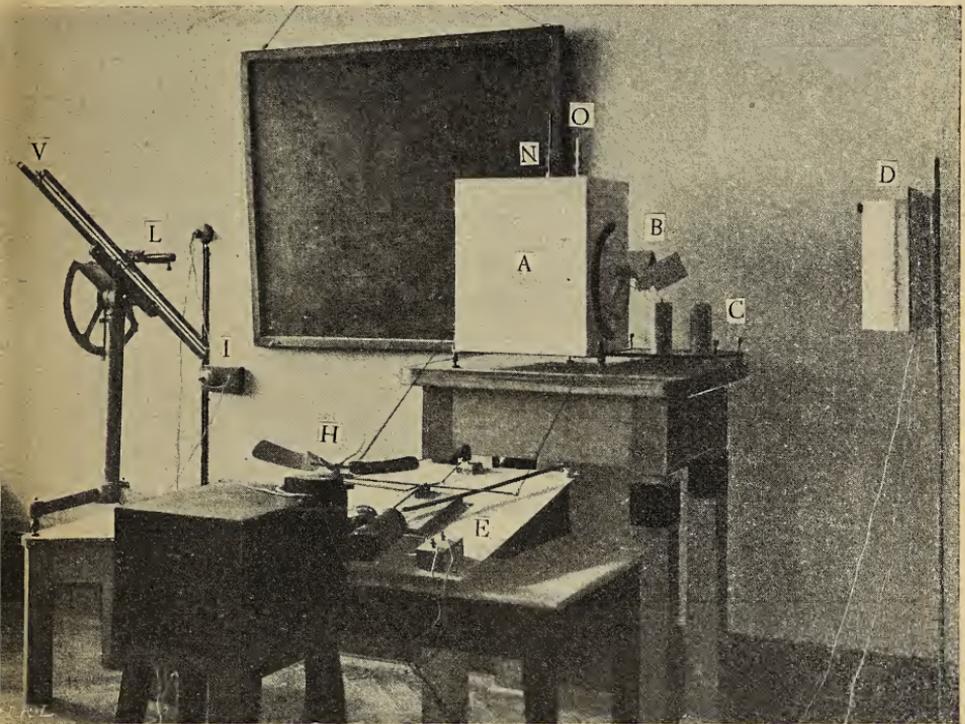


Fig. 1.

teur doit se contenter de rêver, entre chacune des lectures, à son unique appareil, aux beaux résultats qu'il obtiendrait s'il en avait plusieurs. Deux ans suffiraient pour la besogne qu'il mettra dix ans à faire.

Les appareils utilisés pour cette nouvelle série d'expériences sont ceux décrits dans mon *Etude sur la réaction géotropique*¹; toutefois la caisse dans laquelle est placée la plante en observation a reçu quelques modifications.

La figure 1 montre la disposition générale des appareils.

¹ Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat. XLVI, 1910, fig. 2, page 238.

Les vitres demi-circulaires à travers laquelle on examine les plantes étaient en verre recouvert de gélatine colorée au méthyl-orange ; ces plaques présentent l'inconvénient d'avoir une surface légèrement ondulée, ce qui risque de fausser les mesures ; j'ai remplacé ces vitres par une double épaisseur de ce verre jaune-orange qu'on utilise dans les chambres noires photographiques, pour l'éclairage lors du développement des papiers au bromure. La lumière qui passe à travers ces verres, comme celle du reste qui filtré à travers les plaques gélatinées au méthyl-orange agit encore héliotropiquement, mais d'une manière excessivement faible. Afin de diminuer l'action de la lumière, j'ai placé devant les deux fenêtres des disques en carton, les obturant complètement et tournant autour de l'axe qui porte le vase des plantes. Chacun de ces disques est percé d'une ouverture carrée (5 cm. \times 5 cm.) sur le bord de laquelle est collé un tube prismatique de carton (B fig. 1) ; un clapet maintenu par une charnière à ressort ferme le tube¹. Un électro-aimant E à armature plongeante fait ouvrir les clapets au moyen des ficelles visibles sur la fig. 1. Afin d'avoir un mouvement aussi doux que possible, pour ne pas ébranler la caisse A, j'ai placé un volant H qui freine le mouvement de l'armature en agissant au début par son inertie et ensuite en mettant en jeu le frottement de l'air ; les fils qui ouvrent les clapets sont attachés à l'armature par l'intermédiaire de ressorts en boudin. Le retour en arrière de l'armature se fait aussitôt que le courant est interrompu grâce à un tube de caoutchouc qu'on voit au-dessus de la lettre E et qui se tend quand l'armature est attirée.

Pendant l'expérience, les deux tubes rectangulaires sont placés vis-à-vis l'un de l'autre de telle manière qu'on puisse viser la plante à travers avec le cathétomètre. Du côté opposé à ce dernier se trouve un écran en papier teint au

¹ Lors de mes premières expériences (1 à 300), les fenêtres demi-circulaires étaient protégées par un rideau noir que j'enlevais lors des lectures.

méthyl-orange et éclairé vivement par deux lampes à incandescence (charbon) de 50 bougies chacune, trempée dans de la gélatine au méthyl-orange; les lampes sont enfermées ainsi que l'écran dans une boîte D et ne peuvent envoyer de lumière directe dans la caisse.

De cette manière, la lumière qui pénètre dans l'appareil n'agit que peu au point de vue héliotropique. Les clapets ne sont ouverts que le temps strictement nécessaire à la visée au cathétomètre; c'est pour diminuer le temps d'ouverture que les clapets sont mus à l'électricité; c'est lorsque l'œil est à la lunette L et la main droite à la vis micrométrique V du cathétomètre M que, de la main gauche, l'on tourne le bouton I qui fait ouvrir le clapet B et en même temps s'allumer les lampes de l'écran D; dès que la plante coïncide avec le réticule, la main gauche fait rabattre les clapets.

La lumière, agissant ainsi pendant un temps très court, ne peut avoir d'action héliotropique sensible. Du reste, la lumière ne peut entrer dans la caisse que par les tubes de carton, c'est-à-dire parallèlement à la ligne de visée du cathétomètre; par conséquent, s'il y avait, malgré toutes les précautions prises, une légère action phototropique, la courbure se ferait dans un plan passant par la ligne de visée et perpendiculaire à la règle du cathétomètre et serait invisible pour l'observateur.

Afin de diminuer les variations de la température pendant les expériences, variations qui m'ont fait souvent rejeter des expériences en 1910, j'ai tapissé la caisse à l'intérieur avec du carton-feutre noirci à l'encre de Chine et à l'extérieur avec du papier d'étain¹; j'ai garni les fenêtres du laboratoire (à l'extérieur) avec des feuilles de papiers de soie, collées sur la boiserie de la fenêtre à un centimètre environ de la vitre; ces dispositifs, joints à

¹ Actuellement j'ai enlevé ce papier d'étain et je l'ai remplacé par une couche de vernis ripolin blanc; c'est en cet état que l'appareil est représenté sur la figure 1.

l'utilisation du ventilateur de 1 HP du laboratoire qui m'amenait de l'air ayant passé dans les escaliers de l'Université et dont la température ne varie que très peu, m'ont donné de bons résultats.

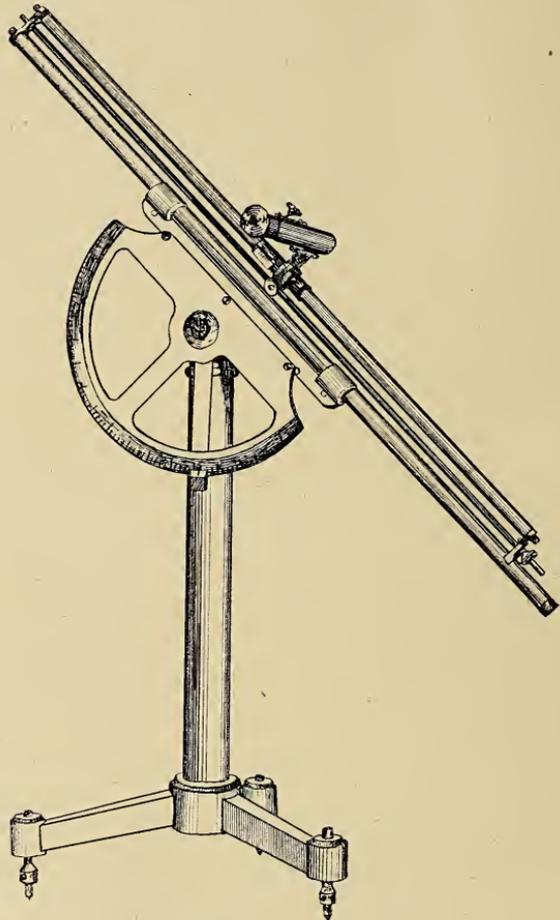


Fig. 2.

Le thermomètre placé auparavant derrière la vitre jaune a dû être déplacé depuis l'adjonction des disques de carton ; il a été suspendu au couvercle d'un tube O ; on n'a qu'à soulever ce couvercle pour faire la lecture. Le résér-

voir du thermomètre est à la hauteur de l'axe auquel les plantes sont fixées. Toutes les dispositions ont été prises pour qu'aucun rayon lumineux ne puisse atteindre les plantes pendant les lectures du thermomètre.

M. le professeur C. Dutoit a bien voulu vérifier (le 6 juillet 1912) le thermomètre dont je me suis servi et le comparer aux thermomètres étalons du laboratoire de physique. Les indications de mon instrument ont été trouvées régulièrement insuffisantes de 0.1° entre 10° et 30° . *Les températures données dans les tableaux de ce travail devront donc toutes être augmentées de 0.1° .*

J'ai renoncé à planter trois grains d'avoine dans chaque pot; je n'en plante plus qu'un au centre du vase.

Pour utiliser le cathétomètre dans les cas où la plante n'occupe pas la position horizontale, j'ai fait construire un pied solide qui maintient le cathétomètre dans n'importe quelle position (M fig. 1 et 2). Un cercle gradué permet de placer l'instrument dans la position désirée. L'appareil a été réglé pendant sa construction de façon à ce que sa mise de niveau fût le plus simple possible. Elle se fait de la manière suivante : on place le cathétomètre de façon que l'index soit sur le zéro du cadran (au centre); puis à l'aide d'un niveau à bulle placé sur la tige graduée du cathétomètre et des vis calantes placées sous les trois pieds de l'appareil, on s'arrange pour que la tige du cathétomètre soit dans un plan horizontal. Ceci fait, on peut utiliser l'appareil, il est réglé pour n'importe quelle position.

Interprétation des résultats numériques fournis par les expériences.

Prenons un certain nombre de plantes d'avoine; plaçons-les horizontalement et notons de cinq en cinq minutes le déplacement, que nous désignerons par h , du sommet de la plante, déplacement compté à partir de la position que ce sommet occupait au début de l'expérience; nous

constaterons que les déviations des diverses plantes, au même moment, ne seront pas les mêmes ; si nous faisons un graphique en portant pour chaque plante en abscisses les temps et en ordonnées les déviations et si nous joignons ces points par une courbe, nous verrons que toutes ces courbes sont différentes. Comme c'est l'allure de ces courbes qui doit nous donner la loi régissant la courbure géotropique, au premier aspect cette loi ne nous semblera pas nette ; pour obtenir une courbe qui résume l'ensemble des expériences, nous prendrons la moyenne de toutes les valeurs de la déviation h d'une série d'expériences pour chacun des intervalles de temps. En portant les moyennes des déviations en ordonnées, nous pourrions tracer une courbe qui doit nous donner la loi de la courbure géotropique ; mais si nous refaisons une nouvelle série d'expériences dans les mêmes conditions, les moyennes nous fourniront une courbe ressemblant en général à la première, mais cependant différente. Comment interpréterons-nous ces résultats ?

La théorie du calcul des probabilités enseigne que plus l'on part d'expériences nombreuses, plus on a de chances d'arriver à la moyenne exacte ; en pratique, on doit se limiter et se contenter de séries ne comprenant qu'un petit nombre d'expériences (10, 15, 20, peut-être 50 ou 100), de sorte que les moyennes ne nous donnent que des valeurs approchées.

Cela n'empêchera pas d'utiliser ces moyennes à la condition qu'on puisse en mesurer l'approximation. A priori, on peut dire que plus les valeurs expérimentales sont voisines les unes des autres, plus la moyenne aura de chances d'être exacte.

On appelle, en biométrie, *index de variabilité*, σ , un nombre qui mesure l'écart plus ou moins grand des résultats entre eux et qui est donné par

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum (x^2)}}{n}$$

où x est l'écart entre chacun des résultats et la moyenne, et n le nombre des chiffres dont on cherche la moyenne. Le calcul de σ se fait très facilement en utilisant les schémas donnés dans tous les traités de biométrie¹.

La précision d'une moyenne varie en sens inverse de l'index de variabilité; mais elle est également fonction du nombre n des expériences; on utilise comme mesure de la précision d'une moyenne, le *poids* de cette moyenne; c'est l'inverse de l'*erreur probable* E donnée par

$$E = \frac{\pm 0,6745 \cdot \sigma}{\sqrt{n}}$$

L'erreur probable² est une quantité telle qu'il y a autant de chances pour que la valeur exacte cherchée soit comprise entre la moyenne moins l'erreur probable et la moyenne plus l'erreur probable.

En portant en ordonnées les valeurs moyennes de la déviation pour les divers intervalles de temps portés en abscisses, on obtient une ligne brisée se rapprochant plus ou moins d'une courbe. Cette courbe pourra peut-être se traduire en une loi et mettre sur la piste d'une hypothèse. Je dis peut-être, car il pourra arriver que la loi soit trop compliquée pour qu'à l'inspection de la courbe il soit possible de la deviner. Par une série de points, il est toujours possible de faire passer une quantité de courbes aux équations plus ou moins compliquées mais ne présentant un intérêt que s'il est possible de les ramener à d'autres courbes connues pour le même phénomène, en un mot que s'il est possible de les faire rentrer dans une théorie. Qu'on ne s'inquiète point s'il n'est pas possible de trouver immédiatement une relation; le tableau des

¹ E. B. Davenport. *Statistical methods with special reference to biological variation*. New-York, John Wiley und Sons, 1904.

Duncker Georg. *Die Methode der Variationsstatistik*. Leipzig, Engelmann, 1899.

² Les calculs sont facilités en employant les *Tables for facilitating the computation of probabl errors*, de Winifred Gibson. *Biometrika*, vol. IV, 1906, p. 385.

résultats expérimentaux demeure et servira un jour ou l'autre à vérifier des hypothèses émises en partant de bases expérimentales différentes.

J'ai cru pouvoir admettre pour résumer mes expériences, où une plante d'avoine est placée horizontalement et observée de 5 en 5 minutes, la formule

$$h = at + bt^2.$$

Pour calculer la valeur des constantes a et b j'ai utilisé la méthode des moindres carrés¹; avec cette méthode, toutes les déviations moyennes de h pour tous les intervalles de temps sont utilisés. Dans mon travail de 1910, j'ai calculé a et b sans tenir compte du poids des valeurs de h moyen; or, ce poids est très différent suivant les intervalles considérés; en général, plus les temps sont longs plus les poids sont faibles, ou, ce qui revient au même, plus les erreurs probables sont considérables. Dans ce travail, j'ai recalculé a et b en tenant compte du poids des moyennes de h ; pour cela, j'ai fait intervenir dans les calculs par la méthode des moindres carrés les valeurs de h un nombre de fois proportionnel au poids de h . Les valeurs de a et de b données plus loin sont donc *les valeurs les plus probables*.

La nutation comme cause d'erreurs dans les expériences sur le géotropisme.

La coléoptile de l'avoine effectue constamment des mouvements de nutation; ce sont des mouvements de balancement qui se font dans un plan ou presque. La coléoptile a une structure bilatérale et le plan de nutation reste sensiblement fixe. Ce phénomène se superposant au mouvement géotropique, il est indispensable de voir quelles

¹ Anton Steinhauser. *Die Lehre von der Austellung empirischer Formeln mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate*. Leipzig. Teubner 1889.

Pour les calculs numériques, j'ai utilisé les *Tables de calculs* de Louis Zimmermann. Liebenwerda, R. Reiss, 1901, qui épargnent beaucoup de temps.

erreurs la nutation entraîne dans les expériences sur le géotropisme et quelle loi suivent ces erreurs.

Avant de donner le résultat des expériences que j'ai entreprises à cette fin, je crois bon de discuter la question théoriquement.

Admettons comme première base de la discussion les deux propositions suivantes: 1° La nutation se fait dans un plan; 2° C'est un phénomène périodique.

Si toutes les plantes avaient leur plan de nutation perpendiculaire à la ligne de visée du cathétomètre, si les mensurations de la déviation de l'extrémité de la plante commençaient pour chaque individu à la même phase de la nutation et si la période et l'amplitude de la nutation étaient les mêmes pour tous les individus en expérience, la courbe représentant les valeurs de la déviation à chaque instant serait une courbe périodique et la variabilité de ces valeurs serait nulle; c'est-à-dire que la courbe fournie par une seule expérience donnerait la vraie valeur de la déviation pour n'importe quelle autre plante.

Mais les plantes n'ont pas toutes leur plan de nutation perpendiculaire à la ligne de visée du cathétomètre. Comme les plantes sont enfermées le jour qui précède l'expérience dans des boîtes sans qu'on tienne compte de la position de leur plan de nutation et que ces boîtes sont placées dans la caisse à verres jaunes dans n'importe quelle position, il n'y a pas plus de chances pour que la nutation se fasse dans un plan plutôt que dans un autre par rapport à la ligne de visée du cathétomètre. En répétant les expériences un grand nombre de fois, on trouvera un nombre égal de plantes ayant leur plan de nutation dans les différents secteurs.

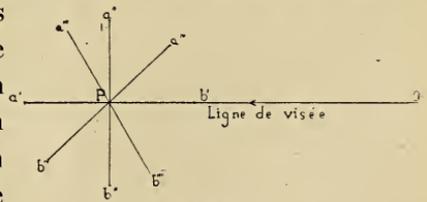


Fig. 3.

Soit OP (fig. 3) la ligne de visée du cathétomètre, P la

projection horizontale de l'extrémité des plantes au début de l'expérience et $a'b'$, $a''b''$, $a'''b'''$,.... les projections de l'extrémité de ces plantes pendant le mouvement de nutation ; si la nutation se fait dans le plan $a''b''$ perpendiculaire à la ligne de visée, les déviations mesurées au cathétomètre seront maximum tandis que si le plan de nutation est $a'b'$ parallèle à la ligne de visée, les déviations seront invisibles pour l'observateur. Dans toutes les positions, la déviation lue au cathétomètre sera à la valeur vraie de la déviation mesurée dans le plan de nutation comme le sinus de l'angle que fait le plan vertical contenant la ligne de visée avec le plan de nutation est à l'unité.

Quoique les plantes aient toutes un mouvement identique, on voit que les mesures seront différentes suivant la position du plan de nutation.

Si l'on suppose que l'on commence les mensurations à la même phase de la nutation, la courbe représentant la déviation moyenne sera périodique ; mais tel n'est pas le cas ; les lectures au cathétomètre commencent aussitôt que la plante est dans la caisse à verres jaunes, sans qu'on ait pu observer au préalable la phase de la nutation ; par conséquent, les déviations se feront tantôt à droite, tantôt à gauche avec une égale probabilité pour les deux cas.

Si, dans ces conditions, la durée des périodes de nutation était égale pour toutes les plantes, on verrait la variabilité des déviations augmenter puis redevenir nulle au bout de la période ; en effet, à ce moment, toutes les plantes seraient revenues à la position initiale ; déjà au bout d'une demi-période, les déviations à droite et à gauche étant également probables, on aurait aussi une variabilité nulle.

Mais une régularité pareille dans les périodes de la nutation n'existe pas ; la nutation est irrégulière, deux plantes n'ont pas la même période et chez la même plante les oscillations successives ne se font pas toujours dans le

même temps. Admettons que comme tous les phénomènes biologiques connus le temps employé pour une oscillation soit variable autour d'un temps moyen, c'est-à-dire que l'on trouvera un certain nombre de plantes employant un temps moyen pour une oscillation et d'autres plantes en nombre d'autant moins considérable qu'elles ont un temps d'oscillation différant davantage du temps moyen. Si la variabilité de ce temps est assez grande pour que les durées d'oscillation les plus longues soient un certain nombre de fois plus grandes que les durées les plus courtes, il pourra arriver que la périodicité de la variabilité des déviations soit si atténuée qu'elle ne dépasse pas la limite des erreurs. Disons tout de suite que les expériences montrent qu'il en est à peu près ainsi.

Si l'on admet d'autre part que l'amplitude des oscillation varie aussi autour d'une moyenne, ce qui est effectivement le cas, il pourra arriver que, toutes ses causes d'irrégularité se faisant sentir au « hasard », la variation des déviations de l'extrémité de la plante obéisse à la courbe des erreurs de Gauss.

A priori, vu les suppositions que nous avons été obligé de faire, il n'est pas possible de rien affirmer, mais il y a une forte présomption qu'il en sera bien ainsi. L'expérience nous donnera du reste la réponse.

Pour étudier la nutation de l'avoine j'ai fait 150 expériences en deux séries; la première (n^{os} 351 à 400) a été faite entre le 16 et le 26 août 1910 et la seconde (n^{os} 501 à 600) du 20 mars au 13 avril 1911. Ces deux séries se complètent, la première comprenant des expériences faites entre les températures de 20 à 25° C, et la deuxième entre 14 et 21° C. Dans ces expériences, la plante d'avoine était placée verticalement dans la caisse à verres jaunes et restait dans cette position.

Le tableau I donne le résultat de ces expériences; celles-ci ont été classées dans l'ordre croissant des tempéra-

504	0,1	-0,2	-0,3	-0,4	-0,3	-0,2	0,2	0,4	0,5	0,6	0,5	18
503	-0,05	-0,05	-0,2	-0,2	-0,3	-0,4	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3	-0,1	18
588	0,0	0,15	0,1	0,1	0,1	0,05	0,0	-0,05	0,05	0,05	0,05	18
505	0,0	0,1	0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1	-0,2	-0,1	-0,2	-0,2	18
523	-0,1	-0,05	-0,1	-0,05	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	18
502	0,0	0,0	0,2	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,1	0,0	-0,1	-0,2	18
564	-0,1	-0,15	-0,2	-0,3	-0,3	-0,25	-0,15	-0,15	-0,1	-0,15	-0,05	18
521	0,0	0,0	0,0	0,0	0,05	0,2	0,2	0,25	0,2	0,2	0,1	18
511	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18
517	-0,05	-0,1	-0,1	-0,15	-0,15	-0,25	-0,15	-0,2	-0,15	-0,15	-0,1	18
530	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,05	-0,05	-0,1	-0,05	-0,1	-0,1	-0,05	18
556	0,1	0,15	0,2	0,25	0,25	0,2	0,2	0,25	0,3	0,45	0,4	18
512	0,0	0,0	0,0	-0,05	-0,05	-0,1	-0,05	0,0	-0,1	-0,1	-0,05	18
513	0,1	0,2	0,3	0,4	0,45	0,55	0,7	0,6	0,8	0,8	0,7	18
554	0,0	0,1	0,3	0,6	0,8	0,8	1,05	1,45	1,55	1,7	1,7	18
568	0,05	0,05	0,05	0,0	0,0	-0,05	-0,2	-0,35	-0,5	-0,55	-0,55	18
595	-0,05	0,0	-0,15	-0,15	-0,1	-0,05	0,05	-0,15	-0,1	-0,1	0,05	18
555	-0,15	-0,35	-0,25	-0,4	-0,35	-0,45	-0,4	-0,35	-0,35	-0,5	-0,6	18
570	-0,05	-0,1	-0,1	-0,05	0,0	-0,15	-0,15	-0,15	-0,15	-0,1	-0,1	18
585	-0,25	-0,35	-0,5	-0,6	-0,55	-0,55	-0,5	0,0	0,15	0,25	0,15	18
535	0,05	0,1	0,25	0,4	0,6	0,6	0,65	0,8	0,85	0,85	0,95	18
539	0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,1	-0,1	-0,15	-0,05	0,0	0,1	0,2	18
520	-0,05	0,0	0,0	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,4	-0,45	-0,45	-0,2	18
522	0,0	0,15	0,3	0,35	0,6	0,75	0,9	1,0	1,05	1,1	1,15	18
514	-0,2	-0,2	-0,4	-0,3	-0,4	-0,2	-0,2	-0,4	-0,25	-0,2	-0,1	18
553	-0,05	-0,15	-0,05	0,0	0,0	0,3	0,45	0,6	0,7	0,8	0,85	18
565	0,0	0,0	0,0	0,05	0,0	0,0	0,05	0,0	0,0	0,05	0,05	19
506	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	-0,1	-0,2	-0,25	-0,1	-0,1	-0,15	19
507	0,3	0,4	0,4	0,2	0,1	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0,0	0,0	19
540	0,1	0,1	0,2	0,1	0,15	0,2	0,4	0,35	0,4	0,35	0,35	19
582	0,1	0,1	0,1	0,15	0,2	0,2	0,2	0,25	0,05	0,00	-0,05	19
581	0,05	0,05	0,05	0,1	0,15	0,2	0,2	0,2	0,2	0,25	0,25	19
501	-0,3	-0,1	-0,2	0,0	-0,1	0,0	0,1	0,4	0,5	0,6	0,6	19
543	-0,05	-0,05	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,25	-0,2	0,0	0,05	0,0	19
600	0,0	-0,05	-0,05	0,0	-0,05	-0,05	0,0	-0,2	-0,2	-0,25	-0,25	19
536	0,1	0,15	0,1	0,05	0,1	0,1	0,15	0,1	0,1	0,15	0,1	19

TABLEAU I (suite)

Numéros	TEMPS EN MINUTES											Température en degrés C.	Longitude en millim.													
	5		10		15		20		25		30			35		40		45		50		55		60		
550	0,05	0,1	0,1	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,1	0,05	0,05	0,0	0,0	0,0	0,05	0,05	0,2	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05		
525	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
580	-0,05	-0,15	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,25	-0,35	-0,35	-0,35	-0,4	-0,4	-0,45	-0,45	-0,45	-0,45	-0,45	-0,45	-0,45	-0,45		
583	0,0	-0,05	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,15	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25		
551	0,05	0,05	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,25	0,4	0,4	0,45	0,45	0,45	0,55	0,55	0,7	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75		
518	0,0	0,05	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,15	0,15	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1		
526	0,0	0,0	-0,05	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,25	-0,4	-0,4	-0,5	-0,5	-0,5	-0,65	-0,65	-0,75	-0,75	-0,75	-0,75	-0,75	-0,75		
572	-0,05	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	-0,05	0,0	-0,15	-0,15	-0,15	-0,2	-0,2	-0,35	-0,35	-0,35	-0,35	-0,35	-0,35	-0,35		
574	0,1	0,1	0,2	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,35	0,45	0,45	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5		
524	0,05	0,05	0,0	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05		
531	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,05	0,05	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1		
532	0,0	-0,1	-0,2	-0,15	-0,15	-0,15	-0,15	-0,15	-0,15	-0,15	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,1	-0,1	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05		
552	0,15	0,15	0,35	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,65	0,65	0,65	0,8	0,8	0,75	0,75	0,75	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7		
534	-0,15	-0,15	-0,2	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25		
589	0,05	0,0	0,0	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,1	0,1	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,05	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
561	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05		
537	0,05	0,15	0,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,15	0,0	0,0	0,05	0,05	0,0	0,0	0,0	0,05	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2		
548	0,05	0,1	0,1	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,1	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05		
533	0,05	-0,1	-0,2	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,3	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,65	-0,65	-0,65	-0,65	-0,65	-0,65	-0,65	-0,65	-0,65		
562	0,0	-0,2	-0,25	-0,35	-0,35	-0,35	-0,35	-0,35	-0,35	-0,35	-0,4	-0,5	-0,5	-0,5	-0,55	-0,55	-0,55	-0,55	-0,55	-0,55	-0,55	-0,55	-0,55	-0,55		
549	0,05	0,1	0,15	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,35	0,4	0,45	0,45	0,45	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5		
594	0,15	0,2	0,2	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,4	0,45	0,5	0,55	0,55	0,6	0,6	0,6	0,7	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65		
515	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
560	-0,05	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05		
557	-0,05	-0,05	-0,1	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	0,0	0,1	0,15	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3		
558	0,05	0,25	0,4	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45		
559	-0,05	-0,05	-0,05	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,4	-0,35	-0,35	-0,35	-0,35	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2		
387	0,05	0,05	0,05	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2		
538	0,05	-0,1	-0,15	-0,15	-0,15	-0,15	-0,15	-0,15	-0,15	-0,15	-0,2	-0,2	-0,25	-0,4	-0,4	-0,45	-0,45	-0,45	-0,4	-0,45	-0,45	-0,45	-0,45	-0,45		

TABLEAU I (suite).

Numéros	TEMPS EN MINUTES											Température en degrés C.	Longueur en millim.	
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55			60
	370	-0,05	0,1	0,2	0,25	0,35	0,25	0,25	0,4	0,4	0,3			0,25	0,35	15
351	0,05	0,05	0,0	0,05	0,15	0,2	0,2	0,25	0,25	0,25	0,25	0,35	16	
352	0,1	0,1	0,15	0,05	0,1	0,1	0,2	0,1	0,15	0,1	0,1	0,15	16	
364	-0,1	-0,1	-0,15	-0,05	-0,1	-0,2	-0,1	-0,15	-0,2	-0,3	-0,35	-0,3	17	
366	-0,05	-0,1	-0,15	-0,2	-0,25	-0,2	-0,2	-0,25	-0,2	-0,1	-0,05	-0,1	18	
362	0,05	0,05	0,15	0,25	0,25	0,2	0,2	0,35	0,4	0,35	0,35	0,35	19	
367	-0,1	-0,05	-0,1	-0,15	-0,15	-0,25	-0,2	-0,2	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	24	
353	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,4	-0,4	-0,35	-0,2	-0,05	0,0	24	
363	-0,05	0,0	0,0	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,05	0,0	0,05	-0,05	0,0	20	
368	-0,1	-0,2	-0,4	-0,4	-0,55	-0,65	-0,6	-0,35	-0,3	-0,7	-0,6	-0,5	21	
358	0,1	0,2	0,15	0,15	0,2	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	22	
355	0,0	0,0	0,0	0,05	0,05	0,1	0,15	0,3	0,35	0,4	0,6	0,7	26	
356	0,0	-0,2	-0,3	-0,4	-0,5	-0,8	-0,85	-0,85	-0,85	-0,9	-0,9	-0,85	31	
357	-0,1	-0,05	0,0	0,1	0,1	0,0	-0,05	-0,2	-0,1	-0,1	-0,15	-0,2	34	
369	0,0	0,0	0,05	0,05	-0,05	0,0	0,0	0,1	0,15	0,1	0,1	0,2	15	
372	-0,05	-0,1	-0,05	-0,1	-0,2	0,0	0,0	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	18	
376	0,05	0,2	0,2	0,1	0,15	0,1	0,1	0,1	0,0	0,5	0,5	0,0	18	
373	-0,05	-0,15	-0,4	-0,4	-0,45	-0,5	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	-0,5	-0,6	20	
377	0,0	0,05	0,05	0,05	0,0	0,0	0,05	0,05	0,05	0,15	0,2	0,2	20	
374	-0,05	-0,2	-0,3	-0,4	-0,55	-0,65	-0,7	-0,8	-0,8	-0,85	-0,9	-0,9	25	
375	0,1	0,0	0,1	0,2	0,03	0,35	0,35	0,25	0,1	-0,05	-0,1	-0,15	25	
371	-0,1	0,05	-0,05	-0,05	-0,05	0,05	0,05	0,2	0,25	0,05	-0,1	-0,15	30	

tures et dans chacune de ces catégories dans l'ordre croissant des longueurs ; les chiffres donnés dans les colonnes sont les valeurs en millimètres de la déviation h de l'extrémité de la coléoptile, par rapport à sa position au début de l'expérience, au bout de 5, 10, 15.... minutes. J'ai indiqué comme négatifs les chiffres donnant les déviations vers la gauche et comme positifs ceux vers la droite. Afin de rendre les tableaux plus clairs, les chiffres négatifs sont imprimés en caractères gras.

Groupons ces expériences en catégories comprenant les plantes ayant la même longueur et observées à la même température, et calculons dans chaque groupe la moyenne des déviations au bout de 5, 10, 15.... minutes. Comme les déviations vers la gauche sont aussi probables que celles vers la droite, nous devrions trouver cette moyenne égale à zéro ; mais comme il s'agit d'une moyenne, nous trouverons généralement une valeur différente ; en calculant l'erreur probable de cette moyenne et en la comparant avec l'erreur trouvée nous pourrions nous rendre compte si les erreurs dues à la nutation suivent la loi de Gauss ou non.

Le tableau suivant donne la valeur de h moyen, c'est-à-dire de la moyenne des déviations h observées de cinq en cinq minutes et comptées par rapport à la position de la plante au début de l'expérience, pour toutes les catégories de températures (de trois en trois degrés) et de longueurs (de cinq en cinq millimètres) où le nombre d'expériences à ma disposition dépasse sept. Au-dessous de chacune des valeurs de h moyen est indiquée l'erreur probable de cette moyenne ; cette erreur probable a été calculée suivant la méthode usitée en biométrie. Dans les trois lignes en dessous de l'erreur probable, j'ai indiqué par des croix si h moyen est : *a*) plus petit que l'erreur probable, *b*) plus grand que l'erreur probable et plus petit que le double de cette erreur, ou *c*) plus grand que le double de l'erreur probable. Dans la colonne des températures, j'ai indiqué

le nombre n des expériences ayant servi à calculer la moyenne de chaque groupe.

Lorsque les erreurs suivent la loi de Gauss, la théorie du calcul des probabilités montre qu'il y a une chance contre une que la vraie valeur d'une moyenne soit comprise entre la moyenne déterminée expérimentalement augmentée de l'erreur probable et cette moyenne diminuée de l'erreur probable.

Les chances pour que la vraie valeur soit comprise entre :

$\pm E$	sont de	1	contre	1
$\pm 2E$	»	4,5	»	1
$\pm 3E$	»	21	»	1
$\pm 4E$	»	142	»	1
$\pm 5E$	»	1310	»	1

Si nous comptons dans le tableau précédent combien de fois la valeur moyenne de h ne diffère de la valeur théorique, qui est zéro, que d'une quantité inférieure à $\pm Eh$, à $\pm 2Eh$, etc., nous pouvons former le tableau suivant :

$h < \pm Eh$	57 cas	contre	51
$h < \pm 2Eh$	85	»	23
$h < \pm 3Eh$	103	»	5
$h < \pm 4Eh$	108	»	0

Etablissons le rapport entre le nombre des cas où la valeur moyenne de h est comprise entre les limites données et le nombre des cas contraires et comparons ce quotient avec les valeurs théoriques données plus haut.

$h < \pm E$	57 : 51 =	1,1	: 1	au lieu de	1 : 1
$h < \pm 2E$	85 : 23 =	3,7	: 1	»	4,5 : 1
$h < \pm 3E$	103 : 5 =	20,6	: 1	»	21 : 1
$h < \pm 4E$	108 : 0 =	? > 108	: 1	»	142 : 1

On voit qu'il y a une concordance remarquable entre les valeurs théoriques de la probabilité et les résultats de l'expérience. Nous pouvons en tirer la conclusion suivante :

La nutation intervient comme une cause d'erreurs dans la détermination de la déviation du sommet d'une plante :

les erreurs qui en résultent suivent la loi générale des erreurs non systématiques. Une détermination de l'erreur probable des moyennes faite par les méthodes biométriques suffira donc pour nous donner une mesure de l'exactitude des résultats.

Ce résultat nous suffit pour l'interprétation des expériences sur le géotropisme ; mais il m'a semblé intéressant d'utiliser les nombreux chiffres qui sont à ma disposition pour étudier de plus près la nutation et son influence comme cause d'erreur.

Le problème que je me suis posé est le suivant : Nous venons de voir que l'on peut considérer le déplacement h dû à la nutation comme un caractère variable de la plante ; en biométrie, la variabilité a pour mesure l'index de variabilité σ . *Comment varie σ avec le temps écoulé depuis le début de l'expérience, avec la température et avec la longueur de la coléoptile de l'avoine ?*

Pour cela nous pourrions utiliser directement les chiffres donnés plus haut (tableau II) ; c'est ce que j'ai du reste fait pour calculer les erreurs probables de h moyen données dans le tableau ; mais nous pouvons faire mieux. Comme la plante est observée dans sa position verticale naturelle, elle ne subit aucune action, autre que la nutation, tendant à déplacer son sommet ; dans ces conditions il n'y a pas de raison pour commencer les lectures au cathétomètre à un moment plutôt qu'à un autre.

Nous pourrions donc, pour déterminer la variabilité de la déviation h pendant 5 minutes, utiliser toutes les lectures faites au cathétomètre pendant une heure ; pour cela nous noterons le déplacement de la plante pendant les intervalles de 5 minutes successifs, nous aurons ainsi 12 déterminations de cette déviation par expérience.

Nous pratiquerons de même pour les intervalles de 10, 15, 20... minutes ; nous disposerons ainsi de 11 valeurs de h pour les intervalles de 10 minutes, de 10 pour ceux

TABLEAU III

Nombres	TEMPS EN MINUTES												Température en degrés C.	Longueur en millim.
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60		
σ	0,055	0,086	0,110	0,130	0,143	0,142	0,146	0,137	0,142	0,165	0,193	0,511	15	15
E σ	0,003	0,005	0,007	0,009	0,011	0,011	0,013	0,014	0,015	0,020	0,029	0,108		
<i>h</i> moyen	-0,003	-0,002	-0,002	-0,004	-0,010	-0,010	-0,025	-0,016	-0,012	-0,007	-0,010	-0,010		
E <i>h</i>	0,005	0,008	0,011	0,013	0,015	0,016	0,018	0,018	0,021	0,029	0,041	0,154		
σ	0,071	0,114	0,141	0,155	0,160	0,162	0,160	0,148	0,127	0,103	0,083	0,083	15	25
E σ	0,004	0,007	0,009	0,011	0,012	0,013	0,014	0,014	0,014	0,012	0,013	0,013		
<i>h</i> moyen	0,010	0,025	0,050	0,078	0,100	0,121	0,147	0,160	0,178	0,167	0,140	0,140		
E <i>h</i>	0,006	0,010	0,013	0,015	0,017	0,018	0,020	0,020	0,020	0,018	0,018	0,018		
σ	0,095	0,138	0,185	0,219	0,257	0,289	0,309	0,315	0,286	0,295	0,278	0,238	18	15
E σ	0,004	0,007	0,010	0,012	0,015	0,017	0,020	0,022	0,023	0,027	0,031	0,041		
<i>h</i> moyen	0,001	-0,004	-0,006	-0,006	-0,009	-0,007	-0,003	-0,014	-0,024	-0,022	-0,014	0,011		
E <i>h</i>	0,006	0,009	0,014	0,016	0,021	0,025	0,028	0,032	0,033	0,038	0,046	0,054		
σ	0,079	0,103	0,137	0,167	0,201	0,215	0,255	0,277	0,306	0,320	0,337	0,343	18	20
E σ	0,003	0,004	0,005	0,007	0,008	0,009	0,012	0,014	0,018	0,021	0,028	0,033		
<i>h</i> moyen	0,004	0,010	0,015	0,022	0,029	0,037	0,044	0,046	0,046	0,051	0,051	0,041		
E <i>h</i>	0,004	0,005	0,007	0,009	0,012	0,013	0,017	0,020	0,025	0,030	0,039	0,056		

σ	0,082	0,134	0,183	0,237	0,281	0,325	0,370	0,407	0,444	0,476	0,477	18	25
$E\sigma$	0,002	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,015	0,023	0,023	0,028	0,034		
h moyen	0,005	0,008	0,011	0,022	0,025	0,031	0,042	0,038	0,047	0,050	0,047		
Eh	0,003	0,006	0,006	0,011	0,014	0,018	0,022	0,026	0,032	0,040	0,049		
σ	0,086	0,128	0,189	0,225	0,273	0,314	0,363	0,406	0,426	0,450	0,462	18	30
$E\sigma$	0,004	0,006	0,010	0,012	0,015	0,019	0,025	0,029	0,034	0,041	0,052		
h moyen	0,024	0,045	0,069	0,089	0,183	0,132	0,155	0,173	0,214	0,229	0,250		
Eh	0,006	0,009	0,014	0,017	0,021	0,026	0,033	0,041	0,048	0,058	0,074		
σ	0,095	0,151	0,204	0,257	0,308	0,353	0,392	0,431	0,459	0,489	0,496	21	20
$E\sigma$	0,003	0,005	0,008	0,010	0,013	0,015	0,019	0,022	0,027	0,033	0,041		
h moyen	0,002	0,005	0,009	0,009	0,011	-0,001	0,016	0,019	0,026	0,027	0,041		
Eh	0,004	0,007	0,011	0,014	0,018	0,022	0,026	0,032	0,038	0,046	0,057		
σ	0,090	0,136	0,182	0,224	0,274	0,319	0,366	0,386	0,418	0,449	0,478	21	25
$E\sigma$	0,004	0,006	0,009	0,011	0,015	0,018	0,023	0,026	0,032	0,039	0,051		
h moyen	0,017	0,034	0,046	0,058	0,072	0,084	0,096	0,115	0,140	0,153	0,180		
Eh	0,006	0,009	0,012	0,016	0,021	0,026	0,032	0,037	0,045	0,055	0,072		
σ	0,078	0,105	0,121	0,130	0,154	0,160	0,174	0,202	0,199	0,218	0,253	24	15
$E\sigma$	0,004	0,005	0,006	0,007	0,009	0,010	0,011	0,014	0,016	0,020	0,028		
h moyen	0,011	0,018	0,022	0,030	0,044	0,048	0,054	0,062	0,065	0,072	0,097		
Eh	0,005	0,007	0,009	0,010	0,012	0,014	0,016	0,020	0,023	0,028	0,040		
σ	0,092	0,139	0,164	0,157	0,210	0,227	0,236	0,257	0,260	0,291	0,295	24	20
$E\sigma$	0,004	0,006	0,007	0,007	0,010	0,011	0,013	0,015	0,017	0,022	0,028		
h moyen	0,002	0,018	0,028	0,040	0,052	0,069	0,082	0,088	0,091	0,091	0,098		
Eh	0,003	0,008	0,010	0,010	0,014	0,016	0,018	0,022	0,024	0,031	0,039		

de 15 minutes, de 9 pour ceux de 20 minutes, etc ; l'intervalle de 60 minutes seul ne fournira qu'une valeur de h .

Le tableau III donne la valeur de σ (en millimètres) et son erreur probable ainsi que la moyenne de la déviation h pour tous les groupes de longueur-température pour lesquels il existe des expériences.

Les erreurs probables ont été calculées par les formules ordinaires

$$Eh = \pm 0,6745 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$E\sigma = \pm 0,6745 \frac{\sigma}{\sqrt{2n}}$$

où σ est l'index de variabilité et n le nombre total de mensurations utilisées. Par exemple, si j'ai fait une série de dix expériences, j'ai 120 valeurs de la déviation h pendant un intervalle de 5 minutes. On peut se demander si dans ces conditions on doit prendre $n = 120$ ou $n = 10$. A priori, on peut prévoir que l'erreur probable réelle sera intermédiaire entre les erreurs calculées en prenant $n = 120$ et $n = 10$. En effet, en tenant compte de toutes les déviations mesurées, on diminue l'influence que pourrait avoir la phase de la nutation ; par conséquent, l'erreur probable doit donc être moindre que si l'on n'avait tenu compte que d'une mensuration par plante ; d'autre part, comme chaque plante est représentée par 12 mesures, on peut s'attendre à trouver une certaine parenté entre ces résultats, parce que chaque plante a son allure de nutation en propre ; pour cette raison, l'erreur probable sera plus forte que si l'on avait réellement affaire à 120 plantes différentes.

Il est facile de vérifier le fait en comptant dans le tableau précédent le nombre de fois où la différence entre la moyenne calculée de h et sa vraie valeur donnée par les conditions de l'expérience, c'est-à-dire zéro, est plus petite que 1 fois, 2 fois, 3 fois, 4 fois... l'erreur probable.

Le tableau IV donne pour chaque intervalle de 5 minutes le rapport du nombre des cas où la valeur absolue de h moyen est plus petite que tel multiple de l'erreur probable Eh au nombre de cas où h moyen est supérieur au même multiple. Par exemple, 7 : 3 veut dire qu'il y a 7 valeurs de h moyen inférieures à un multiple donné de Eh contre 3 qui sont supérieures à cette valeur.

TABLEAU IV

N ^o	TEMPS EN MINUTES										
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
$h < E$	5:5	3:7	3:7	3:7	3:7	3:7	2:8	3:7	3:7	3:7	4:6
$h < 2E$	7:3	5:5	4:6	4:6	4:6	4:6	4:6	4:6	5:5	5:5	5:5
$h < 3E$	9:1	8:2	7:3	6:4	5:5	5:5	6:4	5:5	6:4	8:2	8:2
$h < 4E$	10:0	9:1	9:1	8:2	8:2	7:3	7:3	8:2	8:2	9:1	9:1
$h < 5E$	..	10:0	10:0	8:2	8:2	8:2	9:1	9:1	9:1	9:1	9:1
$h < 6E$	..	..	..	10:0	9:1	9:1	9:1	9:1	9:1	9:1	9:1
$h < 7E$	..	..	..	..	9:1	10:0	9:1	9:1	9:1	9:1	9:1
$h < 8E$	..	..	..	..	9:1	..	10:0	10:0	9:1	9:1	10:0
$h < 9E$	..	..	..	..	10:0	..	..	..	10:0	9:1	..
$h < 10E$	..	..	..	..	..	..	..	..	..	10:0	..

On sait qu'il y a autant de chances pour que la vraie valeur de h soit comprise entre la moyenne + l'erreur probable et la moyenne - l'erreur probable ou qu'elle soit située en dehors de ces limites ; par conséquent lorsqu'on aura une moyenne de 10 chiffres, comme c'est le cas dans le tableau ci-dessus, le rapport du nombre des cas où la valeur de la moyenne sera dans les limites de l'erreur probable à celui des cas contraires sera 5 : 5 ; dans le tableau on voit que le rapport 5 : 5 se trouve réalisé pour $h < E$ pour les mesures faites à 5 minutes d'intervalle, pour $h < 2E$ pour les intervalles de 10, 45, 50 et 55 minutes. Enfin pour $h < 3E$ pour les périodes de 15, 20, 25, 30, 35 et 40 minutes.

Dans le cas des intervalles de 5 minutes, le nombre des cas (5 : 5) compris entre + et - E est celui prévu par la

théorie ; pour les intervalles suivants, on voit que l'erreur probable déduite des résultats expérimentaux augmente assez régulièrement jusqu'à atteindre 3 fois l'erreur probable calculée puis diminue de nouveau.

Théoriquement, ce résultat est assez surprenant ; on aurait pu s'attendre à voir, pour les intervalles de 5 minutes, l'erreur probable observée être beaucoup plus grande que l'erreur probable calculée ; en effet, pour les intervalles de 5 minutes, le nombre de valeurs de h servant à calculer la moyenne est 11 fois plus grand que le nombre des plantes. Pour les intervalles suivants, on aurait prévu une diminution régulière de la différence entre les erreurs probables théoriques et empiriques jusqu'à l'intervalle de 60 minutes où les deux se confondraient.

Cette discordance s'explique probablement par le fait que les intervalles de 5 minutes et un peu ceux de 10 et de 15 minutes coupent la période de nutation en petits tronçons, de sorte que la périodicité de la plante intervient moins que pour les intervalles de temps voisins de la période de nutation. Pendant ces intervalles de 5, 10 et 15 minutes, les déviations sont très faibles et voisines des erreurs de lecture au cathétomètre, de sorte que ces erreurs, qui suivent rigoureusement la loi de Gauss, en se superposant aux écarts dus à la nutation, interviennent sûrement aussi pour donner ce résultat.

Il est évident que le même phénomène se retrouvera pour l'erreur probable de l'index de variabilité ; il faudra donc tenir compte de ce fait que pour les intervalles de 10 à 55 minutes l'erreur probable de σ sera plus grande que l'erreur probable calculée.

Le graphique (fig. 4) donne la courbe des index de variabilité de la déviation h observée après les différents intervalles de temps, et cela pour toutes les catégories température-longueur. De part et d'autre de chacune des valeurs de σ , j'ai porté le double de l'erreur probable calculée ;

théoriquement, on aurait 4,5 chances contre 1 que la vraie valeur de σ sera bien comprise entre ces deux valeurs ; mais d'après ce que nous venons de voir, le nombre des chances favorables sera moindre en réalité. Quoique les courbes représentées présentent des irrégularités dues au petit nombre des expériences dans certains groupes (tem-

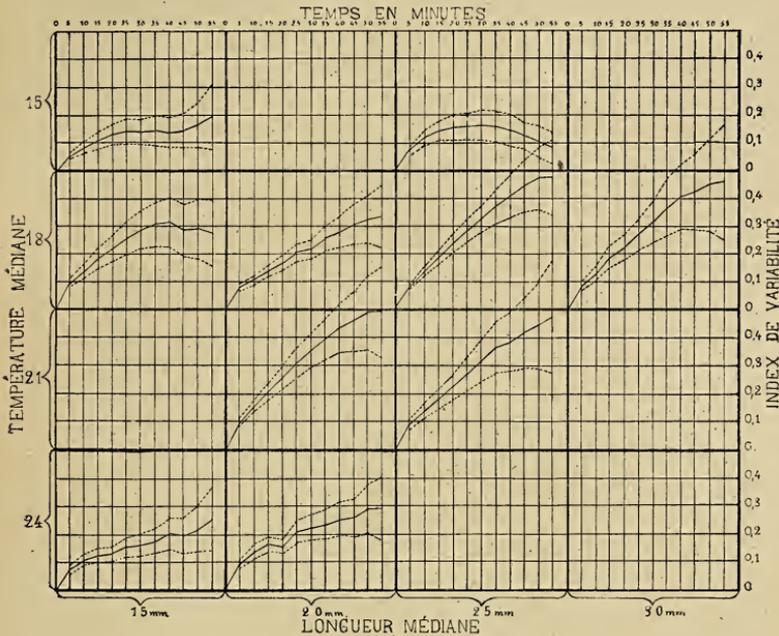


Fig. 4.

pérature-longueur), on voit cependant que toutes ces courbes se rapprochent d'un même type, qui partant de l'origine s'élève d'abord assez rapidement, puis tend de plus en plus vers l'horizontale ; on voit nettement que la courbe est asymptotique à l'axe des temps. La variabilité de h due à la nutation tend donc vers une limite. On aurait pu prévoir le fait, puisque la nutation est un phénomène périodique. Si les expériences avaient duré plus d'une heure,

TABLEAU V

Numéros	TEMPS EN MINUTES											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
-1,0						0,10	0,11	0,13				
-0,9					0,08	0,19	0,22	0,40	0,50	1,10	0,33	1,33
-0,8					0,08	0,29	0,44	0,53	1,17	0,89	1,33	1,33
-0,7				0,15	0,17	0,38	0,56	1,07	1,00	1,56	1,00	1,33
-0,6		0,13	0,29	0,75	1,14	1,14	1,67	1,87	2,00	1,56	2,33	2,67
-0,5	0,06	0,47	0,89	1,92	2,19	2,19	2,11	2,13	2,17	3,11	4,00	4,00
-0,4	0,06	0,42	1,47	2,81	2,42	2,86	3,89	5,07	5,17	4,67	3,67	3,33
-0,3	0,56	2,18	3,87	4,29	6,00	6,76	6,33	5,33	4,83	5,56	5,00	4,67
-0,2	3,33	7,69	8,73	10,37	10,50	9,62	9,33	8,27	9,33	8,00	7,67	8,67
-0,1	19,89	20,18	19,13	16,74	14,42	14,57	14,33	14,93	13,33	12,67	12,33	13,33
0	48,56	34,67	20,60	24,96	22,58	20,29	17,89	17,20	16,67	16,44	16,33	14,67
0,1	22,56	20,79	17,33	15,79	15,17	12,95	13,44	12,00	11,33	10,89	11,67	10,00
0,2	4,33	9,94	10,80	10,29	9,17	9,62	9,11	8,80	9,50	10,22	7,67	10,00
0,3	0,50	2,61	5,93	6,37	7,17	7,81	6,22	6,40	5,87	4,89	7,00	6,00
0,4	0,11	0,79	2,13	3,56	3,42	4,24	5,22	4,53	5,17	4,44	4,67	4,67
0,5	0,06	0,36	0,73	1,56	2,42	2,29	1,89	2,93	2,33	4,22	2,33	2,67
0,6			0,40	1,11	1,67	2,01	1,89	2,40	4,83	1,56	3,67	2,00
0,7			0,20	0,59	0,91	1,52	2,56	1,60	1,83	2,89	2,00	2,67
0,8			0,07	0,15	0,91	0,76	0,78	1,87	1,50	1,33	1,67	2,00
0,9				0,07	0,33	0,76	0,78	0,80	1,17	1,10	1,33	1,33
1,0						0,29	0,67	0,40	0,50	1,10	0,67	0,67
1,1						0,19	0,33	0,67	0,33	0,44	1,00	0,67
1,2							0,11	0,27	0,17	0,22		0,67
1,3							0,11	0,27	0,17	0,44	0,67	
1,4								0,27	0,33			
1,5								0,13	0,17	0,22		
1,6								0,17	0,17	0,22		
1,7										0,22		0,67
											0,67	0,67

on verrait probablement se produire une inflexion de la courbe vers l'axe des temps au bout de 100 minutes environ, puis on verrait la courbe remonter et s'abaisser toutes les 100 minutes; en effet, la demi-période moyenne de la nutation de l'avoine est d'environ 100 minutes.

Le graphique (fig. 4) montre que la variabilité de h , mesure de la nutation, croît avec la température et avec la longueur de la plante.

Pour avoir une idée plus nette de l'allure de la courbe de variabilité de h en fonction du temps, j'ai réuni toutes les mensurations effectuées (150) avec la plante observée verticalement, en utilisant les déviations h pendant tous les intervalles de temps.

Le tableau V donne la fréquence des différentes déviations observées en pour cent de la fréquence totale pour tous les intervalles de temps, de cinq en cinq minutes, de 5 à 60.

Le stéréogramme (fig. 5) donne une idée nette de la variation de la variabilité de h en fonction du temps. Sur trois axes de coordonnées perpendiculaires les uns aux autres et représentés en perspective cavalière, j'ai porté respectivement les temps en minutes (axe des x), les déviations h (axe des y) et les fréquences (axe des z). Je peux ainsi représenter les polygones de variation de la déviation h après les intervalles de temps de 5 en 5 minutes. Tous ces polygones ont la même surface; on voit que plus les intervalles de temps croissent plus la courbe s'affaisse. Si l'on considère les ordonnées maxima de chacun de ces polygones, on constate qu'elles sont toutes placées sur la déviation $h = 0$, et qu'elles s'abaissent au fur et à mesure que les intervalles de temps sont plus longs; la courbe passant par les ordonnées maxima se rapproche asymptotiquement d'une droite parallèle à l'axe des temps. On voit également que les polygones sont symétriques par rapport à l'ordonnée maximum, et cela doit bien être puis-

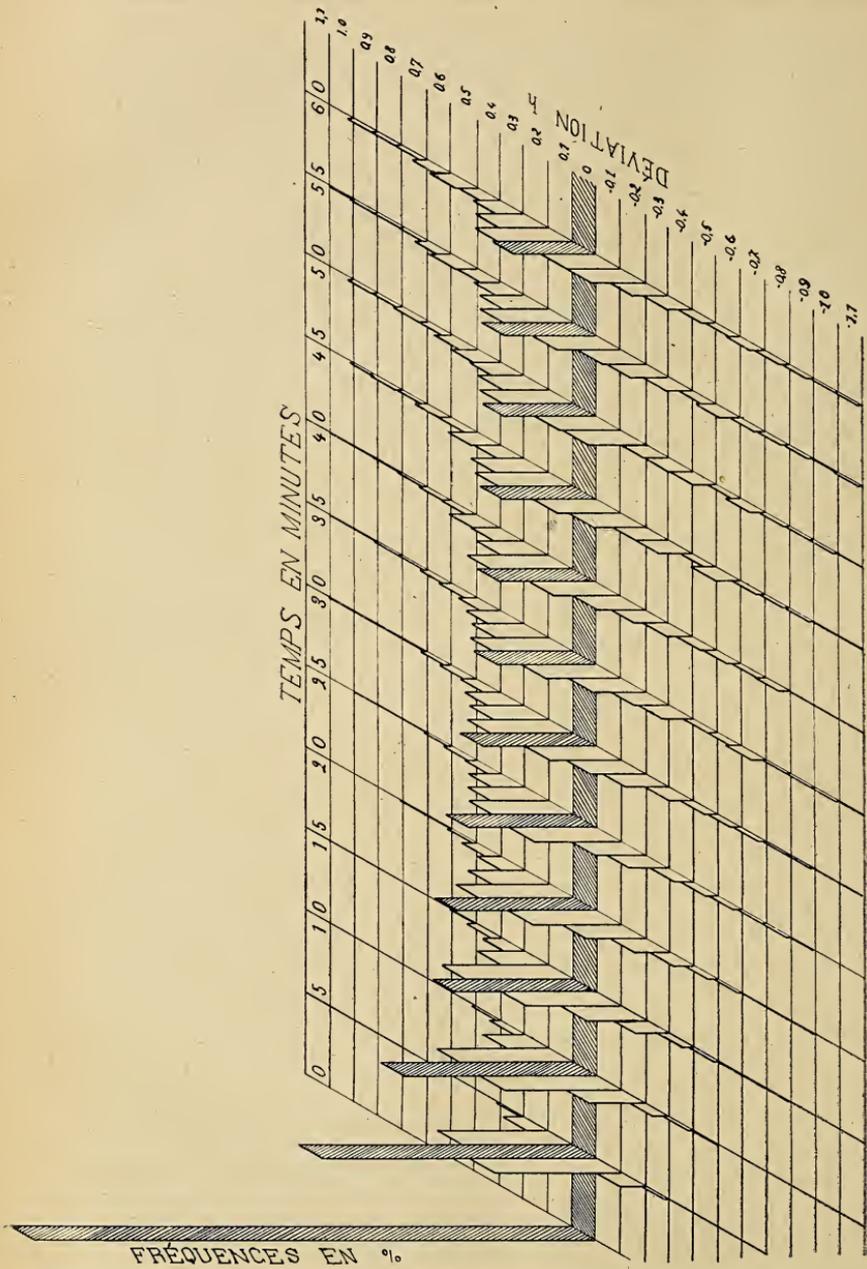


Fig. 5.

qu'il n'y a pas plus de raison pour qu'une plante se courbe à gauche plutôt qu'à droite ; cette symétrie montre que les expériences ont été correctement faites et qu'il n'y a pas eu intervention de cause d'erreurs systématiques. On pourra donc avoir confiance dans les expériences géotropiques effectuées avec le même appareil.

On peut remplacer les polygones de variation qui expriment les résultats bruts de l'expérience par les courbes de variation en utilisant les méthodes biométriques. Ces courbes sont complètement déterminées si l'on connaît l'index de variabilité σ et leur surface (fréquence totale). Lorsqu'on connaît σ , on peut calculer les ordonnées (fréquences) correspondant à chacune des déviations h , en particulier l'ordonnée maximum qui est donnée par

$$h_0 = \frac{n}{\sigma \sqrt{2\pi}}$$

où n est le nombre total des cas envisagés (pour nous $n = 100$).

Le tableau VI donne la valeur de σ et de h_0 pour tous les intervalles de temps de 0 à 60 minutes. Remarquons que dans le polygone nous avons 100 % des individus ayant une déviation nulle au temps 0 ; la hauteur du rectangle était donc de 100 ; si nous calculons la courbe théorique correspondant au temps zéro par la formule ci-dessus, comme les déviations sont toutes nulles par définition, il n'y a pas de variabilité, l'index σ est donc nul et $h_0 = \infty$; la surface de variabilité se réduit à une droite de longueur infinie.

TABLEAU VI

		TEMPS EN MINUTES												
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
σ	0	0,09	0,14	0,18	0,22	0,25	0,29	0,32	0,36	0,39	0,40	0,42	0,43	
h	∞	42,4	29,1	22,3	18,4	16,2	13,7	12,4	11,1	10,2	9,9	9,5	9,2	

La figure 6 montre d'une manière plus parlante l'allure de la courbe des ordonnées maxima.

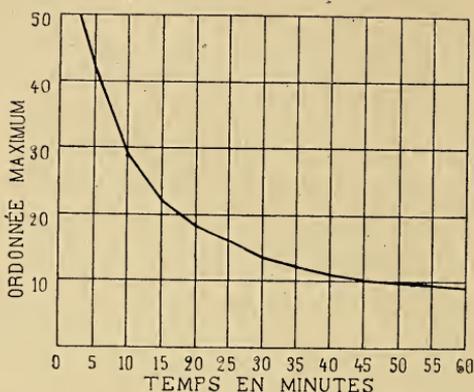


Fig. 6.

Cette courbe ressemble à une hyperbole équilatère rapportée à ses asymptotes et dont l'axe des x serait parallèle à l'axe des temps ; en appliquant la méthode des moindres carrés, en partant de la supposition que c'est bien une hyperbole équilatère, nous arrivons à une courbe qui diffère sensiblement de la courbe empirique. Ce fait est dû très certainement à la périodicité de la nutation qui intervient. La demi-période de nutation de l'avoine est d'environ 100 minutes ; si nos expériences avaient duré plus d'une heure nous verrions probablement la courbe des ordonnées maxima s'infléchir vers l'axe des temps dans le voisinage de 100 minutes pour s'en éloigner de nouveau et recommencer toutes les 100 minutes environ. La courbe sera très probablement une combinaison d'une hyperbole équilatère et d'une courbe périodique. On peut prévoir également que les ondulations de la courbe iront en s'atténuant avec les temps croissant. Des expériences pour déterminer la période de nutation sont en cours à l'heure actuelle (août-septembre 1912).

Ce que nous venons de dire s'applique au cas où la plante

est observée dans sa position verticale normale ; voyons maintenant ce qui se passe quand la plante est soumise à l'influence du géotropisme.

Si nous plaçons une série de plantes d'avoine horizontalement et si nous mesurons les déviations h de son extrémité, de 5 en 5 minutes, nous pourrons, en groupant les déviations h au bout de chaque intervalle de temps dessiner les polygones de variation correspondants et calculer l'index de variabilité σ de h . Si les seules causes d'erreurs étaient la nutation et les erreurs de lectures, les valeurs de σ seraient les mêmes, dans les limites de l'erreur probable de σ , pour les catégories température-longueur correspondantes que lorsque les plantes ont été observées verticalement.

En examinant le tableau VII (page 447), donnant les valeurs de σ , pour les plantes placées horizontalement pendant toute la durée de l'expérience ainsi que le graphique fig. 7 (page 455) et le stéréogramme fig. 8 (page 457), on voit immédiatement que la variabilité est beaucoup plus grande que lorsque les plantes sont observées verticalement.

Une nouvelle cause de variabilité intervient donc, c'est la variabilité géotropique. En effet, toutes les plantes en expérience ne sont pas également sensibles et aptes à réagir ; l'allure du mouvement de l'extrémité dû au géotropisme de la plante sera donc variable.

On peut s'attendre à ce que le plus grand nombre des plantes aient une sensibilité et une capacité de réaction moyennes et que plus les plantes s'écartent de cette moyenne, moins elles seront nombreuses ; autrement dit, il est très probable que la sensibilité et la capacité de réaction suivront la loi de Gauss.

Si c'est bien le cas, les courbes de variation des déviations des plantes observées horizontalement seront des courbes normales. Il en est bien réellement ainsi, au

moins pendant la première demi-heure d'expérience ; plus tard interviennent d'autres causes d'erreur (voir le stéréogramme fig. 8, page 457).

La variabilité de h due au géotropisme vient se superposer à la variabilité due à la nutation et contribuer à augmenter les erreurs probables ; celles-ci malgré tout obéissent à la loi de Gauss.

Quoique cette étude de la nutation et de son influence sur l'interprétation des expériences sur le géotropisme soit loin d'être complète, elle a cependant donné un résultat, en démontrant que dans les conditions de mes expériences sur le géotropisme, les erreurs dues à la nutation se laissent traiter comme les erreurs fortuites et non systématiques.

Réaction géotropique des plantes d'avoine placées horizontalement pendant toute la durée de l'expérience.

Dans mon travail de 1910¹, j'ai montré qu'une plante d'avoine placée horizontalement effectue une courbure vers le bas d'abord, puis vers le haut, que la courbe représentant ce phénomène est assez exactement une parabole de la forme

$$h = at + bt^2$$

où h est le déplacement de l'extrémité de la plante et a et b sont des quantités variables avec la température de l'expérience et la longueur de la plante ; j'ai montré que a est une mesure de la courbure vers le bas et que b est de la nature d'une accélération qui mesure la capacité géotropique de la plante, j'ai énoncé la loi : La vitesse de la courbure géotropique est proportionnelle au temps pendant lequel la pesanteur a agi sur la plante.

Dans le calcul de a et de b , je n'avais pas tenu compte du poids² des valeurs de h moyen ; c'est pourquoi j'ai

¹ Bull. Soc. vaud. Sc. nat. p. XLVI, p. 235 et 415.

² Voir page 449.

TABLEAU VII. — Déviation h de l'extrémité d'une plante d'avoine placé à 90° de sa position normale et observée au cathétomètre dans cette position.

Numéros	TEMPS EN MINUTES											Température en degrés C.	Longueur en millim.	
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55			60
604	0,0	0,0	-0,1	-0,05	0,0	0,1	0,25	0,4	0,55	0,75	0,95	1,1	24	15
606	-0,1	-0,2	-0,05	0,0	0,2	0,3	0,45	0,5	0,6	0,9	1,2	1,5	24	16
607	0,05	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,15	0,3	0,5	0,6	0,8	0,95	1,15	24	17
605	-0,1	-0,25	-0,25	-0,25	-0,3	-0,3	-0,15	0,0	0,2	0,45	0,65	0,9	24	22
623	0,0	0,05	0,05	0,15	0,15	0,25	0,25	0,35	0,55	0,85	1,15	1,45	24	22
625	0,0	0,05	0,05	0,05	0,05	0,1	0,3	0,35	0,35	0,5	0,7	0,9	24	26
611	-0,6	-1,55	-2,1	-2,6	-2,8	-2,65	-2,4	-2,3	-2,2	-2,1	-1,95	-1,8	24	27
626	-0,2	-0,3	-0,2	0,0	0,25	0,45	0,9	1,15	1,4	1,9	2,4	2,9	24	29
612	0,1	0,1	0,0	0,05	0,4	1,4	1,8	2,5	3,35	4,3	5,15	5,8	24	30
622	0,0	0,2	0,25	0,4	0,7	0,9	1,0	1,2	1,7	2,0	2,3	2,7	24	32
624	-0,4	-0,45	-0,5	-0,45	-0,3	-0,25	0,1	0,3	0,55	0,85	1,25	1,75	24	34
614	-0,3	-0,4	-0,55	-0,7	-0,7	-0,8	-0,5	-0,15	0,4	1,1	1,8	2,5	24	38
619	-0,6	-0,55	-0,45	-0,45	-0,55	-0,35	0,5	0,65	0,7	0,9	1,3	1,8	24	43
621	-0,05	-0,1	0,0	-0,05	0,05	0,25	0,5	0,7	0,9	1,1	1,15	1,4	25	12
610	0,1	0,1	0,05	0,05	0,15	0,3	0,6	1,0	1,35	1,85	2,35	2,75	25	14
616	0,0	0,0	0,0	-0,05	0,15	0,35	0,65	1,0	1,35	1,8	2,25	2,65	25	14
601	0,05	-0,05	-0,15	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1	0,2	0,45	0,75	1,2	1,6	25	15
602	0,05	0,1	0,2	0,25	0,35	0,45	0,6	0,7	0,85	1,1	1,25	1,4	25	15
620	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,4	0,6	0,9	1,1	1,4	25	16
635	-0,05	-0,1	-0,1	-0,1	0,1	0,3	0,5	0,75	1,05	1,3	1,8	2,05	25	16
603	0,1	0,1	0,1	0,15	0,2	0,35	0,6	1,0	1,35	1,85	2,25	2,6	25	17
627	-0,15	-0,2	0,0	0,1	0,0	0,1	0,3	0,45	0,9	1,1	1,4	1,8	25	17
629	-0,1	-0,2	-0,15	0,0	0,1	0,2	0,4	0,7	1,0	1,5	1,8	2,3	25	17
632	0,0	-0,05	-0,15	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,1	0,3	0,4	0,6	0,75	25	18
636	-0,1	-0,1	0,005	0,1	0,2	0,4	0,7	1,0	1,3	1,6	1,8	2,25	25	18
628	-0,1	-0,2	-0,2	-0,05	0,1	0,2	0,45	0,9	1,3	1,8	2,2	2,6	25	19
638	-0,1	-0,1	-0,1	0,05	0,15	0,5	0,7	1,0	1,3	1,6	2,05	2,5	25	19
649	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,65	1,0	1,4	1,7	2,1	2,4	2,8	25	19
608	0,1	-0,05	-0,05	-0,1	0,0	0,2	0,4	0,75	1,1	1,6	2,15	2,7	25	20
648	-0,4	-0,8	-1,1	-1,25	-1,4	-1,45	-1,3	-1,0	-0,8	-0,45	-0,2	-0,1	25	25
609	-0,1	-0,2	-0,1	0,0	0,1	0,25	0,5	0,75	1,1	1,6	2,3	3,0	25	21

TABLEAU VII (suite).

Nombres	TEMPS EN MINUTES										Température en degrés C.	Longueur en millim.		
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50			55	60
613	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,4	-0,3	-0,05	0,3	0,95	1,45	2,2	2,8	25	21
637	0,0	0,05	0,1	0,1	0,3	0,5	0,95	1,35	1,75	2,3	2,7	3,1	25	21
618	-0,05	-0,1	0,0	0,1	0,1	0,2	0,35	0,6	0,8	0,8	1,2	1,4	25	21
633	0,0	-0,05	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,15	0,0	0,2	0,4	0,7	25	22
630	0,05	0,1	0,2	0,3	0,6	1,0	1,5	1,85	2,3	2,75	3,2	3,8	25	23
634	0,3	0,2	-0,25	0,3	-0,2	0,05	0,5	0,5	0,85	1,2	1,5	2,1	25	30
615	-0,2	0,15	0,5	0,8	1,1	1,7	2,15	2,5	3,1	3,6	3,9	4,4	25	36
617	-0,25	-0,05	0,1	0,1	0,05	0,2	0,45	0,6	0,65	0,95	1,25	1,65	25	38
631	-1,0	-1,1	-1,1	-1,15	-0,9	-0,5	-0,2	0,35	0,8	1,4	1,7	1,9	25	42
680	-0,1	-0,2	-0,2	-0,1	0,1	0,3	0,8	1,1	1,5	1,95	2,4	2,75	26	13
641	0,05	0,1	0,15	0,25	0,25	0,35	0,35	0,45	0,55	0,65	0,75	0,95	26	14
640	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,1	0,2	0,3	0,35	0,5	0,6	0,8	26	16
642	0,0	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,1	0,2	0,3	0,55	0,8	1,0	1,35	26	18
639	0,1	0,1	0,1	0,2	0,4	0,6	0,9	1,2	1,65	2,15	2,8	3,15	26	21
679	0,0	0,0	0,0	0,05	0,2	0,25	0,5	0,8	1,1	1,45	1,8	2,2	26	22
657	0,0	0,0	0,05	0,1	0,1	0,1	0,25	0,5	1,2	1,7	2,4	3,0	26	24
662	0,05	-0,05	-0,15	-0,2	-0,25	-0,15	0,1	0,15	0,35	0,55	0,95	1,45	26	25
656	-0,1	0,0	-0,25	-0,2	0,0	0,3	0,75	1,15	1,55	2,15	2,7	3,35	26	26
664	-0,1	0,1	0,15	0,1	0,1	0,35	0,6	0,8	1,15	1,5	2,1	2,6	26	28
663	-0,1	0,0	0,1	0,05	0,15	0,4	0,8	1,1	1,35	1,7	2,1	2,4	26	31
647	-0,3	-0,7	-0,6	-0,9	-0,8	-0,5	-0,3	-0,2	0,2	0,55	1,0	1,45	26	39
684	0,05	0,0	-0,05	0,05	0,35	0,6	0,8	1,15	1,3	1,6	1,9	2,3	27	14
696	0,0	-0,1	-0,15	0,0	0,1	0,3	0,5	0,65	0,9	1,3	1,5	1,9	27	14
697	0,0	0,05	0,1	0,2	0,2	0,25	0,35	0,5	0,65	0,8	1,1	1,3	27	14
698	0,0	0,2	0,1	0,2	0,5	0,7	0,95	1,3	1,7	2,15	2,45	2,8	27	14
688	0,05	0,05	0,05	0,15	0,25	0,5	0,75	1,0	1,2	1,45	1,8	2,0	27	15
653	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	1,25	1,4	1,8	2,1	2,5	27	16
654	-0,05	-0,05	-0,2	-0,25	-0,3	-0,4	-0,35	-0,3	-0,25	-0,2	-0,1	-0,05	27	16
644	0,0	-0,2	-0,45	-0,6	-0,7	-0,65	-0,45	0,0	0,4	0,8	1,3	1,7	27	17
650	0,0	-0,05	0,0	0,05	0,35	0,55	0,95	1,55	2,0	2,35	2,65	3,1	27	17
659	-0,1	-0,1	-0,15	-0,1	0,1	0,35	0,55	0,9	1,2	1,5	1,7	2,0	27	17

687	-0,05	0,0	0,05	0,1	0,2	0,35	0,6	0,8	1,1	1,1	1,1	1,6	1,9	18
652	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,35	0,4	0,65	1,0	1,0	1,4	1,6	1,95	27
682	-0,15	-0,1	0,0	0,15	0,25	0,45	0,75	0,95	1,35	1,65	2,05	2,25	2,25	19
685	-0,1	0,0	0,0	-0,05	-0,05	-0,1	-0,1	-0,05	0,1	0,3	0,5	0,9	0,9	19
686	0,0	0,0	0,15	-0,05	-0,2	-0,1	0,05	0,3	0,5	0,8	1,15	1,7	1,7	19
691	0,0	0,0	0,1	0,2	0,4	0,65	1,0	1,5	2,0	2,4	2,8	3,1	3,1	19
695	-0,1	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,35	0,75	1,1	1,4	1,8	2,15	2,6	2,6	19
651	-0,1	0,0	-0,05	0,0	0,1	0,3	0,5	0,8	1,1	1,4	1,75	2,0	2,0	21
692	0,1	0,15	0,15	0,4	0,6	1,0	1,35	2,0	2,3	2,6	3,05	3,45	3,45	22
693	0,15	0,3	0,5	0,75	1,0	1,3	1,65	2,0	2,3	2,6	3,05	3,45	3,45	22
646	-0,05	-0,1	0,1	0,15	0,25	0,35	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	1,5	22
667	0,0	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,6	0,9	1,3	1,6	2,0	2,4	2,4	24
669	0,05	0,05	0,1	0,15	0,15	0,25	0,45	0,8	1,15	1,6	1,8	2,1	2,1	24
678	-0,3	-0,4	-0,3	-0,25	-0,05	0,1	0,4	1,0	1,55	2,25	2,8	3,25	3,25	24
681	-0,15	-0,1	-0,05	-0,15	0,0	0,35	0,6	0,95	1,35	1,85	2,55	3,15	3,15	24
655	-0,2	0,1	0,3	0,5	0,6	1,0	1,45	1,8	2,2	2,6	3,1	3,5	3,5	24
645	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,4	0,7	1,0	1,25	1,65	2,0	2,0	25
668	-0,2	-0,3	-0,4	-0,5	-0,4	-0,2	0,1	0,3	0,55	0,8	1,1	1,4	1,4	25
671	-0,1	-0,1	0,0	0,05	0,0	0,1	0,15	0,2	0,25	0,35	0,5	0,85	0,85	25
683	-0,1	-0,1	0,0	0,15	0,25	0,5	0,9	1,2	1,6	2,1	2,65	3,1	3,1	25
690	-0,15	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,1	0,4	0,9	1,15	1,7	2,2	2,45	2,45	25
694	-0,25	-0,45	-0,45	-0,35	-0,25	-0,45	-0,45	-0,25	-0,05	0,2	0,35	0,55	0,55	25
658	-0,1	-0,15	-0,25	-0,25	-0,25	-0,1	0,2	0,6	0,9	1,1	1,45	1,9	1,9	25
700	-0,2	-0,3	-0,2	-0,15	0,0	0,2	0,5	0,75	1,2	1,6	2,1	2,55	2,55	26
689	0,0	0,1	0,0	0,1	0,25	0,5	0,8	1,0	1,3	1,7	2,2	2,55	2,55	27
665	-0,05	0,1	0,35	0,4	0,6	0,85	1,4	1,8	2,3	2,8	3,35	4,1	4,1	27
672	-0,1	0,1	0,2	0,4	0,6	0,85	1,1	1,6	2,1	2,7	3,2	3,8	3,8	28
675	-0,2	-0,35	-0,4	-0,3	-0,1	0,15	0,6	0,9	1,3	1,9	2,2	2,65	2,65	28
643	-0,15	-0,1	-0,2	-0,1	0,1	0,5	0,9	1,5	2,1	2,6	3,1	3,6	3,6	29
673	-0,1	0,0	0,0	0,05	0,35	0,7	1,15	1,45	1,9	2,45	2,8	3,15	3,15	30
677	0,0	0,3	0,4	0,45	0,6	0,8	1,05	1,5	1,8	2,4	2,7	3,4	3,4	30
666	-0,2	-0,1	-0,2	-0,35	-0,5	-0,2	-0,1	0,0	0,1	0,4	0,55	0,95	0,95	22
660	-0,2	-0,15	0,0	0,05	0,15	0,3	0,5	0,8	1,0	1,3	1,6	1,9	1,9	23
661	-0,05	-0,05	0,0	0,0	0,1	0,2	0,45	0,7	0,9	1,2	1,4	1,65	1,65	23
699	-0,15	-0,05	0,05	0,15	0,35	0,55	0,85	1,25	1,65	2,15	2,55	3,0	3,0	23
674	-0,5	-0,7	-0,6	-0,3	-0,9	-0,3	-0,6	-0,55	-0,5	-0,2	0,0	0,2	0,2	36
676	-0,7	-0,3	-0,3	-0,35	-0,15	0,2	0,25	0,5	0,6	1,2	1,55	2,0	2,0	36
670	-0,3	-0,4	-0,35	-0,5	-0,6	-0,7	-0,6	-0,35	0,0	0,3	0,6	1,0	1,0	39

repris les calculs des résultats d'expériences afin d'obtenir les valeurs de a et de b les plus probables.

Afin de voir si, avec mon appareil modifié, j'obtenais des résultats analogues à ceux de 1910, j'ai fait une nouvelle série de 100 expériences dont je donne les protocoles ci-dessous (tableau VII). Ces expériences viennent compléter heureusement la première série en ce sens qu'elles ont été faites à des températures comprises entre 24° et 28° C, tandis que les précédentes avaient été faites entre 15° et 24°. Cette série, portant les n^{os} 601 à 700, a été commencée le 11 juillet 1911 et terminée le 1^{er} août.

L'arrangement du tableau VII est un peu différent de celui de mon précédent travail; j'ai donné toutes les expériences à la suite les unes des autres en les classant d'après la température et dans chacune des températures d'après la longueur de la plante.

Les températures ont été lues toutes les 5 minutes au $\frac{1}{10}$ de degré près; puis la température moyenne a été calculée; la température donnée dans le tableau est exprimée par le nombre entier de degrés le plus voisin de cette moyenne; par exemple, 17° signifie que la moyenne est comprise entre 16°,5 et 17°,5.

Dans mon *Etude sur la réaction géotropique*, les tableaux donnaient la valeur

$$x = \frac{10 h}{l}$$

où l est la longueur de la plante en millimètres; x est donc la déviation de l'extrémité de la plante ramenée à ce qu'elle serait si la plante avait 10 mm. J'ai trouvé plus simple de donner directement la déviation h observée et d'effectuer les calculs sur ces chiffres et de transformer les résultats seuls.

Les expériences ont été groupées pour les calculs en comprenant dans une catégorie toutes celles faites à la même température avec des plantes de même longueur; pour

TABLEAU VIII

		TEMPS EN MINUTES										Température en degrés C.	Longueur en millim.
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50			55	60
σ	0,033	0,064	0,086	0,092	0,125	0,153	0,173	0,183	0,246	0,303	0,342	0,399	15
E _σ	± 0,004	± 0,008	± 0,011	± 0,011	± 0,015	± 0,018	± 0,021	± 0,022	± 0,031	± 0,037	± 0,042	± 0,049	
h moyen	- 0,010	- 0,022	- 0,010	0,005	0,015	0,016	0,022	0,034	0,105	0,185	0,306	0,427	
E _h	± 0,006	± 0,011	± 0,015	± 0,016	± 0,022	± 0,027	± 0,030	± 0,031	± 0,043	± 0,052	± 0,059	± 0,069	n = 15
σ	0,124	0,130	0,164	0,180	0,212	0,230	0,250	0,250	0,244	0,258	0,336	0,414	15
E _σ	± 0,014	± 0,015	± 0,019	± 0,021	± 0,025	± 0,027	± 0,030	± 0,030	± 0,029	± 0,031	± 0,040	± 0,049	
h moyen	0,000	0,026	0,032	0,056	0,070	0,086	0,086	0,134	0,179	0,278	0,404	0,472	
E _h	± 0,021	± 0,023	± 0,027	± 0,030	± 0,035	± 0,039	± 0,042	± 0,042	± 0,041	± 0,044	± 0,057	± 0,069	n = 16
σ	0,133	0,233	0,223	0,277	0,325	0,393	0,503	0,503	0,570	0,588	0,688	0,733	15
E _σ	± 0,018	± 0,032	± 0,030	± 0,038	± 0,044	± 0,054	± 0,069	± 0,069	± 0,078	± 0,081	± 0,095	± 0,101	
h moyen	- 0,100	- 0,123	- 0,151	- 0,160	- 0,170	- 0,156	- 0,122	- 0,108	- 0,071	0,017	0,129	0,269	
E _h	± 0,025	± 0,045	± 0,043	± 0,054	± 0,062	± 0,076	± 0,098	± 0,098	± 0,111	± 0,115	± 0,134	± 0,142	n = 12
σ	0,124	0,192	0,180	0,215	0,242	0,243	0,299	0,338	0,374	0,428	0,464	0,518	15
E _σ	± 0,008	± 0,015	± 0,014	± 0,017	± 0,019	± 0,019	± 0,023	± 0,028	± 0,030	± 0,035	± 0,037	± 0,041	
h moyen	- 0,027	- 0,030	- 0,029	- 0,029	- 0,006	0,012	0,051	0,119	0,203	0,335	0,480	0,668	
E _h	± 0,013	± 0,022	± 0,021	± 0,024	± 0,027	± 0,027	± 0,034	± 0,038	± 0,042	± 0,049	± 0,052	± 0,059	n = 35
σ	0,092	0,126	0,158	0,218	0,256	0,312	0,334	0,348	0,412	0,492	0,560	0,608	18
E _σ	± 0,008	± 0,010	± 0,014	± 0,019	± 0,022	± 0,027	± 0,029	± 0,030	± 0,036	± 0,043	± 0,049	± 0,053	
h moyen	- 0,060	- 0,065	- 0,080	- 0,078	- 0,069	- 0,033	- 0,033	0,087	0,215	0,389	0,567	0,771	
E _h	± 0,011	± 0,015	± 0,019	± 0,027	± 0,031	± 0,038	± 0,041	± 0,043	± 0,050	± 0,060	± 0,069	± 0,075	n = 30

Tableau VIII (suite).

		TEMPS EN MINUTES										Tempé- rature en degrés C.	Longueur en millim.		
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50			55	60
σ		0,075	0,120	0,170	0,193	0,250	0,288	0,335	0,358	0,410	0,430	0,483	0,583	18	25
E σ		$\pm 0,009$	$\pm 0,013$	$\pm 0,021$	$\pm 0,024$	$\pm 0,031$	$\pm 0,036$	$\pm 0,041$	$\pm 0,044$	$\pm 0,050$	$\pm 0,053$	$\pm 0,059$	$\pm 0,071$		
<i>h</i> moyen		-0,052	-0,038	-0,070	-0,082	-0,088	-0,093	-0,005	0,065	0,217	0,458	0,757	1,105	n = 15	15
E <i>h</i>		$\pm 0,013$	$\pm 0,021$	$\pm 0,030$	$\pm 0,033$	$\pm 0,044$	$\pm 0,050$	$\pm 0,058$	$\pm 0,062$	$\pm 0,071$	$\pm 0,075$	$\pm 0,084$	$\pm 0,101$		
σ		0,077	0,096	0,150	0,155	0,150	0,144	0,117	0,156	0,186	0,203	0,231	0,243	21	20
E σ		$\pm 0,011$	$\pm 0,013$	$\pm 0,021$	$\pm 0,022$	$\pm 0,021$	$\pm 0,020$	$\pm 0,016$	$\pm 0,022$	$\pm 0,026$	$\pm 0,028$	$\pm 0,032$	$\pm 0,033$		
<i>h</i> moyen		-0,056	-0,084	-0,141	-0,138	-0,130	-0,101	-0,035	0,095	0,262	0,449	0,655	0,897	n = 12	15
E <i>h</i>		$\pm 0,015$	$\pm 0,019$	$\pm 0,029$	$\pm 0,030$	$\pm 0,029$	$\pm 0,027$	$\pm 0,023$	$\pm 0,031$	$\pm 0,035$	$\pm 0,039$	$\pm 0,045$	$\pm 0,047$		
σ		0,060	0,072	0,128	0,160	0,178	0,216	0,272	0,358	0,456	0,544	0,586	0,770	21	20
E σ		$\pm 0,006$	$\pm 0,010$	$\pm 0,017$	$\pm 0,021$	$\pm 0,024$	$\pm 0,029$	$\pm 0,036$	$\pm 0,048$	$\pm 0,060$	$\pm 0,072$	$\pm 0,077$	$\pm 0,102$		
<i>h</i> moyen		-0,035	-0,062	-0,045	-0,014	0,034	0,103	0,238	0,437	0,694	0,938	1,223	1,548	n = 13	15
E <i>h</i>		$\pm 0,011$	$\pm 0,014$	$\pm 0,024$	$\pm 0,030$	$\pm 0,034$	$\pm 0,041$	$\pm 0,051$	$\pm 0,067$	$\pm 0,086$	$\pm 0,101$	$\pm 0,110$	$\pm 0,144$		
σ		0,115	0,150	0,198	0,268	0,303	0,353	0,425	0,530	0,705	0,815	0,993	1,118	21	25
E σ		$\pm 0,012$	$\pm 0,015$	$\pm 0,019$	$\pm 0,026$	$\pm 0,029$	$\pm 0,034$	$\pm 0,041$	$\pm 0,052$	$\pm 0,068$	$\pm 0,079$	$\pm 0,096$	$\pm 0,109$		
<i>h</i> moyen		-0,099	-0,126	-0,141	-0,135	-0,123	-0,054	0,098	0,338	0,643	1,048	1,456	1,840	n = 24	15
E <i>h</i>		$\pm 0,015$	$\pm 0,021$	$\pm 0,028$	$\pm 0,037$	$\pm 0,041$	$\pm 0,048$	$\pm 0,058$	$\pm 0,073$	$\pm 0,096$	$\pm 0,112$	$\pm 0,136$	$\pm 0,153$		
σ		0,077	0,110	0,098	0,116	0,134	0,146	0,205	0,236	0,381	0,415	0,502	0,570	24	15
E σ		$\pm 0,011$	$\pm 0,015$	$\pm 0,013$	$\pm 0,016$	$\pm 0,018$	$\pm 0,020$	$\pm 0,028$	$\pm 0,032$	$\pm 0,044$	$\pm 0,057$	$\pm 0,069$	$\pm 0,078$		
<i>h</i> moyen		-0,004	-0,037	-0,017	0,004	0,087	0,217	0,396	0,633	0,888	1,217	1,542	1,858	n = 12	15
E <i>h</i>		$\pm 0,015$	$\pm 0,023$	$\pm 0,019$	$\pm 0,023$	$\pm 0,026$	$\pm 0,028$	$\pm 0,040$	$\pm 0,046$	$\pm 0,062$	$\pm 0,081$	$\pm 0,098$	$\pm 0,111$		
σ		0,082	0,148	0,162	0,182	0,252	0,306	0,366	0,440	0,472	0,508	0,566	0,598	24	20
E σ		$\pm 0,009$	$\pm 0,016$	$\pm 0,018$	$\pm 0,020$	$\pm 0,028$	$\pm 0,035$	$\pm 0,041$	$\pm 0,049$	$\pm 0,053$	$\pm 0,057$	$\pm 0,063$	$\pm 0,067$		
<i>h</i> moyen		-0,127	-0,193	-0,200	-0,186	-0,114	0,033	0,282	0,603	0,933	1,331	1,730	2,059	Exp. 1-300	18
E <i>h</i>		$\pm 0,013$	$\pm 0,024$	$\pm 0,025$	$\pm 0,029$	$\pm 0,040$	$\pm 0,049$	$\pm 0,059$	$\pm 0,070$	$\pm 0,075$	$\pm 0,081$	$\pm 0,091$	$\pm 0,095$		

σ	0,122	0,210	0,295	0,352	0,428	0,508	0,577	0,626	0,687	0,768	0,866	1,004	24	20
$E\sigma$	$\pm 0,016$	$\pm 0,027$	$\pm 0,038$	$\pm 0,045$	$\pm 0,055$	$\pm 0,065$	$\pm 0,073$	$\pm 0,080$	$\pm 0,088$	$\pm 0,098$	$\pm 0,110$	$\pm 0,128$	Exp. 601-700.	
h	-0,063	-0,135	-0,132	-0,111	-0,064	0,057	0,239	0,507	0,811	1,164	1,543	1,918		
Eh	$\pm 0,022$	$\pm 0,038$	$\pm 0,053$	$\pm 0,064$	$\pm 0,077$	$\pm 0,092$	$\pm 0,104$	$\pm 0,113$	$\pm 0,124$	$\pm 0,138$	$\pm 0,156$	$\pm 0,181$	n = 14	
σ	0,130	0,200	0,233	0,293	0,320	0,375	0,450	0,528	0,640	0,690	0,747	0,862	24	25
$E\sigma$	$\pm 0,015$	$\pm 0,023$	$\pm 0,027$	$\pm 0,037$	$\pm 0,042$	$\pm 0,044$	$\pm 0,052$	$\pm 0,061$	$\pm 0,074$	$\pm 0,080$	$\pm 0,087$	$\pm 0,100$		
h	-0,098	-0,118	-0,106	-0,099	0,010	0,253	0,537	0,893	1,309	1,703	*2,129	2,529		
Eh	$\pm 0,021$	$\pm 0,033$	$\pm 0,038$	$\pm 0,047$	$\pm 0,052$	$\pm 0,061$	$\pm 0,074$	$\pm 0,087$	$\pm 0,105$	$\pm 0,113$	$\pm 0,123$	$\pm 0,141$	n = 17	
σ	0,072	0,093	0,234	0,297	0,366	0,576	0,717	0,960	1,137	1,323	1,518	1,647	24	30
$E\sigma$	$\pm 0,010$	$\pm 0,012$	$\pm 0,031$	$\pm 0,039$	$\pm 0,049$	$\pm 0,077$	$\pm 0,096$	$\pm 0,127$	$\pm 0,150$	$\pm 0,175$	$\pm 0,201$	$\pm 0,218$		
h	-0,143	-0,145	-0,196	-0,175	-0,134	0,025	0,248	0,504	0,785	1,073	1,391	1,645		
Eh	$\pm 0,013$	$\pm 0,017$	$\pm 0,043$	$\pm 0,056$	$\pm 0,069$	$\pm 0,108$	$\pm 0,135$	$\pm 0,180$	$\pm 0,213$	$\pm 0,248$	$\pm 0,284$	$\pm 0,308$	n = 13	
σ	0,061	0,126	0,185	0,245	0,328	0,398	0,458	0,533	0,604	0,704	0,774	0,861	27	15
$E\sigma$	$\pm 0,008$	$\pm 0,017$	$\pm 0,024$	$\pm 0,032$	$\pm 0,043$	$\pm 0,053$	$\pm 0,061$	$\pm 0,071$	$\pm 0,080$	$\pm 0,093$	$\pm 0,102$	$\pm 0,114$		
h	-0,007	-0,015	-0,046	0,012	0,135	0,285	0,485	0,750	0,992	1,281	1,550	1,835		
Eh	$\pm 0,011$	$\pm 0,024$	$\pm 0,035$	$\pm 0,046$	$\pm 0,061$	$\pm 0,074$	$\pm 0,086$	$\pm 0,100$	$\pm 0,113$	$\pm 0,132$	$\pm 0,145$	$\pm 0,161$	n = 13	
σ	0,090	0,122	0,167	0,245	0,339	0,370	0,452	0,551	0,633	0,701	0,786	0,841	27	20
$E\sigma$	$\pm 0,011$	$\pm 0,015$	$\pm 0,020$	$\pm 0,029$	$\pm 0,040$	$\pm 0,044$	$\pm 0,054$	$\pm 0,066$	$\pm 0,075$	$\pm 0,084$	$\pm 0,094$	$\pm 0,100$		
h	-0,025	0,028	0,075	0,125	0,216	0,387	0,603	0,862	1,166	1,509	1,831	2,206		
Eh	$\pm 0,015$	$\pm 0,021$	$\pm 0,028$	$\pm 0,041$	$\pm 0,057$	$\pm 0,062$	$\pm 0,076$	$\pm 0,093$	$\pm 0,107$	$\pm 0,118$	$\pm 0,133$	$\pm 0,142$	n = 16	
σ	0,096	0,155	0,186	0,222	0,232	0,305	0,379	0,440	0,516	0,633	0,752	0,822	27	25
$E\sigma$	$\pm 0,010$	$\pm 0,017$	$\pm 0,028$	$\pm 0,024$	$\pm 0,025$	$\pm 0,033$	$\pm 0,040$	$\pm 0,047$	$\pm 0,055$	$\pm 0,068$	$\pm 0,080$	$\pm 0,088$		
h	-0,112	-0,097	-0,072	-0,035	0,047	0,212	0,470	0,770	1,105	1,487	1,902	2,305		
Eh	$\pm 0,014$	$\pm 0,023$	$\pm 0,020$	$\pm 0,033$	$\pm 0,035$	$\pm 0,046$	$\pm 0,057$	$\pm 0,066$	$\pm 0,078$	$\pm 0,095$	$\pm 0,113$	$\pm 0,124$	n = 20	

avoir des moyennes d'un nombre un peu grand d'expériences, les groupes de températures vont de 3 en 3 degrés et ceux de longueurs de 5 en 5 millimètres. Par exemple, la catégorie 24°, 25 mm. comprend toutes les expériences faites entre 22°,5 et 25°,5 avec des plantes de 22,5 mm. à 27,5 mm. de longueur.

Dans chacune de ces catégories température-longueur, j'ai calculé la déviation moyenne h et l'index de variabilité σ des valeurs de h ainsi que les erreurs probables de h et de σ . Les résultats de ces calculs sont consignés dans le tableau VIII; j'ai indiqué dans la colonne des températures le nombre n d'expériences comprises dans la catégorie. Je n'ai effectué les calculs que pour les catégories comprenant au moins 10 expériences; les valeurs négatives de h moyen sont imprimées en caractères gras.

Dans le graphique suivant (fig. 7), j'ai porté en ordonnées, pour chacun des intervalles de temps les index de variabilité σ ; de part et d'autre de la courbe des σ , j'ai dessiné une ligne distante, en chaque point, du double de l'erreur probable de σ , ce qui permet d'apprécier le degré d'exactitude. Je rappelle qu'il y a 4,5 chances contre 1 que la vraie valeur de σ est bien comprise entre $+2E$ et $-2E$.

On voit nettement l'augmentation de la variabilité avec la température ainsi qu'avec la longueur de la plante.

En comparant ces courbes avec celles des mêmes catégories température-longueur lorsque la plante était observée en position verticale (fig. 4), c'est-à-dire sans être soumise au géotropisme, on voit que les index de variabilité sont beaucoup plus grands, ce qui indique qu'en plus de la variabilité due à la nutation et aux erreurs accidentelles, intervient la variabilité de la sensibilité géotropique et de la faculté de réagir.

Pour rendre plus apparente cette augmentation de la variabilité et pour permettre de comparer la variabilité de

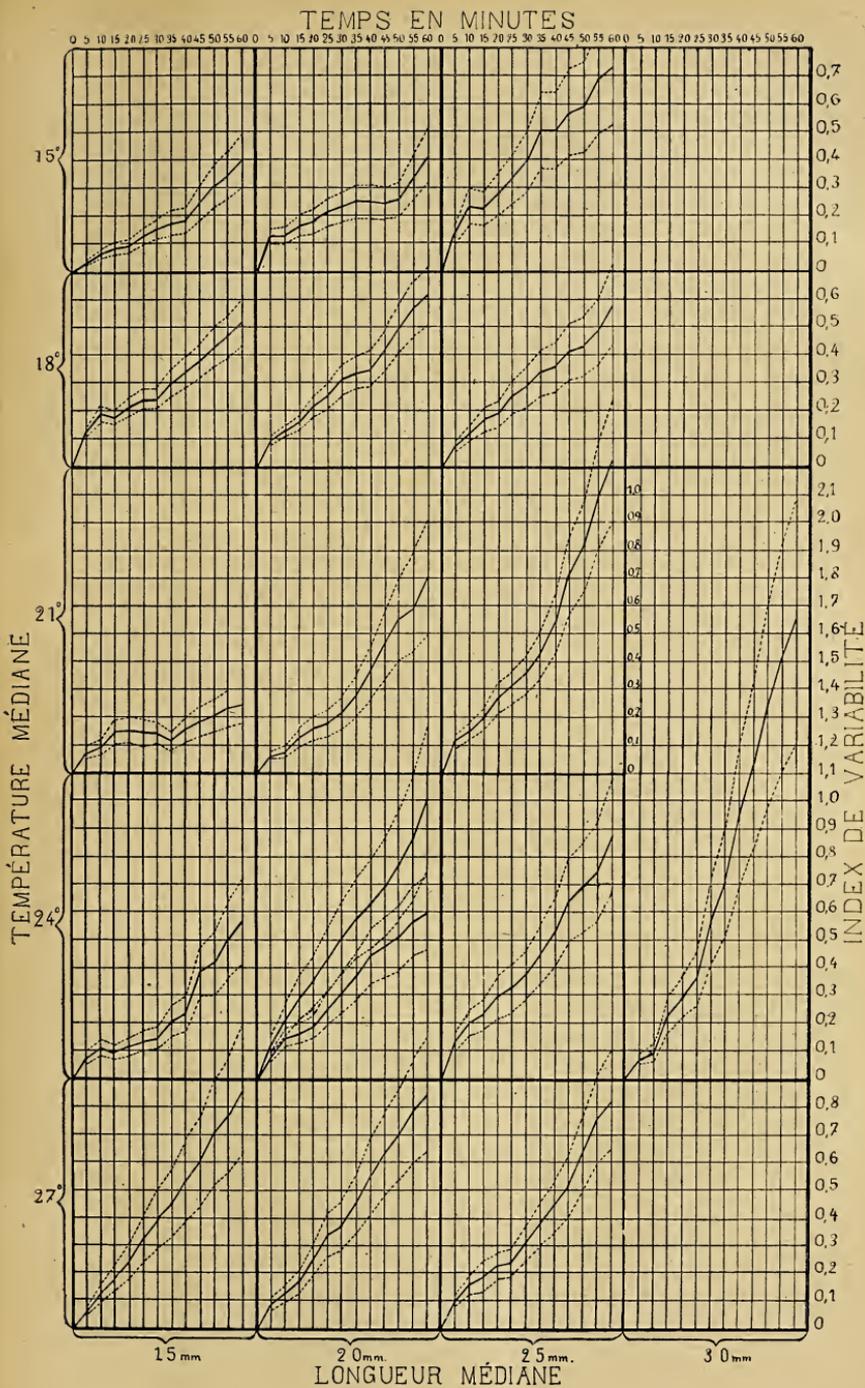


Fig. 7.

h des plantes observées en position horizontale avec celle des plantes verticales, j'ai établi le tableau IX des fréquences des déviations en réunissant les 400 expériences ; dans le tableau IX les fréquences sont rapportées à 400 expériences tandis que le tableau V donne les fréquences en % ; ceci pour gagner de la place en évitant les décimales ; pour comparer les deux séries, il suffit de diviser les chiffres du tableau IX par 4.

Le stéréogramme (fig. 8) représente la répartition des déviations aux différents moments. On voit à première vue que les polygones de variation sont tous plus étalés que leurs homologues de la figure 5, preuve de la plus grande variabilité des déviations.

Ce stéréogramme montre en outre d'une façon très nette que les plantes commencent par se courber vers le bas puis qu'au bout d'un certain temps elles se redressent et se courbent vers le haut ; en effet, le polygone correspondant à 5 minutes, s'il a son sommet sur la déviation zéro, est cependant fortement asymétrique vers les déviations négatives ; ce qui indique que h moyen est négatif ; l'asymétrie vers les déviations négatives se remarque pour les temps 5, 10, 15 et 20 minutes ; les polygones suivants sont asymétriques du côté des déviations positives ; ce qui indique que la courbure se fait vers le haut.

On voit également qu'un certain nombre de plantes, au bout de 5 minutes, se sont courbées vers le haut ; d'autres n'ont effectué aucun mouvement ; ces faits s'expliquent tout simplement parce que pour ces plantes la nutation se faisait en sens inverse de la courbure vers le bas ; pour les fortes déviations vers le bas, la nutation se faisait probablement dans le même sens que la courbure due à la pesanteur.

Même remarque, si l'on examine le polygone de variation au bout de 60 minutes ; un certain nombre de plantes sont encore courbées vers le bas ou bien, après s'être cour-

TABLEAU IX

Déviations en millimètres	TEMPS EN MINUTES											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
-0,4	10	22	24	18	21	16	11	12	8	8	4	5
-0,5	6	10	15	17	10	11	15	7	6	4	3	5
-0,6	3	4	11	7	10	9	8	4	3	4	3	2
-0,7	1	2	2	8	8	7	4	3	2	2	1	2
-0,8	1	2	2	2	4	6	2	2	1	2	2	
-0,9	1	1	1	1	3	1	1	1	2	1		
-1,0	1	1	1	3	1	1	2	1	1	1	1	2
-1,1	1	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	
-1,2	1	1		1	1	2	1	1	1	1	1	
-1,3				2	1	1	1	2	1	1	1	
-1,4				1	1	1	1	1	1	1	1	
-1,5				1	1	1	1	1	1	1	1	
-1,6		1					1	1				
-1,7						1		1				
-1,8												
-1,9		1					1				1	1
-2,0												
-2,1			1									
-2,2			1									
-2,3												
-2,4				1								
-2,5				1	1							
-2,6												
-2,7												
-2,8					1							

TABLEAU IX

Déviations en millimètres	TEMPS EN MINUTES											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
5,4												1
5,3												
5,2												
5,1											1	
5,0												1
4,9												1
4,8												
4,7												
4,6												1
4,5												1
4,4											2	2
4,3										1	1	
4,2												1
4,1											1	3
4,0											1	1
3,9											1	1
3,8											1	3
3,7										2	1	1
3,6										2	2	1
3,5										2	1	2
3,4										1	1	3
3,3									1		1	1
3,2											2	4
3,1									1	1	2	7
3,0									2	1	4	5
2,9									3	2	1	4
2,8										2	5	7
2,8									1		5	7
2,7								1		2	5	7
2,6										4	6	9
2,5									2	1	3	13
2,4								1	1	3	7	9
2,3								1	4	4	7	10
2,2								2	2	6	12	9
2,1							1	1	2	5	13	10
2,0									3	5	7	12
1,9								4	3	9	12	8
1,8							1		6	10	16	10
1,7						1	1	3	6	11	9	7
1,6							2	1	7	17	10	8
1,5							2	3	5	12	6	9
1,4						1	4	3	12	15	10	18
1,3						1	1	8	15	12	10	10
1,2							2	5	14	10	16	10
1,1					1	1	4	9	14	9	12	16
1,0					1	4	10	18	14	10	14	10
0,9						2	9	8	19	16	11	18
0,8				1		7	14	17	12	21	15	24
0,7				1	3	8	11	25	12	14	19	16
0,6					10	12	15	20	24	17	22	14
0,5			3	5	5	14	28	26	27	25	24	12
0,4		1	2	11	17	27	32	23	22	18	16	14
0,3	2	3	9	14	22	31	33	33	24	25	13	12
0,2	4	12	25	27	40	46	35	41	21	22	12	13
0,1	36	51	51	55	59	47	44	31	28	12	16	16
0	157	120	101	84	69	49	39	28	23	20	17	7
-0,1	92	90	68	67	52	50	34	23	17	13	11	5
-0,2	62	39	52	42	36	26	13	14	16	11	5	1
-0,3	21	39	28	31	22	15	15	16	9	6	4	3
-0,4	10	22	24	18	21	16	11	12	8	8	3	5
-0,5	6	10	15	17	10	11	15	7	6	4	3	2
-0,6	3	4	11	7	10	9	8	4	3	2	1	
-0,7	1	2	2	8	8	7	4	3	2		2	
-0,8	1	2	2	2	4	6	2	2	1	2		
-0,9		1		1	3	1	1	1	2			
-1,0	1	1	1	3	1	1	2	1	1	1		
-1,1		1	4		1	1	1	1	1	1	1	2
-1,2	1			1		2	1		1	1	1	
-1,3				2	1	1	1	2	1	1		
-1,4				1	1	1	1		1	1		
-1,5					1	1			1			
-1,6		1					1					
-1,7						1		1				
-1,8												1
-1,9		1					1					
-2,0											1	
-2,1			1							1		
-2,2			1				1		1			
-2,3												
-2,4				1	1		1					
-2,5												
-2,6				1		1						
-2,7												
-2,8					1							

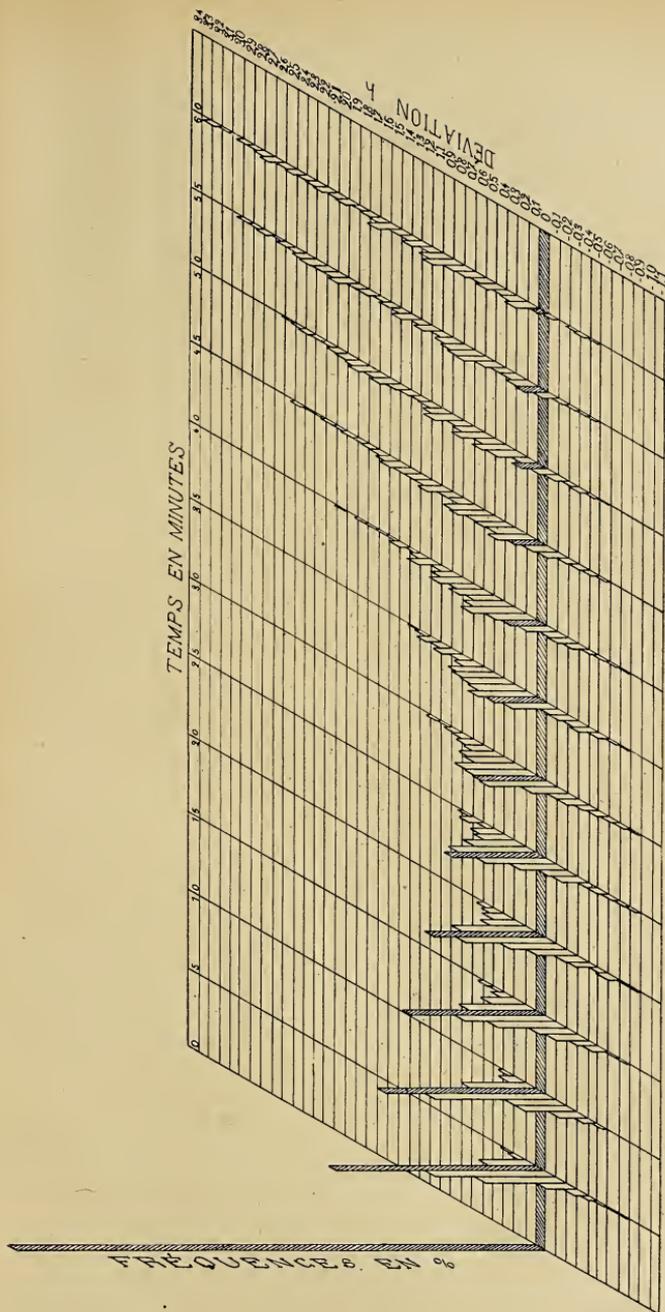


Fig. 8.

bées vers le haut, se sont dirigées ensuite en sens inverse, parce que le mouvement de nutation contrariait le mouvement géotropique.

Le même stéréogramme montre pourquoi je n'ai pas fait mes expériences durant plus d'une heure; la variabilité au bout de ce temps est si grande qu'à moins de faire des milliers d'expériences, l'erreur probable est trop grande pour que les valeurs moyennes aient encore une signification. L'irrégularité des derniers polygones est déjà un indice qu'il est inutile de poursuivre plus loin. Du reste, au bout d'une heure, la courbure est déjà trop forte pour qu'on ait le droit de considérer la plante comme placée horizontalement; l'effet de la pesanteur tend donc à diminuer, et, par suite du peu de certitude qui règne sur la question de savoir quelle région est surtout le siège de la sensibilité géotropique et des différences qui existent entre les positions des différentes plantes, il n'est pas possible de faire une correction tenant compte de la diminution de l'action du géotropisme. Au reste, vu l'erreur probable considérable, le poids de la moyenne de h au bout d'une heure est de 7 à 150 fois plus petite que le poids de la moyenne de h au bout de 60 minutes; (plus la température et par conséquent la vitesse de courbure sont grandes, plus il y a de différence entre le poids des valeurs moyennes de h) si bien que lorsque la température permet une courbure rapide, les moyennes de h au bout de 45, 50, 55 et 60 minutes ne jouent qu'un rôle très minime dans le calcul des constantes a et b .

Reportons-nous au tableau VIII; nous y voyons que la valeur de h moyen commence dans toutes les catégories sauf une (15° C, 20 mm.) par être négative; au bout de 5 minutes, par exemple, la valeur de h moyen est

- 1 fois nulle;
- 2 fois négative et plus petite que l'erreur probable;
- 14 fois négative et plus grande que l'erreur probable;

par conséquent, il n'y a pas de doute possible ; les plantes effectuent un mouvement vers le bas ; le déplacement de l'extrémité varie entre 0 mm. et 0,2 mm ; c'est donc un déplacement faible, mais certain. La figure 9 où j'ai représenté les courbes de la déviation moyenne de toutes les catégories comprenant au moins 10 expériences montre nettement la courbure vers le bas.

Examinons maintenant la courbure des plantes vers le haut ; on peut constater (fig. 9) que toutes les courbes sont nettement concaves du côté de l'axe des y (ou des déviations) ; par conséquent, il n'y a pas de doute possible, la courbure va en s'accélégrant ; aucune de ces courbes ne présentant de point particulier (brisure), il n'y a aucune raison pour admettre que la courbure ne commence qu'au bout d'un certain temps (temps de réaction) ; il est donc logique d'admettre que la courbure vers le haut commence immédiatement mais que ce phénomène est superposé à un autre qui tend à produire une courbure vers le bas ; l'équation qui semble le mieux convenir à ces courbes de la déviation moyenne h est

$$h = at + bt^2$$

c'est-à-dire l'équation d'une parabole¹.

J'ai calculé les valeurs de a et de b pour toutes les catégories température-longueur en tenant compte du poids des valeurs moyennes de h . Les deux tableaux X et XI, donnent les valeurs de a et de b ; dans chaque catégorie de longueur, j'ai placé sur la ligne supérieure les chiffres fournis par les expériences n^{os} 1 à 300 et sur la ligne inférieure ceux des n^{os} 601 à 700.

¹ Voir dans *Etude sur la réaction géotropique* les paragraphes suivants : *Signification géométrique et physiologique des valeurs a et b* , (page 245) ; *Conséquences mathématiques de l'équation $h = at + bt^2$* , (page 253).

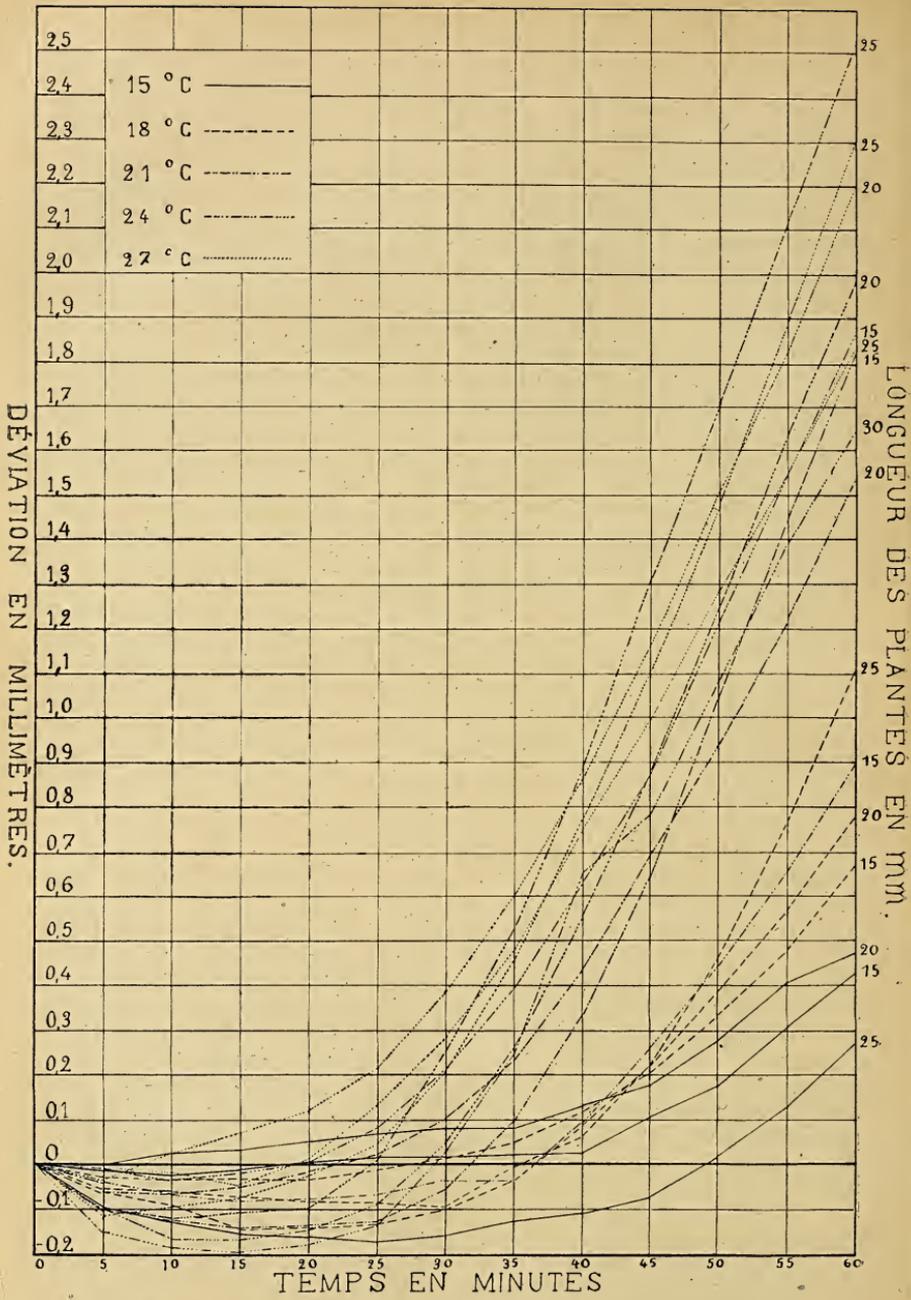


Fig. 9.

TABLEAU X. — Valeur de la constante a en tenant compte du poids des déviations moyennes.

LONGUEUR médiane en millimètres	TEMPÉRATURE MÉDIANE				
	15 degrés	18 degrés	21 degrés	24 degrés	27 degrés
15	-0,0030	-0,0078	-0,0194	-0,0138	-0,0093
20	-0,0003	-0,0127	-0,0130	-0,0314 -0,0233	-0,0069
25	-0,0153	-0,0157	-0,0242	-0,0266	-0,0225
30				-0,0308	

TABLEAU XI. — Valeur de la constante b en tenant compte du poids des déviations moyennes.

LONGUEUR médiane en millimètres	TEMPÉRATURE MÉDIANE				
	15 degrés	18 degrés	21 degrés	24 degrés	27 degrés
15	0,00012	0,00029	0,00055	0,00073	0,00067
20	0,00011	0,00040	0,00062	0,00114 0,00091	0,00072
25	0,00031	0,00051	0,00085	0,00116	0,00103
30				0,00104	

On remarquera que ces tableaux comprennent un nombre plus petit de catégories température-longueur que ceux de 1910 ; cela tient à ce que je n'ai calculé a et b que pour les seules catégories comprenant au moins 10 expériences, tandis que dans mon *Etude sur la réaction géotropique* je l'avais fait pour toutes les catégories où j'avais une expérience. Je crois qu'il vaut mieux se restreindre aux valeurs les plus probables ; les déductions qu'on pourra tirer des chiffres seront plus sûres.

On constate que a est toujours négatif, ce qui confirme

ce que j'ai dit plus haut de la certitude de la courbure vers le bas ; a est en effet égal à la tangente trigonométrique de l'angle que fait la tangente à la courbe passant par l'origine ; a négatif indique que la courbe descend puisqu'on ne considère que les temps positifs ; plus a est grand en valeur absolue plus la courbe descendra rapidement.

La quantité b est toujours positive ; elle représente l'accélération de la courbure vers le haut.

Pour pouvoir comparer les valeurs de a et de b des différentes catégories entre elles, il faut les rapporter à des plantes de même longueur ; comme dans mon *Etude sur la réaction géotropique* j'ai effectué la correction en ramenant a et b à la longueur de 10 mm. par les formules

$$a' = \frac{100 a}{l^2} \qquad b' = \frac{100 b}{l^2}$$

où l est la longueur.

TABLEAU XII. — Valeur de $a' = \frac{100 a}{l^2}$

LONGUEUR médiane en millimètres	TEMPÉRATURE MÉDIANE				
	15 degrés	18 degrés	21 degrés	24 degrés	27 degrés
15	-0,0013	-0,0035	-0,0086	-0,0061	-0,0041
20	-0,0001	-0,0032	-0,0033	-0,0079 -0,0058	-0,0017
25	-0,0024	-0,0025	-0,0039	-0,0043	-0,0036
30			-0,0034		

On voit les valeurs de a' augmenter, dans chaque catégorie de longueur, avec la température jusqu'à 24°, puis diminuer nettement ; on pourrait croire qu'il y a une température optimum entre 24° et 27° ; mais remarquons que les expériences à 27° font toutes parties de la seconde sé-

rie d'expériences (nos 601 à 700). que dans la catégorie 24^o 20 mm., le chiffre fourni par la seconde série est plus petit que celui de la première série; il semble donc que la série donne des chiffres plus faibles que la première; j'attribue ce fait à la sécheresse de l'air; en effet les expériences nos 601 à 700 ont été faites entre le 11 juillet et le 1^{er} août 1911, époque mémorable pour sa sécheresse et sa chaleur. a' ne montre pas de tendance régulière à varier avec la longueur de la plante.

TABLEAU XIII. — Valeur de $b' = \frac{100 b}{l^2}$

LONGUEUR médiane en millimètres	TEMPÉRATURE MÉDIANE				
	15 degrés	18 degrés	21 degrés	24 degrés	27 degrés
15	0,00004	0,00013	0,00018	0,00031	0,00031
20	0,00003	0,00010	0,00015	0,00027 0,00022	0,00017
25	0,00005	0,00006	0,00013	0,00018	0,00016
30				0,00011	

Pour b' , on constate également une augmentation de sa valeur avec la température et une légère chute à 27^o; ic encore, j'attribue le fait à la sécheresse. Dans la figure 9, où j'ai eu soin de représenter les courbes de la déviation moyenne de h pour chaque température par un trait différent, on voit nettement l'influence de la température sur la courbure et par conséquent sur b et b' . Dans le tableau XIII, on constate une assez notable diminution de b' avec la longueur des plantes; cela tient soit à ce que les coléoptiles en s'allongeant deviennent moins sensibles, soit à ce que les feuilles qui s'allongent dans la coléoptile retardent la courbure, soit à ce qu'une partie seule de la plante est en état de croissance et qu'en faisant la correc-

tion de b nous avons admis implicitement que toute la plante se courbait également.

On peut se demander si la variation de h en fonction du temps se fait bien suivant l'équation $h = -at + bt^2$; il est naturellement impossible de démontrer que c'est bien cette parabole qui est la *vraie* courbe; mais on peut démontrer que les écarts entre les valeurs observées et calculées de h ne dépassent pas les limites permises par la théorie des erreurs.

Pour effectuer cette démonstration, j'ai calculé les valeurs de h à l'aide de l'équation $h = -at + bt^2$ et fait la différence entre les valeurs observées et calculées de h ; la comparaison de cette différence avec l'erreur probable correspondante de h nous permettra de voir si une parabole de l'équation donnée est adéquate ou si nous aurions mieux fait de choisir un autre type de courbe.

Le tableau XIV donne les résultats de ces calculs; les valeurs négatives de $\delta = h \text{ calculé} - h \text{ observé}$ ont été imprimées en caractères gras afin qu'on puisse voir au premier coup d'œil sur le tableau la manière selon laquelle les différences δ positives et négatives se répartissent:

Si nous comptons dans le tableau XIV le nombre de fois où la différence δ entre les valeurs observées et calculées de h est plus petite en valeur absolue que l'erreur probable $E h$, nous arrivons au chiffre de 164 contre 40 où δ est plus grand que $E h$; il y a 201 cas contre 3 où δ est plus petit que $2 E h$ et 204 cas contre 0 où δ est plus petit que $3 E h$, où, en exprimant ces résultats autrement, il y a

4 cas contre 1	où $\delta < E h$.
67 » »	1 » $\delta < 2 E h$.
∞ » »	1 » $\delta < 3 E h$.

alors qu'il n'y a que

1 chance contre 1	que h soit compris entre $\pm E h$.
4,5 » »	1 » h » » » $\pm 2 E h$.
21 » »	1 » h » » » $\pm 3 E h$.

TABEAU XIV

		TEMPS EN MINUTES										Température en degrés C.	Longueur en millim.
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50			55	60
<i>h</i> obs.	-0,01	-0,02	-0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,11	0,19	0,31	0,43
<i>h</i> calc.	-0,01	-0,02	-0,01	0,01	0,00	0,02	0,05	0,08	0,12	0,16	0,22	0,27	
δ	0,00	0,00	-0,01	-0,02	-0,02	0,00	0,03	0,05	0,01	-0,03	-0,09	-0,16	
E _h	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	
<i>h</i> obs.	0,00	0,03	0,03	0,06	0,07	0,09	0,09	0,13	0,18	0,28	0,40	0,47	
<i>h</i> calc.	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,10	0,13	0,17	0,24	0,28	0,34	0,40	
δ	0,00	-0,02	-0,01	-0,02	-0,01	0,01	0,04	0,04	0,06	0,00	-0,06	-0,07	
E _h	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06	0,07	
<i>h</i> obs.	-0,10	-0,12	-0,15	-0,16	-0,17	-0,16	-0,12	-0,11	-0,07	0,02	0,13	0,27	
<i>h</i> calc.	-0,07	-0,12	-0,16	-0,18	-0,19	-0,20	-0,15	-0,11	-0,06	0,01	0,10	0,20	
δ	0,03	0,00	-0,01	-0,02	-0,02	-0,04	-0,03	0,00	0,01	-0,01	-0,03	-0,07	
E _h	0,03	0,05	0,04	0,05	0,06	0,08	0,10	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	
<i>h</i> obs.	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,01	0,01	0,05	0,12	0,20	0,34	0,48	0,67	
<i>h</i> calc.	-0,03	-0,05	-0,05	-0,04	-0,01	0,03	0,09	0,16	0,24	0,34	0,46	0,58	
δ	0,00	-0,02	-0,02	-0,01	0,00	0,02	0,04	0,04	0,04	0,00	-0,02	-0,09	
E _h	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06	
<i>h</i> obs.	-0,06	-0,07	-0,08	-0,08	-0,07	-0,03	-0,03	0,09	0,22	0,39	0,57	0,77	
<i>h</i> calc.	-0,05	-0,09	-0,10	-0,09	-0,07	-0,02	0,04	0,13	0,24	0,36	0,51	0,68	
δ	0,01	-0,02	-0,02	-0,01	0,00	0,01	0,01	0,04	0,02	-0,03	-0,06	-0,09	
E _h	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	

<i>h</i> obs.	-0,13	-0,19	-0,20	-0,19	-0,11	0,13	0,28	0,60	0,93	1,33	1,73	2,06	24 Expériences n° 1-300	20	
<i>h</i> calc.	-0,13	-0,20	-0,22	-0,17	-0,08	0,08	0,29	0,56	0,89	1,27	1,71	2,21			
δ	0,00	-0,01	-0,02	0,02	0,03	-0,05	0,01	-0,04	-0,04	-0,06	-0,02	-0,15			
<i>E_h</i>	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,07	0,08	0,09	0,10			
<i>h</i> obs.	-0,10	-0,12	-0,11	-0,10	0,01	0,25	0,54	0,89	1,31	1,70	2,13	2,53	24	25	
<i>h</i> calc.	-0,10	-0,15	-0,14	-0,07	0,06	0,25	0,49	0,79	1,15	1,57	2,04	2,58			
δ	0,00	-0,03	-0,03	0,03	-0,05	0,00	-0,05	-0,10	-0,16	-0,13	-0,09	0,05			
<i>E_h</i>	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06	0,07	0,09	0,10	0,11	0,12	0,14			
<i>h</i> obs.	-0,14	-0,19	-0,20	-0,18	-0,13	0,03	0,25	0,50	0,79	1,07	1,39	1,65	24	30	
<i>h</i> calc.	-0,13	-0,20	-0,23	-0,20	-0,12	-0,01	0,20	0,43	0,72	1,06	1,46	1,90			
δ	0,01	-0,01	-0,03	-0,02	0,01	-0,04	-0,05	-0,07	-0,07	-0,01	0,07	0,25			
<i>E_h</i>	0,01	0,02	0,04	0,06	0,07	0,11	0,14	0,18	0,21	0,25	0,28	0,31			
<i>h</i> obs.	-0,01	-0,02	-0,05	0,01	0,14	0,29	0,49	0,75	0,99	1,28	1,55	1,84	27	15	
<i>h</i> calc.	-0,03	-0,03	0,01	0,08	0,18	0,33	0,50	0,70	0,94	1,21	1,52	1,86			
δ	-0,02	-0,01	0,06	0,07	0,04	0,04	0,01	-0,05	-0,05	-0,07	-0,03	0,02			
<i>E_h</i>	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,07	0,09	0,10	0,11	0,13	0,14	0,16			
<i>h</i> obs.	-0,02	0,03	0,08	0,13	0,22	0,39	0,60	0,86	1,17	1,51	1,83	2,21	27	20	
<i>h</i> calc.	-0,02	0,00	0,06	0,15	0,28	0,44	0,63	0,87	1,14	1,45	1,79	2,16			
δ	0,00	-0,03	-0,02	0,02	0,06	0,05	0,03	0,01	-0,03	-0,06	-0,04	-0,05			
<i>E_h</i>	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,06	0,08	0,09	0,11	0,12	0,13	0,14			
<i>h</i> obs.	-0,11	-0,10	-0,07	-0,03	0,05	0,21	0,47	0,77	1,10	1,49	1,90	2,31	27	25	
<i>h</i> calc.	-0,09	-0,11	-0,11	-0,04	0,08	0,25	0,48	0,75	1,07	1,45	1,88	2,27			
δ	0,02	-0,01	-0,04	-0,01	0,03	0,04	0,01	-0,02	-0,03	-0,04	-0,04	-0,04			
<i>E_h</i>	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,10	0,11	0,12			

La concordance entre les courbes théoriques et les courbes expérimentales est donc remarquable ; mais il nous reste à étudier la répartition des valeurs positives et négatives de δ afin de voir si ces différences sont peut-être systématiquement à la même place dans toutes les catégories température-longueur ; en examinant le tableau XIV on voit que les valeurs négatives de δ (imprimées en caractères gras) semblent bien être placées surtout aux deux bords du tableau et être plus rares dans la partie centrale.

Pour élucider la question j'ai fait pour chaque intervalle de temps la somme $\Sigma \delta$ des différences δ de chacune des catégories température-longueur. Les valeurs de $\Sigma \delta$ sont données par le tableau XV ; les chiffres de la seconde ligne expriment la valeur $\Sigma \delta$ divisée par le nombre des catégories (17) autrement dit la valeur moyenne de δ .

TABLEAU XV

	TEMPS EN MINUTES					
	5	10	15	20	25	30
$\Sigma \delta$	-0,07	-0,33	-0,29	-0,05	0,33	0,27
$\frac{\Sigma \delta}{n}$	-0,004	-0,019	-0,017	-0,003	0,019	0,016
	TEMPS EN MINUTES					
	35	40	45	50	55	60
δ	0,45	0,15	-0,22	-0,64	-0,95	-0,80
$\frac{\Sigma \delta}{n}$	0,026	0,009	-0,013	-0,038	-0,056	-0,047

On voit que δ , qui est théoriquement nul au temps zéro, diminue jusqu'à 10 minutes, puis augmente jusqu'à 35 min., où il est positif, pour diminuer ensuite jusqu'à 55 min. et augmenter de nouveau. Les variations de δ sont graduelles et semblent indiquer qu'un mouvement d'oscillation, peut être dû au choc qui se produit lorsqu'on place

la plante dans l'appareil, se superpose aux courbures dues à la pesanteur. Cette oscillation est du reste très faible (voir les valeurs de $\frac{\sum \delta}{n}$) et les écarts entre les valeurs observées de h et les valeurs calculées sont bien plus petits que l'erreur probable.

Nous pouvons donc conclure que la variation en fonction du temps de la déviation h de l'extrémité d'une plante d'avoine exposée horizontalement pendant toute la durée de l'expérience est *très bien* représentée par une parabole de la forme.

$$h = - at + bt^2$$

Le « temps de réaction ».

Lors de mes premières expériences sur la réaction géotropique, j'avais pris soin de noter le moment où la plante d'avoine placée horizontalement commençait à présenter une courbure visible à l'œil nu. Je faisais cet examen immédiatement après la visée au cathétomètre, c'est-à-dire toutes les 5 minutes. Le « temps de réaction » était ainsi déterminé à 5 minutes près.

Dans le tableau XVI, les colonnes donnent : la 1^{re} le numéro de l'expérience, ce qui permettra au lecteur de se reporter au protocole¹ ; la 2^{me}, intitulée R, le « temps de réaction » en minutes ; la 3^{me}, h_r la déviation du sommet de la plante, par rapport à sa position au début de l'expérience, au bout du temps R ; la 4^{me} $h_{\min.}$ indique la déviation au point le plus bas atteint par la plante ; la 5^{me} $h_r - h_{\min.}$ la différence entre les chiffres des deux colonnes précédentes ; on verra plus loin l'intérêt de ces valeurs. Enfin les deux dernières colonnes donnent les températures en degrés C et la longueur des plantes en mm.

¹ Bull. Soc. vaud. Sc. nat., vol. XLVI, 1910, p. 416 et suiv.

TABLEAU XVI

N ^o	Temps de réaction	h_R	h min.	$h_R - 2h$ min.	Température	Long.
1	50	1,0	0,0	1,0	17	15
2	60	1,1	0,0	1,1	17	24
3	65	0,8	0,0	0,8	17	15
4	55	0,3	-0,1	0,5	16	25
5	70	1,5	0,0	1,5	16	18
6	55	0,3	-0,4	1,1	17	22
7	85	1,4	-0,1	1,6	16	24
8	95	0,7	-0,3	1,3	15	18
9	55	1,2	0,0	1,2	14	23
10	105	1,2	-1,4	4,2	18	55
11	55	0,7	0,0	0,7	17	30
12	55	0,9	-0,2	1,3	17	18
13	65	0,9	0,0	0,9	18	12
14	60	0,9	0,0	0,9	18	22
15	35	0,5	-0,1	0,7	18	10
16	65	0,3	-0,6	1,5	17	42
17	45	0,5	-0,8	2,1	19	50
18	35	0,7	0,0	0,7	19	18
19	60	2,7	-0,6	3,9	19	50
20	50	-0,1	-0,6	1,1	19	29
21	55	0,8	0,0	0,8	19	32
23	50	0,9	-0,1	1,1	17	20
24	70	0,9	-0,5	1,9	19	17
25	55	1,7	0,0	1,7	19	25
26	50	0,9	-0,1	1,1	18	15
27	45	1,5	0,0	1,5	19	17
28	60	0,2	-0,3	0,8	19	18
29	40	1,7	-0,35	2,4	22	30
30	40	0,0	-0,5	1,0	19	30
31	50	0,15	0,0	0,1	19	14
32	50	1,35	0,15	1,7	19	29
33	50	0,55	-0,35	1,2	20	24
34	55	2,1	0,0	2,1	21	31
35	40	0,4	-0,4	1,2	20	30
36	55	0,6	-0,5	1,6	19	24
37	55	1,3	0,0	1,3	21	12
38	50	1,0	0,0	1,0	18	22
39	45	0,9	0,0	0,9	19	25
40	70	0,2	-0,5	1,2	16	40
41	75	1,3	0,0	1,3	17	13
42	75	1,0	-0,2	1,4	15	23
44	75	0,85	0,0	0,8	15	20
45	65	0,95	-0,15	1,3	17	16
46	65	1,2	0,0	1,2	18	15
47	55	0,55	-0,05	0,7	18	12
48	60	0,35	0,0	0,3	17	13
49	65	0,6	0,0	0,6	15	17
50	55	0,85	0,0	0,8	15	21

N ^o	Temps de réaction	h_R	h min.	$h_R - 2h$ min.	Tempé- rature	Long.
51	55	0,5	0,0	0,5	16	18
52	55	-0,1	-0,4	0,7	16	19
53	55	0,25	0,0	0,3	18	14
54	65	1,75	0,0	1,7	17	19
55	50	0,35	0,0	0,3	17	24
56	110	1,4	-0,15	1,7	17	20
58	40	0,2	0,0	0,2	19	15
59	45	-0,15	-0,4	0,7	19	21
60	45	0,9	0,0	0,9	22	37
61	40	0,3	0,0	0,3	22	15
62	35	0,15	-0,1	0,4	22	19
63	35	0,45	-0,15	0,7	21	25
64	40	1,05	0,0	1,1	22	30
66	35	0,95	0,0	0,9	23	23
67	40	0,05	-0,5	0,7	22	16
68	40	0,15	-0,15	0,4	22	18
69	60	0,85	-0,25	1,4	22	17
70	50	-0,25	-0,75	1,8	20	34
71	35	0,75	-0,1	1,0	20	21
72	30	-0,2	-0,45	0,7	20	23
73	40	-0,2	-0,6	1,0	20	27
74	30	-0,2	-0,25	0,3	25	27
75	40	0,8	-0,15	1,1	26	20
76	40	0,65	-0,05	0,8	26	27
77	40	0,1	-0,25	0,6	23	28
78	30	0,0	-0,25	0,5	24	28
79	40	0,4	0,0	0,4	25	25
80	45	-1,3	-1,3	1,3	25	29
81	30	0,6	0,0	0,6	25	25
82	30	0,0	-0,25	0,5	24	29
83	40	0,2	-0,1	0,4	22	24
84	35	0,7	0,0	0,7	22	25
86	25	0,65	-0,05	0,8	24	25
87	30	1,0	0,0	1,0	24	26
88	35	0,5	-0,4	1,3	24	35
89	45	1,35	0,0	1,4	26	19
90	20	-0,25	-0,3	0,3	26	21
91	30	0,8	-0,1	1,0	25	22
93	30	0,4	0,0	0,4	25	19
94	25	-0,45	-0,5	0,6	26	19
95	25	-0,15	-0,4	0,6	27	29
96	20	0,3	0,0	0,3	25	19
97	40	-0,3	-0,6	0,9	26	33
98	50	-0,35	-0,45	0,5	26	28
99	35	0,0	-0,45	0,9	25	44
100	50	-0,35	-1,25	2,1	25	37
101	50	0,85	-0,1	1,1	26	17
102	35	0,2	-0,1	0,4	23	17
103	60	0,65	0,0	0,7	23	15
104	60	0,3	-0,15	0,6	23	30

N°	Temps de réaction	h_R	h min.	$h_R - 2h$ min.	Température	Long.
105	30	0,05	-0,25	0,6	23	26
106	35	0,8	0,0	0,8	21	31
107	50	1,15	0,0	1,2	21	12
108	40	0,6	-0,1	0,8	22	18
109	45	0,65	-0,15	0,9	25	14
110	35	-0,5	-0,55	0,6	25	19
111	30	-0,7	-0,75	0,8	23	22
112	35	0,55	-0,1	0,8	23	22
113	40	0,25	0,0	0,2	23	17
114	45	0,9	-0,3	1,5	23	20
115	60	0,95	-0,85	2,7	23	37
116	30	0,5	-0,15	0,8	22	27
117	40	0,2	-0,50	1,2	23	33
118	30	-1,1	-1,35	1,6	23	42
119	55	0,15	-0,25	0,6	24	30
120	35	0,0	-0,2	0,4	22	33
121	35	-0,1	-0,25	0,4	22	26
122	45	-0,65	-0,7	0,8	22	33
123	25	0,45	-0,05	0,5	21	34
124	35	-0,15	-0,2	0,3	24	22
125	25	0,15	-0,2	0,5	24	29
126	55	0,0	-0,45	0,9	21	31
127	40	0,3	-0,05	0,4	21	23
129	20	0,1	0,0	0,1	21	16
131	50	0,0	-0,45	0,9	19	23
133	45	1,05	-0,05	1,1	21	23
134	20	-0,15	-0,25	0,4	23	21
135	20	-0,45	-0,45	0,5	23	32
136	30	0,2	-0,1	0,4	23	21
137	30	-0,75	-0,85	0,9	23	42
138	30	0,2	-0,1	0,4	23	31
140	30	0,1	-0,2	0,5	22	22
141	30	0,05	-0,2	0,5	22	21
142	35	0,35	-0,15	0,6	22	25
143	35	0,8	0,0	0,8	22	23
145	35	0,3	-0,05	0,4	23	18
146	35	0,3	-0,1	0,5	23	18
147	35	0,35	0,0	0,4	23	23
149	35	0,05	-0,3	0,6	25	20
150	35	0,25	-0,25	0,8	24	19
151	40	0,5	-0,3	1,1	24	19
152	30	0,45	-0,1	0,6	24	26
154	35	0,35	-0,55	1,5	25	22
156	30	-2,2	-2,4	2,6	26	42
157	45	0,7	-0,5	1,7	26	35
158	20	0,2	-0,1	0,4	26	22
159	40	0,15	-0,1	0,4	26	14
160	40	0,4	0,0	0,4	27	11
161	25	0,05	-0,25	0,5	27	28
162	25	-0,35	-0,4	0,5	26	42

N ^o	Temps de réaction	h_a	h min.	$h_a - 2h$ min.	Température	Long.
163	30	0,6	-0,1	0,8	24	21
164	30	-0,1	-0,45	0,8	25	26
165	60	1,55	-0,2	1,9	25	18
166	40	0,8	-0,3	1,4	25	23
167	35	0,2	-0,1	0,4	24	28
168	25	0,0	-0,05	0,1	23	25
169	35	0,5	-0,05	0,6	23	22
170	25	0,25	0,0	0,3	25	21
171	15	0,15	-0,15	0,4	24	31
172	35	0,0	-0,45	0,9	24	24
173	30	0,1	-0,1	0,3	19	23
174	35	0,5	0,0	0,5	20	18
175	25	0,1	-0,4	0,9	22	28
176	35	-0,25	-0,4	0,5	22	27
177	35	-0,5	-0,5	0,5	23	16
178	30	0,3	-0,1	0,5	24	17
179	25	-0,15	-0,2	0,3	23	15
180	35	0,1	-0,1	0,3	21	20
181	55	0,4	-0,15	0,7	21	20
183	35	-0,55	-0,55	0,5	20	24
184	35	0,35	-0,05	0,5	21	26
185	30	0,0	-0,1	0,2	21	27
186	40	0,15	-0,3	0,7	21	21
187	35	0,75	0,0	0,8	21	20
189	45	0,3	0,0	0,3	20	16
190	30	0,2	-0,15	0,5	22	23
192	45	0,8	-0,1	1,0	20	23
193	40	0,4	0,0	0,4	20	23
194	40	0,25	-0,1	0,5	20	19
196	25	-0,2	-0,3	0,4	19	17
197	50	0,5	0,0	0,5	19	15
198	35	0,0	-0,15	0,3	19	23
200	45	0,2	-0,15	0,5	20	13
202	55	0,75	-0,1	0,8	20	23
203	35	-0,6	-0,7	0,8	21	30
204	40	-0,35	-0,5	0,7	20	27
205	45	0,0	-0,05	0,1	21	21
207	45	0,05	-0,35	0,7	19	19
210	50	0,0	-0,05	0,1	18	16
212	40	0,2	0,0	0,2	18	15
214	40	0,5	-0,05	0,6	19	22
215	50	0,05	0,0	0,1	16	16
216	50	0,15	-0,2	0,5	16	15
217	45	0,2	-0,2	0,6	18	21
219	45	0,1	-0,15	0,4	18	13
220	35	0,1	-0,15	0,4	19	21
222	55	1,15	-0,1	1,4	19	22
224	55	0,45	0,0	0,4	17	17
225	55	0,2	-0,7	1,6	17	32

Pour étudier la variation du « temps de réaction » avec la longueur des plantes et avec la température, j'aurais pu pratiquer comme je l'ai fait pour l'étude des déviations, c'est-à-dire, former des catégories température-longueur. Mais cette méthode aurait entraîné de longs calculs, et comme la question du temps de réaction n'est pour moi qu'accessoire, je me suis contenté de réunir d'abord les expériences en catégories de température sans m'inquiéter de la longueur des plantes, je ferai ensuite la même opération pour les longueurs. Cette manière de faire suppose implicitement que la longueur des plantes varie au hasard et n'est pas en corrélation avec la température. Un tableau de corrélation que je ne donne pas ici m'a montré que c'était approximativement le cas.

Le tableau XVII est à double entrée, une pour la température, l'autre pour le temps de réaction; les chiffres des colonnes indiquent la fréquence des temps de réaction, c'est-à-dire le nombre de fois qu'un temps de réaction afférent à telle ou telle catégorie a été observé.

TABLEAU XVII

Température en degrés C.	TEMPS DE RÉACTION EN MINUTES									
	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
14	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—
15	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—
16	—	—	—	—	—	—	—	2	3	—
17	—	—	—	—	—	—	—	3	5	2
18	—	—	—	—	1	1	2	3	2	1
19	—	—	1	1	3	3	5	5	4	2
20	—	—	—	1	3	5	3	2	1	—
21	—	1	1	1	6	2	2	1	4	—
22	—	—	1	4	7	7	2	—	—	1
23	—	2	2	6	8	3	1	—	—	3
24	1	—	2	6	5	1	—	—	1	—
25	—	1	1	6	4	2	2	1	—	1
26	—	2	2	1	—	4	2	2	—	—
27	—	—	2	—	—	1	—	—	—	—

Un petit nombre de plantes présentaient un temps de

réaction plus grand que 60 minutes, je ne les ai pas fait figurer dans ce tableau ; mais j'en ai tenu compte pour le calcul des temps moyens de réaction.

Pour chaque température, j'ai calculé le temps moyen de réaction, l'index de variabilité et l'erreur probable du temps de réaction. Les résultats de ces calculs sont donnés dans le tableau XVIII.

TABLEAU XVIII

Température en degrés C.	Temps de réaction en minutes	Index de variabilité en minutes	Erreur probable en minutes	Nombre d'expériences
14	55	indéterminable.	ndéterminable.	1
15	72,5	14,8	5	4
16	61,2	11,6	2,8	8
17	58,3	6,2	1,1	15
18	51,3	8,9	1,7	12
19	46,6	10,1	1,3	25
20	41,7	6,5	1,1	15
21	40,3	10,3	1,6	18
22	37,5	7,4	1,1	22
23	35,8	10,5	1,4	25
24	30,2	8,1	1,3	16
25	35,8	9,3	1,5	18
26	36,2	10,4	1,9	13
27	30,0	7,1	2,8	3

Dans le graphique de la fig. 10, j'ai porté en abscisses les températures et en ordonnées les temps de réaction moyens correspondants ; ces points sont joints par une ligne pleine ; de part et d'autre de ces valeurs, j'ai porté le double de leur erreur probable et joint les points ainsi obtenus par un trait pointillé. Il y aura 4,5 chances contre une que la courbe représentant réellement la variation du temps de réaction en fonction de la température passera entre les deux traits pointillés. Sur le même graphique j'ai porté pour chaque température l'index de variabilité du temps de réaction.

On voit que le temps de réaction diminue avec l'aug-

mentation de la température du moins dans les limites des expériences (14° à 27°) ; la diminution se ralentit au fur et à mesure que la température augmente et tout fait prévoir qu'on se rapproche d'une température optimum.

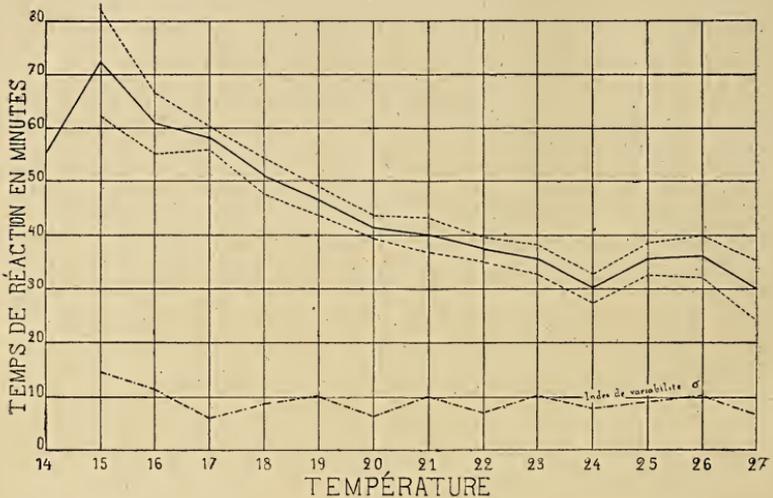


Fig. 10.

L'index de variabilité du temps de réaction ne semble présenter que des variations irrégulières, par conséquent l'on peut dire qu'entre 14 et 27° , la détermination du temps de réaction se fait avec la même précision à toutes les températures.

En effectuant 25 expériences à une même température, on aura une erreur probable comprise entre 1 et 2 minutes, erreur remarquablement faible puisqu'on ne peut raisonnablement déterminer le temps de réaction individuel de chaque plante que par intervalle de 5 minutes.

Calculons maintenant les temps de réaction moyens en groupant les plantes d'après leur longueur. Les résultats sont réunis dans le tableau XIX.

TABLEAU XIX

Longueur médiane en millimètres	Temps de réaction en minutes	Index de variabilité en minutes	Erreur probable en minutes	Nombre d'expériences
10	45,7	14,0	3,6	7
15	47,5	10,4	1,1	42
20	43,4	16,3	1,4	59
25	40,9	12,2	1,2	51
30	39,5	12,3	1,6	28
35	44,1	8,5	1,7	11
40	41,7	18,4	5,1	6
45	35,0	indéterminable.	indéterminable.	1
50	52,5	7,5	3,6	2
55	105,0	indéterminable.	indéterminable.	1

Dans le graphique de la figure 11, les longueurs des plantes ont été portées en abscisses et le temps de réaction moyen correspondant en ordonnées. De part et d'autre de la ligne des temps de réaction j'ai dessiné la ligne placée à une distance égale au double de l'erreur probable.

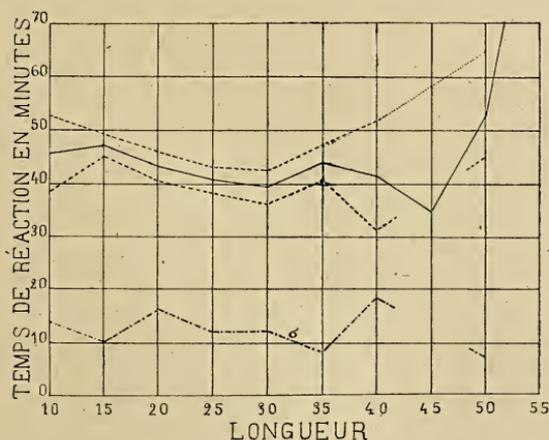


Fig. 11.

Le temps de réaction diminue d'abord légèrement quand la longueur de la plante augmente, puis à partir d'une certaine longueur (45 mm.) le temps de réaction semble croître.

tre de nouveau ; cette seconde phase ne ressort nettement ni dans le tableau XIX ni dans le graphique (fig. 11) ; mais cela est dû au peu d'expériences effectuées avec des plantes de plus de 35 mm. Si l'on réfléchit que dès que les plantes d'avoine ont atteint une certaine longueur et que la coléoptile est percée, elles ne se courbent plus du tout, on peut s'attendre à voir augmenter le temps de réaction avec la longueur, jusqu'à devenir théoriquement infiniment grand.

La légère diminution du temps de réaction avec la longueur entre 10 et 45 mm. s'explique probablement par un phénomène psychologique que nous étudierons plus loin ; c'est que l'œil aperçoit une courbure plus faible chez les plantes longues que chez les plantes courtes.

La courbe représentant la variation du temps de réaction avec la longueur de la plante sera probablement parallèle à l'axe des longueurs ou plutôt légèrement ascendante au début puis montera très rapidement jusqu'à devenir infinie.

Comme il n'y a que 4 expériences avec des plantes de plus de 45 mm. et qu'entre 10 et 45 mm. la courbe est presque une droite, la courbe de la fig. 10 représentant la variation du temps de réaction en fonction de la température peut être considérée comme non entachée d'erreurs systématiques du fait que nous n'avons pas tenu compte de la longueur de la plante.

Il est un côté intéressant de la question, c'est de déterminer à quel moment de la réaction géotropique on commence à apercevoir la courbure ; en d'autres termes, quel est le déplacement h de l'extrémité de la plante au moment où l'œil perçoit la courbure (temps de réaction) ?

Dans le tableau XVI, les chiffres de la colonne intitulée h_r donnent la valeur du déplacement au moment où la plante commence à présenter une courbure visible à l'œil nu.

Comme on peut voir, h_r varie beaucoup ; il présente des

valeurs positives et négatives. J'ai classé toutes les expériences en différents groupes d'après la longueur des plantes (de 5 en 5 millimètres), et calculé la moyenne de h_r ainsi que l'index de variabilité et l'erreur probable de la moyenne.

TABLEAU XX

Longueur médiane en millimètres	h_r moyen \pm erreur prob.	Index de variabilité	Longueur médiane en millimètres	h_r moyen \pm erreur prob.	Index de variabilité
10	0,68 \pm 0,08	0,27	30	0,26 \pm 0,09	0,67
15	0,43 \pm 0,05	0,45	35	0,31 \pm 0,09	0,44
20	0,44 \pm 0,04	0,50	40	0,63 \pm 0,23	0,85
25	0,41 \pm 0,05	0,48	45	0,06 \pm 0,26	0,13

La valeur de h au temps R semble diminuer avec la longueur des plantes ; ce résultat est assez inattendu ; les plantes les plus longues devraient au contraire montrer une déviation h_r plus grande que les petites. Soupçonnant que ce fait est dû à la flexion vers le bas qui se produit au début de l'expérience, j'ai essayé d'apporter une correction aux chiffres ci-dessus.

Quand on examine des plantes d'avoine assez longues placées horizontalement, quelques-unes présentent une flexion vers le bas assez considérable pour qu'on puisse observer une courbure ; celle-ci se fait surtout vers la base de la plante exactement comme une flexion purement mécanique mais cette flexion se fait beaucoup plus lentement que celle d'un corps rigide. Tout se passe comme si un frein venait ralentir le mouvement ; très probablement, la flexion provoque un déplacement d'eau qui doit sortir des cellules comprimées et peut-être entrer dans les cellules du côté distendu de la plante ; le freinage serait dû à la résistance opposée à la filtration de cette eau par les membranes protoplasmiques et cellulosiques. Il serait possible du reste de trouver d'autres causes à ce freinage du mouvement de flexion.

J'ai montré plus haut que l'on peut représenter la marche de la courbure géotropique par l'équation

$$h = at + bt^2$$

où a est négatif; nous pouvons poser

$$a = -\alpha, \text{ nous aurons } h = -\alpha t + bt^2$$

Nous pouvons supposer que la déviation h est la somme de deux déplacements opposés, l'un

$$y_1 = -\alpha t$$

représenterait la flexion vers le bas; cette flexion se ferait avec un mouvement uniforme par suite du freinage, l'autre

$$y_2 = bt^2$$

serait la déviation vers le haut dû au géotropisme. La déviation mesurée étant

$$h = y_1 + y_2 = -\alpha t + bt^2$$

pour passer à la déviation y_2 due vraiment au géotropisme, il faudrait retrancher de h la quantité

$$y = -\alpha t$$

Mais pour effectuer une correction de cette nature à nos valeurs de h au temps R , il faudrait calculer les valeurs de a et de b pour les 400 courbes déterminées expérimentalement par la méthode des moindres carrés; cela prendrait un temps considérable; du reste ce serait impossible, la nutation introduisant des causes d'erreurs qui ne

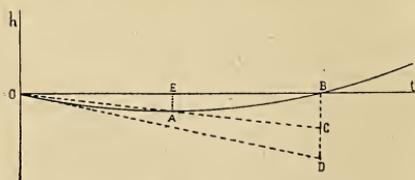


Fig. 12.

disparaissent qu'en tenant compte de la moyenne d'une série d'expériences.

Soit OAB (fig. 12), la parabole représentant la variation de la déviation h en fonction du temps t et

OD une droite tangente à la parabole au point O ; l'équation de cette droite est $y^2 = -\alpha t$; elle représente la

part due dans la déviation observée aux déviations vers le bas.

Si nous admettons que le point B où la courbe coupe l'axe des temps est aussi le point où la courbure commence à être visible à l'œil nu, il faudrait ajouter à h_r la quantité négative mesurée par BD; la courbure étant en général faible, on peut remplacer la tangente OD par la droite OC passant par A, point où la courbe présente la déviation la plus forte vers le bas ($AE = h \text{ min.}$); la correction consisterait à retrancher de h_r la quantité $BC = 2 h \text{ min.}$ Cette correction serait trop faible; mais en général la différence entre BC et BD ne sera pas aussi forte qu'elle ne le paraît sur la figure 12.

Dans le tableau XVI (page 470), la 4^{me} colonne donne la valeur de $h \text{ min.}$ et la 5^{me} celle de $h_r - 2 h \text{ min.}$; cette dernière quantité serait en quelque sorte la mesure approchée de la courbure due au géotropisme seul.

En classant les valeurs de $h_r - 2 h \text{ min.}$ d'après la longueur des plantes et en prenant les moyennes, on obtient les résultats suivants (Tableau XXI).

TABLEAU XXI

Longueur médiane en millimètres	$h_r - 2 h \text{ min.}$ \pm erreur probable	Longueur médiane en millimètres	$h - 2h \text{ min.}$ \pm erreur probable
10	0,87 \pm 0,08	30	0,89 \pm 0,07
15	0,62 \pm 0,05	35	1,30 \pm 0,14
20	0,79 \pm 0,04	45	1,94 \pm 0,27
25	0,75 \pm 0,07		

Remarquons que les erreurs probables données dans le tableau sont celles de la moyenne de $h_r - e h \text{ min.}$ et que l'erreur probable de la déviation moyenne due au seul géotropisme sera forcément plus grande puisque la correction n'est qu'approchée.

Le tableau XXI montre qu'à partir de 15 mm. la quan-

tité $h_r - 2h$ min. augmente avec la longueur de la plante ; ce qui est naturel, la coléoptile fonctionnant comme un index, plus elle sera longue plus le déplacement de l'extrémité sera considérable. Il nous faut faire subir à nos résultats une correction en considérant non pas la déviation de l'extrémité de la plante mais sa courbure.

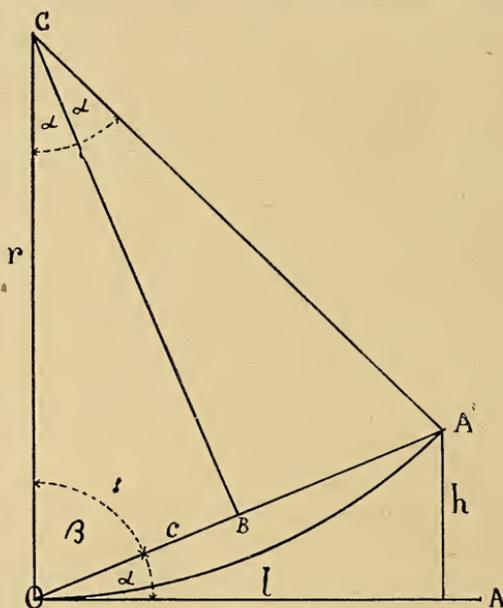


Fig. 13.

Soit OA (fig. 13) la plante dans sa position initiale et OA' la même plante après courbure ; soit C le centre de la courbe OA' ; CO est le rayon de courbure ; nous le désignons par r . Posons en outre $OA' = 2c$ et $OA = l =$ longueur de la plante.

Dans le triangle OCB on a

$$\sin \alpha = \frac{c}{2r} \quad ; \quad 1)$$

dans le triangle AOA' ,

$$h = c \sin \alpha \quad 2)$$

Pendant une expérience qui ne dure qu'une heure, la courbure est encore assez faible pour qu'on puisse poser

$$c = l$$

En combinant les équations 1 et 2, il vient

$$r = \frac{l^2}{2h} = \text{rayon de courbure}$$

Posons $C = \frac{1}{r}$; C sera la *courbure*

de la plante ; par conséquent

$$C = \frac{2h}{l^2}$$

En calculant à l'aide de cette formule la valeur de la courbure des plantes des diverses longueurs au moment où l'on commence à voir qu'elles sont courbes, on obtient les résultats suivants (Tableau XXII).

TABLEAU XXII

Longueur médiane en millimètres	Courbure ± erreur probable	Longueur médiane en millimètres	Courbure ± erreur probable
10	0,0175 ± 0,0016	30	0,0020 ± 0,0001
15	0,0055 ± 0,0004	35	0,0021 ± 0,0002
20	0,0039 ± 0,0002	45	0,0021 ± 0,0003
25	0,0024 ± 0,0002		

Dans la figure 14, j'ai représenté graphiquement ces résultats ; on voit que la valeur de la courbure (définie comme l'inverse du rayon de courbure exprimé en millimètres), au moment où elle devient visible à l'œil nu, est sensiblement constante pour les plantes de plus de 25 mm. de longueur, mais que, lorsque les plantes sont plus courtes, la courbure doit être beaucoup plus prononcée pour être visible.

En calculant le rayon de courbure que les plantes présentent au moment de la réaction visible, on constate que pour une plante de 10 mm., le rayon de courbure doit

être de 60 mm., tandis que pour les plantes de plus de 25 mm. ce rayon atteint 500 mm.

Dans la figure 15, j'ai dessiné 3 fragments de circonférence; le 1^{er} d'un rayon de 50 cm. et d'une longueur de 30 mm.; la courbure est très visible; le deuxième de même rayon mais long seulement de 10 mm. semble par-

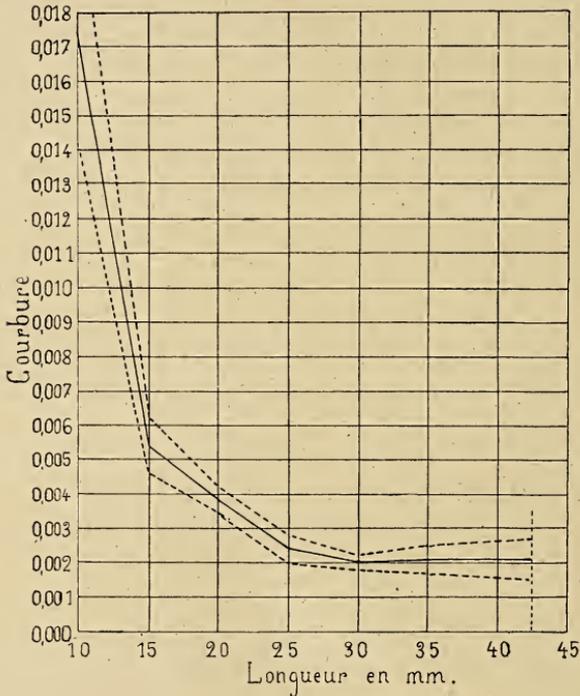


Fig. 14.

faitement droit; le 3^{me} fragment de circonférence, d'un rayon de 6 cm. et d'une longueur de 10 mm., représente la courbure qu'une plante de 10 mm. doit présenter pour qu'on la voie courbe; sur le dessin elle paraît plus courbe que la première; cela tient à ce que la plante a une épaisseur et une forme ogivale au sommet ce qui augmente la difficulté de voir la courbure.

La figure 14, au lieu de donner une représentation gra-

phique de la sensibilité géotropique des plantes d'avoine en fonction de leur longueur, est donc une représentation de la variation de la faculté qu'a l'œil humain de distinguer la courbure d'objets linéaires en fonction de la longueur de ces objets.

$$R = 50 \text{ cm} ; l = 30 \text{ mm}$$

$$R = 50 \text{ cm} ; l = 10 \text{ mm}$$

$$R = 6 \text{ cm} ; l = 10 \text{ mm}$$

Fig. 15.

Il est évident que si l'on a affaire à des observateurs différents, ils auront un œil plus ou moins apte à saisir le commencement de la courbure et par conséquent ils obtiendront des résultats différents. La vitesse plus ou moins grande avec laquelle la courbure s'effectue doit sûrement intervenir pour fausser encore les résultats. On voit par cela combien sont précaires les conclusions que l'on tire des déterminations du temps de réaction.

La courbure minimum qu'on aperçoit à l'œil nu, pour les plantes de plus de 25 mm. de longueur, a un rayon d'environ 500 mm. correspondant à une valeur de la déviation de

$$h_R = \frac{l^2}{2r} = \frac{l^2}{1000}$$

TABLEAU XXIII. — Déviation h de l'extrémité de plantes d'avoine placées à 45° de leur position normale et observées dans cette position de 5 en 5 minutes avec le cathétomètre.

Números	TEMPS EN MINUTES										Température en degrés C.	Longueur en millim.			
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50			55	60	
	484	-0,1	-0,1	-0,05	-0,15	-0,2	-0,2	-0,25	-0,25	-0,3			-0,25	-0,25	-0,15	13	19
491	-0,05	-0,05	-0,05	0,0	0,1	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,6	13	21
498	0,05	0,05	0,0	0,1	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,6	0,65	13	21
490	-0,05	-0,1	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,15	-0,2	-0,2	-0,2	0,0	13	22
485	0,0	0,15	0,2	0,25	0,25	0,25	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,6	0,65	13	23
496	-0,1	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,15	-0,05	0,0	0,1	0,15	0,15	0,3	0,6	13	24
497	-0,15	-0,25	-0,35	-0,4	-0,55	-0,6	-0,7	-0,75	-0,9	-0,9	-0,9	-1,0	-0,95	13	24
499	0,05	0,1	0,3	0,4	0,3	0,45	0,5	0,5	0,65	0,8	0,8	0,9	1,2	13	24
492	0,0	0,0	0,0	0,0	0,05	0,0	0,0	0,15	0,2	0,35	0,5	0,5	0,7	14	12
480	-0,05	-0,1	-0,2	-0,3	-0,4	-0,35	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	-0,15	0,0	0,0	14	16
493	-0,05	-0,1	-0,05	0,0	0,0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,2	0,2	0,25	0,25	14	18
500	0,0	0,0	0,0	0,05	0,05	0,05	0,1	0,15	0,2	0,35	0,5	0,5	0,85	14	19
489	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,25	-0,35	-0,3	-0,35	-0,3	-0,25	-0,05	-0,05	14	20
486	-0,1	-0,05	-0,05	-0,05	0,0	0,0	0,0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,2	0,3	14	21
494	0,05	0,0	0,0	0,05	0,0	0,0	0,05	0,1	0,2	0,25	0,35	0,6	0,6	14	21
478	0,0	0,05	0,05	0,1	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,6	0,65	0,65	14	22
479	0,05	0,0	0,0	-0,05	0,0	-0,1	0,0	0,05	0,1	0,2	0,3	0,45	0,45	14	22
487	-0,1	-0,1	-0,05	0,05	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	0,7	1,05	1,05	14	22
477	0,1	0,0	0,1	0,25	0,45	0,65	0,85	0,95	1,15	1,2	1,15	1,15	1,1	14	23
495	0,0	0,1	0,15	0,3	0,35	0,4	0,4	0,45	0,5	0,65	0,9	1,1	1,1	14	23
488	-0,1	-0,15	-0,25	-0,3	-0,35	-0,4	-0,4	-0,45	-0,55	-0,55	-0,55	-0,4	-0,4	15	17
482	-0,1	-0,15	-0,2	-0,3	-0,35	-0,5	-0,55	-0,65	-0,65	-0,65	-0,55	-0,4	-0,4	15	17
476	0,25	0,55	0,75	0,9	1,0	1,15	1,0	0,9	0,7	0,5	0,35	0,3	0,3	15	18
481	-0,1	-0,05	-0,15	-0,25	-0,25	-0,3	-0,2	-0,2	-0,15	0,0	0,1	0,15	0,15	15	18
483	0,0	-0,1	-0,15	-0,1	-0,05	-0,05	-0,1	-0,1	-0,05	0,0	0,05	0,1	0,1	15	18
475	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,05	0,05	-0,05	-0,15	-0,25	-0,35	-0,5	-0,7	-0,7	16	14
474	0,0	0,1	0,0	0,0	0,05	0,0	-0,05	-0,05	0,05	0,1	0,15	0,2	0,2	16	18
467	0,1	0,15	0,1	0,1	0,0	-0,1	-0,1	-0,2	0,1	0,25	0,45	0,8	0,8	16	20
473	0,05	0,0	-0,1	-0,05	0,2	0,05	0,2	0,3	0,35	0,05	0,75	0,7	0,7	17	12
465	-0,05	0,0	-0,05	-0,15	-0,25	-0,45	-0,6	-0,5	-0,25	-0,2	0,1	0,55	0,55	17	16
466	-0,1	-0,1	0,4	0,6	0,6	0,8	0,9	1,05	1,1	1,3	1,5	1,5	1,5	17	18

469	0,05	-0,1	-0,1	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	0,05	0,1	0,05	0,05	0,1	0,05	0,05	0,15	0,2	17
472	-0,05	-0,05	-0,2	-0,1	-0,25	-0,3	-0,4	-0,4	-0,2	-0,1	-0,05	-0,05	-0,1	-0,05	0,1	0,3	17
463	0,0	-0,05	-0,1	-0,15	-0,25	-0,45	-0,6	-0,45	-0,45	-0,35	-0,15	0,0	-0,15	0,0	0,2	0,2	17
464	0,1	0,0	0,0	-0,1	-0,15	-0,15	-0,1	-0,2	-0,2	-0,15	-0,1	0,0	-0,15	-0,05	-0,05	0,05	20
470	0,0	0,05	0,05	0,0	0,05	0,05	0,1	0,0	0,0	0,1	0,15	0,0	0,1	0,15	0,3	0,4	17
462	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,45	0,5	0,65	0,65	0,7	0,9	1,2	1,45	1,2	1,45	1,45	17
453	-0,2	-0,3	-0,2	-0,15	-0,2	-0,1	-0,05	0,0	0,0	0,25	0,5	0,7	0,9	0,5	0,7	0,9	18
451	-0,2	-0,25	-0,3	-0,3	-0,2	-0,1	-0,05	0,1	0,1	0,3	0,55	0,7	0,9	0,7	0,9	0,9	18
452	-0,15	-0,15	-0,05	-0,15	-0,05	0,1	0,15	0,3	0,3	0,55	0,7	0,85	1,1	0,85	1,1	1,1	18
471	-0,3	-0,35	-0,4	-0,4	-0,35	-0,35	-0,15	-0,05	-0,05	0,0	0,2	0,55	0,8	0,2	0,55	0,8	18
323	0,0	0,0	0,0	-0,15	-0,25	-0,3	-0,25	-0,15	-0,15	-0,15	-0,15	0,1	0,25	0,25	0,55	0,55	19
454	0,05	0,1	0,25	0,35	0,35	0,45	0,45	0,45	0,5	0,7	0,85	1,0	1,2	1,0	1,2	1,2	19
310	0,0	-0,1	-0,25	-0,25	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1	0,2	0,5	0,75	1,0	0,75	1,0	1,0	19
321	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,05	0,1	0,25	0,6	0,8	1,05	1,1	1,1	1,05	1,1	1,1	19
320	-0,05	0,05	0,1	0,3	0,35	0,7	0,75	1,0	1,2	1,3	1,5	1,8	1,95	1,4	1,95	1,95	19
457	0,05	0,1	0,3	0,35	0,5	0,7	0,75	1,0	1,2	1,3	1,5	1,8	1,8	1,4	1,95	1,95	18
455	-0,05	-0,05	-0,3	-0,4	-0,5	-0,55	-0,6	-0,65	-0,65	-0,6	-0,4	-0,2	0,0	-0,4	0,0	0,0	19
456	-0,2	-0,3	-0,35	-0,2	0,0	0,1	0,15	0,25	0,5	0,5	0,75	1,1	1,5	1,1	1,5	1,5	19
458	-0,05	-0,1	-0,05	-0,25	-0,35	-0,3	-0,2	-0,1	0,05	0,2	0,5	0,8	1,35	0,2	0,5	0,8	19
468	-0,2	-0,15	0,0	-0,1	-0,2	-0,05	0,1	0,25	0,35	0,5	0,9	1,35	1,9	0,9	1,35	1,35	19
459	-0,2	-0,15	-0,2	-0,25	-0,35	-0,25	0,0	0,25	0,45	0,65	1,25	1,9	3,4	0,95	1,25	1,25	19
461	-0,45	-0,7	-0,95	-1,2	-1,35	-1,4	-1,4	-1,45	-1,4	-1,1	-1,15	-1,0	4,0	-1,1	-1,15	-1,0	19
460	-0,6	-0,95	-1,3	-1,65	-1,95	-2,1	-2,25	-2,45	-2,45	-2,5	-2,5	-2,4	4,4	-2,5	-2,4	-2,4	19
316	0,05	0,0	0,0	0,1	0,15	0,2	0,2	0,3	0,4	0,45	0,6	0,8	0,8	0,6	0,8	0,8	20
325	0,0	0,15	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,3	0,5	0,6	0,8	1,2	0,6	0,8	1,2	20
311	0,05	-0,05	-0,15	-0,15	-0,2	-0,2	-0,15	0,05	0,15	0,3	0,55	0,75	1,3	0,55	0,75	0,75	20
319	0,0	0,0	-0,1	-0,05	0,0	0,05	0,2	0,4	0,6	0,7	1,0	1,2	2,0	1,0	1,2	1,2	20
305	-0,1	0,2	0,0	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	1,1	0,8	1,1	1,1	20
327	-0,15	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,1	0,2	0,5	0,9	1,1	1,4	1,1	1,4	1,4	20
317	-0,1	-0,15	-0,3	-0,25	-0,2	-0,1	0,1	0,1	0,3	0,45	0,7	1,0	2,0	0,7	1,0	2,0	20
322	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,4	0,5	0,8	0,95	1,3	1,8	2,1	2,8	1,8	2,1	2,1	20
329	-0,2	-0,15	-0,3	-0,3	-0,25	-0,2	-0,1	-0,15	0,1	0,15	0,3	0,6	0,85	0,1	0,3	0,6	20
318	-0,15	-0,15	-0,15	-0,15	0,0	0,15	0,35	0,75	1,15	1,55	2,05	2,35	3,15	2,05	2,35	2,35	20
326	0,0	-0,1	-0,05	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1	-0,05	0,05	0,1	0,3	0,4	0,4	0,1	0,3	0,4	20
304	0,0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,6	0,7	1,0	1,1	1,4	2,0	1,1	1,4	2,0	20
328	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	0,8	1,2	1,55	2,1	1,2	1,55	2,1	20
307	-0,3	-0,25	-0,3	-0,15	-0,3	-0,3	-0,15	-0,05	0,2	0,4	0,65	1,15	2,0	0,2	0,4	0,65	20
334	-0,15	-0,25	-0,15	-0,1	-0,1	0,1	0,2	0,45	0,55	0,9	1,1	1,2	2,2	1,1	1,2	1,2	20
312	-0,05	0,0	0,2	0,3	0,3	0,3	0,35	0,55	0,65	0,8	1,2	1,55	2,3	1,2	1,55	2,3	20
313	0,3	0,45	0,8	0,85	1,25	1,35	1,65	2,0	2,45	2,85	3,15	3,55	4,4	2,45	2,85	3,15	20

TABLEAU XXIII (suite)

Numéros	TEMPS EN MINUTES												Température en degrés C.	Longueur en millim.
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60		
	330	-0,1	0,0	0,05	-0,05	0,1	0,1	0,15	0,3	0,4	0,5	0,7			0,9	20	23
309	-0,3	-0,45	-0,5	-0,45	-0,3	-0,1	-0,2	-0,2	0,05	0,45	0,6	0,9	20	28
303	-0,2	-0,1	-0,2	-0,1	-0,3	-0,2	-0,2	-0,05	0,6	0,7	0,8	1,1	20	29
308	0,0	0,1	0,05	0,0	-0,05	0,05	0,2	0,2	0,7	0,8	1,1	1,4	20	29
306	0,1	-0,15	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,25	0,4	0,65	1,0	1,4	20	30
335	-0,05	-0,05	-0,1	-0,1	-0,1	0,15	0,4	0,55	0,65	0,9	1,15	1,45	21	17
324	0,05	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4	0,6	0,9	21	18
336	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,3	0,5	0,6	0,7	1,1	1,4	21	18
332	0,0	-0,3	-0,4	-0,3	-0,2	-0,25	-0,3	-0,3	-0,2	0,0	0,2	0,4	21	20
301	0,0	0,1	0,2	0,15	0,2	0,2	0,3	0,4	0,7	1,2	1,3	1,7	21	21
331	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,8	0,85	1,0	1,1	1,5	21	21
302	-0,1	-0,1	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,2	0,2	0,5	0,9	1,1	1,4	21	27
315	0,0	-0,1	0,05	0,1	0,15	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	22	17
333	0,2	0,3	0,4	0,3	0,4	0,45	0,5	0,55	0,75	1,0	1,25	1,5	22	17
314	-0,2	-0,4	-0,3	-0,25	-0,2	-0,15	-0,05	0,2	0,4	0,7	0,9	1,2	22	19
337	0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,15	0,1	0,3	0,5	0,8	1,1	1,4	1,8	22	20
340	0,0	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,4	0,5	0,8	1,3	1,6	2,0	22	21
338	0,0	0,1	0,1	0,25	0,3	0,5	0,7	0,9	0,9	1,3	1,6	2,1	22	21
339	0,0	0,0	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,1	1,3	1,5	1,6	22	27
347	0,0	0,0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	1,1	1,4	1,9	2,3	2,75	23	18
348	-0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,1	0,2	0,45	0,6	1,0	1,5	2,2	23	21
343	-0,3	-0,5	-0,6	-0,6	-0,5	-0,4	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	0,1	0,2	23	22
349	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,05	0,2	0,4	0,7	0,9	1,3	2,0	23	30
341	0,0	-0,05	0,1	0,2	0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	1,1	1,5	1,9	23	31
346	0,1	0,1	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,7	1,1	1,4	1,7	1,8	24	14
345	0,2	0,3	0,3	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1	1,1	1,3	1,5	1,7	24	18
344	0,1	0,0	0,2	0,3	0,5	0,6	0,9	1,3	1,9	2,4	2,7	3,2	24	20
350	0,1	-0,1	-0,2	-0,1	0,0	0,2	0,4	0,7	1,1	1,4	1,8	2,3	24	20
342	0,1	0,0	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,8	1,3	1,8	2,4	3,0	24	27

Pour une plante de 30 mm. on aurait

$$h = \frac{900}{1000} = 0,9 \text{ mm.}$$

Pour une plante de 40 mm.

$$h = \frac{1600}{1000} = 1,6 \text{ mm.}$$

On voit donc que *le temps de réaction ne peut être défini comme le temps au bout duquel la réaction commence, mais bien celle où la courbure a atteint une valeur suffisante pour être visible à l'œil, nu ou armé du microscope, du cathétomètre ou de tel instrument qu'on voudra.*

Cette conclusion nous servira lors de l'élaboration d'un essai de théorie mathématique du géotropisme.

Réaction géotropique de plantes d'avoine placées de manière à faire un angle de 45° avec leur position verticale normale.

Mon intention primitive en faisant construire mon appareil était de comparer la réaction géotropique de plantes placées de manière à faire différents angles avec la verticale; d'autres études qui m'ont semblé plus intéressantes m'ont empêché jusqu'à présent de faire ces expériences. Toutefois comme j'avais besoin d'une vérification pour certaine conclusion de ma théorie mathématique du géotropisme, j'ai effectué deux séries d'expériences (n^{os} 301-350 et n^{os} 450-500) avec des plantes d'avoine placées de manière à faire un angle de 45° avec leur position normale. La colonne graduée du cathétomètre était inclinée à 45° en sens inverse de façon à être perpendiculaire à l'axe de la plante et parallèle au plan vertical contenant la plante. Les résultats des deux séries d'expériences ont été réunis et classés dans le tableau XXIII d'après la température d'expérience et la longueur des plantes. Les déviations

négatives (vers le bas) ont été imprimées en caractères gras.

Le tableau XXIV donne les valeurs de la déviation moyenne h , son index de variabilité σ et l'erreur probable de ces deux quantités.

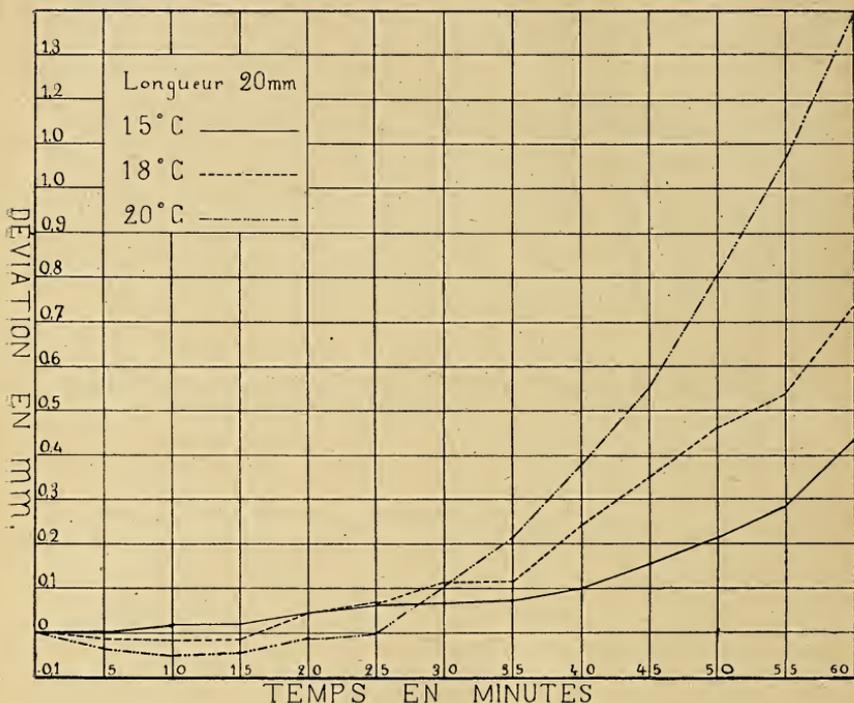


Fig. 16.

J'ai formé des catégories de températures (de 3 en 3 degrés) et de longueur (de 5 en 5 mm.) et j'ai calculé la déviation moyenne de h , l'index de variabilité et leur erreur probable, pour les 3 catégories où j'avais assez d'expériences pour pouvoir compter sur une exactitude suffisante des résultats.

Les résultats de ces calculs sont donnés dans le tableau XXIV. Le dernier cadre du tableau donne les moyennes des 100 expériences effectuées.

Dans le graphique (fig. 16) j'ai représenté la variation

TABLEAU XXIV

	TEMPS EN MINUTES											Température en degrés C.	Longueur en millim.	
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55			60
<i>h</i> moyen	0,000	0,019	0,019	0,046	0,062	0,069	0,073	0,100	0,154	0,212	0,285	0,435	15 n = 13	20
<i>E_h</i>	0,018	0,033	0,042	0,050	0,064	0,054	0,058	0,055	0,049	0,043	0,045	0,059		
σ	0,096	0,177	0,225	0,267	0,342	0,290	0,312	0,295	0,262	0,229	0,242	0,318		
<i>E_{\sigma}</i>	0,013	0,023	0,030	0,035	0,045	0,038	0,041	0,039	0,035	0,030	0,032	0,042		
<i>h</i> moyen	-0,017	-0,018	-0,011	0,044	0,067	0,111	0,113	0,244	0,350	0,467	0,639	0,833	18 n = 9	20
<i>E_h</i>	0,017	0,018	0,031	0,046	0,066	0,090	0,103	0,114	0,120	0,131	0,143	0,160		
σ	0,075	0,079	0,139	0,203	0,292	0,400	0,459	0,506	0,535	0,585	0,635	0,714		
<i>E_{\sigma}</i>	0,012	0,013	0,022	0,032	0,046	0,064	0,073	0,080	0,085	0,093	0,101	0,112		
<i>h</i> moyen	-0,031	-0,050	-0,042	-0,011	0,000	0,103	0,214	0,381	0,553	0,806	1,072	1,389	21 n = 18	20
<i>E_h</i>	0,019	0,027	0,033	0,033	0,031	0,036	0,040	0,061	0,055	0,070	0,078	0,087		
σ	0,120	0,173	0,207	0,209	0,198	0,229	0,255	0,341	0,347	0,441	0,493	0,547		
<i>E_{\sigma}</i>	0,013	0,019	0,023	0,023	0,022	0,026	0,029	0,043	0,039	0,050	0,055	0,061		
<i>h</i> moyen	-0,013	-0,043	-0,043	-0,031	-0,010	-0,039	0,101	0,217	0,359	0,533	0,735	0,973	18,3 n = 100	20,9
<i>E_h</i>	0,013	0,019	0,025	0,030	0,035	0,040	0,044	0,052	0,066	0,065	0,073	0,084		
σ	0,135	0,195	0,265	0,317	0,370	0,420	0,465	0,536	0,691	0,687	0,772	0,881		
<i>E_{\sigma}</i>	0,009	0,013	0,018	0,021	0,025	0,028	0,031	0,036	0,047	0,046	0,052	0,059		

de h moyen en fonction du temps; on voit que la forme de la courbe est la même que celle fournie par les plantes exposées horizontalement; en comparant ce graphique avec celui de la figure 9, on voit que les courbes correspondantes sont plus rapidement ascendantes pour les plantes exposées horizontalement; de même la flexion vers le bas est plus accentuée. Ces faits se traduiront dans les valeurs de a et b dans l'équation $h = at + bt^2$.

Les valeurs de a et de b ont été calculées par la méthode des moindres carrés en tenant compte du poids des valeurs moyennes de h (voir le tableau XXV).

TABLEAU XXV

	15° C.	18° C.	21° C.	Longueur
$a =$	- 0,00139	- 0,00519	- 0,01335	20 millim.
$b =$	0,00012	0,00160	0,00058	20 millim.

En calculant les valeurs de h moyen, en introduisant dans l'équation de la parabole les valeurs de a et de b , et en comparant ces valeurs avec celles trouvées expérimentalement, on est amené aux mêmes constatations que pour les plantes exposées horizontalement, soit : 1° dans la limite des erreurs probables la variation de h en fonction du temps est bien représentée par une parabole de la forme $h = at + bt^2$; 2° les différences $\delta = h$ calculé - h . observé varient systématiquement de la même manière que pour les plantes observées horizontalement; c'est-à-dire sont négatives au début, puis deviennent positives pour redevenir négatives à la fin de l'expérience. Le tableau XXVI donne les valeurs de h observé (moyenne des déviations mesurées au cathétomètre), h calculé, δ et l'erreur probable de h , Eh .

La discussion des résultats de ces expériences sera faite dans la partie théorique de ce travail (p. 530).

TABLEAU XXVI

	TEMPS EN MINUTES										Température en degrés C.	Longueur en millim.		
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50			55	60
<i>h</i> obs.	0,000	0,019	0,019	0,046	0,062	0,069	0,073	0,100	0,154	0,212	0,285	0,435	15	20
<i>h</i> calc.	-0,004	-0,002	0,007	0,021	0,042	0,068	0,101	0,139	0,184	0,235	0,293	0,356		
δ	-0,004	-0,021	-0,012	-0,025	-0,020	-0,001	0,038	0,039	0,030	0,023	0,008	-0,079		
<i>E_h</i>	0,018	0,033	0,042	0,050	0,064	0,054	0,058	0,055	0,049	0,043	0,045	0,059		
<i>h</i> obs.	-0,017	-0,018	-0,011	0,044	0,067	0,111	0,113	0,244	0,350	0,467	0,639	0,833	18	20
<i>h</i> calc.	-0,018	-0,021	-0,010	0,016	0,058	0,114	0,185	0,272	0,374	0,490	0,621	0,768		
δ	-0,001	-0,003	-0,001	-0,023	-0,009	0,003	0,072	0,028	0,024	0,023	-0,013	-0,065		
<i>E_h</i>	0,012	0,013	0,022	0,032	0,046	0,064	0,073	0,080	0,085	0,093	0,101	0,112		
<i>h</i> obs.	-0,031	-0,050	-0,042	-0,011	0,000	0,103	0,214	0,381	0,553	0,806	1,072	1,389	21	20
<i>h</i> calc.	-0,052	-0,075	-0,069	-0,033	0,031	0,125	0,248	0,401	0,582	0,793	1,033	1,301		
δ	-0,021	-0,025	-0,027	-0,022	-0,031	0,022	0,034	0,020	0,029	-0,013	-0,039	-0,033		
<i>E_h</i>	0,019	0,027	0,033	0,033	0,031	0,036	0,040	0,061	0,055	0,070	0,078	0,087		
<i>h</i> obs.	-0,018	-0,048	-0,043	-0,031	-0,010	0,039	0,101	0,217	0,359	0,533	0,735	0,973	18,3	20,9
<i>h</i> calc.	-0,039	-0,058	-0,057	-0,035	0,007	0,069	0,152	0,255	0,378	0,521	0,685	0,869		
δ	-0,021	-0,010	-0,014	-0,004	0,017	0,030	0,051	0,038	0,019	-0,011	-0,050	-0,104		
<i>E_h</i>	0,013	0,019	0,025	0,030	0,035	0,040	0,044	0,052	0,066	0,065	0,073	0,084		

TABLEAU XXVII. — Déviation h de l'extrémité de plantes d'avoine placées à 15° de leur position normale et observées, dans cette position, de 5 en 5 minutes avec le cathétomètre.

Numéros	TEMPS EN MINUTES											Température en degrés C.	Longueur en millim.	
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55			60
	442	0,1	0,3	0,35	0,5	0,65	0,75	0,8	0,8	0,75	0,75			0,55	0,5	13	12
443	-0,05	-0,1	-0,15	-0,25	-0,3	-0,35	-0,45	-0,4	-0,45	-0,45	-0,45	-0,4	14	15
444	-0,05	-0,05	-0,1	-0,1	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	0,0	0,05	15	11
446	-0,05	-0,1	-0,05	0,0	0,0	-0,05	0,0	0,05	0,1	0,2	0,35	0,35	15	14
445	-0,05	-0,05	-0,15	-0,15	-0,15	-0,15	-0,15	-0,1	-0,1	-0,1	0,05	0,15	15	14
448	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,05	0,0	0,0	0,05	0,05	0,1	0,2	0,25	17	13
441	-0,1	0,0	0,1	0,15	0,05	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,3	0,5	17	14
440	-0,05	-0,15	-0,2	-0,2	-0,15	-0,1	-0,1	-0,1	-0,05	-0,05	0,05	0,05	18	14
450	0,0	0,0	-0,05	-0,05	0,05	0,05	0,15	0,2	0,4	0,45	0,05	0,6	18	14
447	0,0	-0,1	-0,1	0,0	0,2	0,3	0,4	0,45	0,5	0,5	0,4	0,5	18	21
428	0,0	0,05	0,05	0,15	0,2	0,3	0,5	0,7	0,95	1,15	1,6	1,85	18	24
437	-0,05	0,1	0,2	0,25	0,25	0,25	0,4	0,4	0,6	0,8	1,0	1,4	18	26
436	-0,1	-0,1	-0,3	-0,25	-0,15	-0,2	-0,25	-0,25	-0,3	-0,2	-0,25	-0,2	18	27
449	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,2	0,25	0,25	0,3	0,4	0,55	0,55	19	13
432	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,05	-0,05	-0,05	-0,15	-0,15	0,6	0,6	19	15
433	0,0	-0,1	-0,2	-0,25	-0,35	-0,45	-0,5	-0,3	-0,2	0,0	0,15	0,35	19	16
434	0,0	-0,1	-0,1	-0,15	-0,2	-0,25	-0,2	-0,15	0,05	0,15	0,4	0,5	19	16
435	0,1	0,2	0,05	0,05	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	19	17
430	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,05	-0,05	0,0	0,0	0,1	0,15	0,2	0,4	19	19
429	-0,05	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,15	0,2	0,25	0,4	0,5	19	20
438	0,0	-0,05	-0,05	0,0	0,05	0,1	0,15	0,35	0,4	0,5	0,75	0,85	19	20

439	0,05	0,05	0,1	0,25	0,35	0,45	0,45	0,45	0,5	0,55	0,7	0,7	0,75	19	21
431	0,0	-0,1	-0,15	-0,05	0,0	0,0	0,0	-0,15	-0,1	-0,05	0,0	0,05	0,1	19	22
422	-0,05	-0,05	-0,05	-0,15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,5	0,7	1,0	19	23
423	0,05	0,1	0,1	0,15	0,15	0,15	0,15	0,2	0,35	0,55	0,7	1,0	1,2	19	24
419	-0,05	0,0	0,0	0,1	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,1	20	14
420	0,0	0,0	-0,1	-0,2	-0,25	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1	0,0	0,1	0,25	0,25	20	15
421	-0,2	-0,3	-0,3	-0,5	-0,7	-0,8	-0,95	-0,95	-1,1	-1,2	-1,35	-1,35	-1,2	20	15
416	0,1	0,05	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,35	0,5	0,5	0,6	0,65	0,75	20	19
426	0,05	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,05	0,0	0,05	0,05	0,05	0,1	0,2	0,2	20	22
418	0,1	0,1	0,2	0,2	0,35	0,45	0,6	0,45	0,45	0,4	0,5	0,45	0,5	20	24
427	0,0	0,1	0,35	0,75	0,8	0,95	1,3	1,4	1,4	1,75	1,9	2,15	2,35	20	24
425	0,05	0,05	0,1	0,1	0,0	-0,05	0,1	0,1	0,1	0,3	0,45	0,7	0,95	20	25
424	0,2	0,15	0,2	0,3	0,25	0,3	0,35	0,35	0,35	0,35	0,3	0,3	0,35	20	31
413	0,1	0,05	0,0	0,0	0,1	0,1	0,05	0,15	0,15	0,15	0,25	0,25	0,3	21	8
408	0,0	0,0	-0,1	-0,3	-0,4	-0,65	-0,75	-0,7	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3	21	13
412	0,05	0,0	0,0	0,0	0,05	0,05	0,3	0,5	0,5	0,65	0,8	0,85	0,7	21	13
410	-0,1	-0,15	-0,2	-0,2	-0,3	-0,1	0,1	0,1	0,25	0,45	0,8	0,95	1,1	21	15
407	0,05	0,0	0,15	0,2	0,3	0,25	0,15	0,3	0,2	0,2	0,3	0,4	0,6	21	17
409	-0,1	-0,05	-0,05	0,0	0,0	0,1	0,25	0,3	0,4	0,4	0,65	0,8	1,0	21	18
415	-0,05	-0,1	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,25	-0,1	0,1	0,1	0,2	0,4	0,65	21	19
417	-0,15	-0,1	0,0	0,1	0,2	0,25	0,4	0,4	0,4	0,5	0,65	0,7	0,9	21	25
414	0,0	-0,15	-0,2	-0,2	-0,25	-0,3	-0,3	-0,25	-0,25	-0,05	0,1	0,2	0,4	21	31
411	0,05	0,1	0,0	-0,05	-0,05	-0,1	0,05	0,45	0,45	0,8	1,05	1,4	1,75	21	32
403	-0,05	-0,1	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	0,3	0,45	0,75	0,95	1,05	1,25	1,25	23	14
404	0,0	0,0	0,05	-0,05	-0,05	-0,05	0,0	0,05	0,05	0,25	0,5	0,65	0,55	23	14
405	0,05	0,0	-0,1	0,05	0,2	0,25	0,4	0,55	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	23	14
401	-0,2	-0,3	-0,35	-0,4	-0,45	-0,55	-0,7	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,4	-0,3	23	15
406	0,2	0,2	0,1	0,15	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	23	15
402	-0,1	-0,2	-0,25	-0,25	-0,2	-0,15	-0,05	-0,1	0,1	0,3	0,35	0,55	0,65	23	19

**Réaction géotropique de plantes d'avoine
placées de manière à faire un angle de 15° avec
leur position verticale normale.**

Je donne ici une petite série de cinquante expériences (n^{os} 401-450) où une plante d'avoine était placée de manière à faire un angle de 15° avec sa position verticale normale; ces expériences ont été faites entre le 26 août et le 27 septembre 1910, époque où la température du laboratoire a varié entre 13° et 23° C; il ne m'est par conséquent pas possible de former des catégories température-longueur contenant un nombre suffisant d'expériences; aussi n'ai-je fait qu'une seule catégorie du tout et calculé la température moyenne et la longueur moyenne.

Les résultats des expériences sont donnés dans le tableau XXVII.

Le tableau XXVIII donne la moyenne de h au bout de chaque intervalle de 5 minutes et l'index de variabilité σ ainsi que l'erreur probable de ces quantités. Les valeurs négatives de h moyen sont imprimées en caractères gras.

TABLEAU XXVIII

	TEMPS EN MINUTES						Tempér. moy. °C.	Longueur moyenne en millim.
	5	10	15	20	25	30		
h moyen.	-0,009	-0,020	-0,027	-0,004	0,012	0,030	19,3	21,8
E_h	0,008	0,011	0,015	0,021	0,025	0,029		
σ	0,084	0,115	0,158	0,225	0,264	0,297		
E_σ	0,006	0,008	0,011	0,015	0,018	0,020		
	TEMPS EN MINUTES						Tempér. moy. °C.	Longueur moyenne en millim.
	35	40	45	50	55	60		
h moyen.	0,070	0,148	0,230	0,398	0,446	0,576	19,3	21,8
E_h	0,035	0,037	0,042	0,041	0,051	0,053		
σ	0,375	0,392	0,443	0,435	0,531	0,559		
E_σ	0,025	0,026	0,030	0,029	0,036	0,038		

Le graphique (fig. 17) montre nettement qu'ici encore nous avons une courbe ressemblant beaucoup à une parabole de la forme $h = at + bt^2$ où a est négatif. En calculant a et b par la méthode des moindres carrés nous trouvons

$$a = -0,00529 \quad b = 0,000242$$

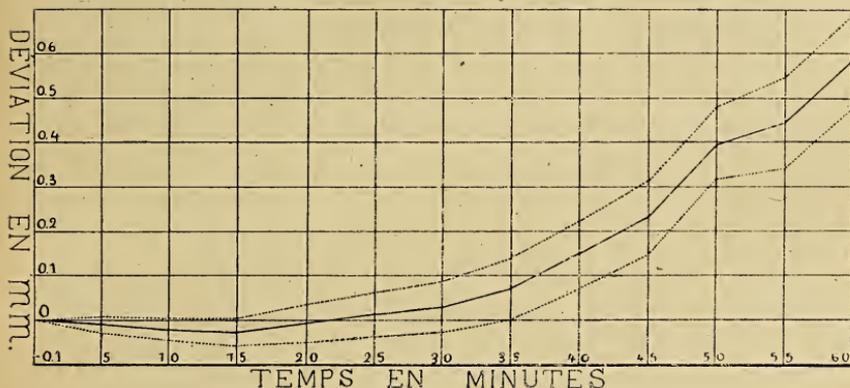


Fig. 17.

Le tableau XXIX donne la valeur observée de h comparée avec sa valeur calculée par la formule $h = -0,00529t + 0,000242 t^2$, la différence δ entre h . calc. et h . obs. ainsi que l'erreur probable de h . obs.

TABLEAU XXIX

	TEMPS EN MINUTES					
	5	10	15	20	25	30
h obs.	-0,009	-0,020	-0,027	-0,004	0,012	0,030
h calc.	-0,020	-0,029	-0,025	-0,009	0,019	0,059
δ	-0,011	-0,009	0,002	-0,005	0,007	0,029
E_h	0,008	0,011	0,015	0,021	0,025	0,029
	TEMPS EN MINUTES					
	35	40	45	50	55	60
h obs.	0,070	0,148	0,230	0,398	0,446	0,576
h calc.	0,111	0,176	0,252	0,341	0,441	0,554
δ	0,041	0,028	0,022	-0,057	-0,005	-0,022
E_h	0,035	0,037	0,042	0,041	0,051	0,053

TABLEAU XXX. — Déviation *h* de l'extrémité d'une tige (coléoptile) d'avoine exposée horizontalement pendant 5 minutes, puis observée au cathétomètre une fois replacée verticalement.

Numéros	TEMPS EN MINUTES										Température en degrés C.	Longueur en millim.		
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50			55	
755	0,0	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,3	0,2	0,2	0,1	0,0	-0,1	26	14
795	0,2	0,0	0,1	0,1	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,1	0,2	0,2	26	14
723	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,2	0,1	26	15
711	-0,4	-0,2	-0,1	-0,1	0,0	0,3	0,4	0,6	0,2	0,2	0,2	0,2	26	16
713	-0,3	-0,2	-0,1	0,1	0,3	0,5	0,5	0,2	0,2	-0,1	-0,3	-0,4	26	16
712	0,0	0,2	0,2	0,5	0,5	0,7	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8	0,7	26	17
717	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	26	16
735	-0,1	-0,1	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,1	1,1	1,2	1,3	26	16
724	0,2	0,0	0,3	0,4	0,6	0,7	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	26	19
797	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,0	26	19
734	0,3	0,2	0,6	0,5	0,6	0,9	1,0	1,3	1,6	1,6	1,8	1,8	26	20
714	0,1	0,1	0,2	0,5	0,6	0,7	0,6	0,8	0,6	0,8	0,8	0,8	26	21
722	0,1	0,3	0,4	0,4	0,5	0,7	0,8	0,8	0,7	0,6	0,6	0,4	26	21
703	0,0	0,1	0,2	0,5	0,7	0,8	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	26	22
716	0,0	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,4	0,3	0,0	-0,1	-0,1	26	22
715	0,2	0,5	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	1,0	1,0	0,7	0,4	0,3	26	23
782	0,0	0,0	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	0,8	0,8	0,8	0,9	1,0	26	24
788	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,5	26	24
798	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	26	24
720	0,0	-0,1	-0,2	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	0,0	0,0	0,2	0,5	0,7	26	25
787	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,5	0,7	26	25
799	0,1	0,4	0,5	0,5	0,6	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	26	27
800	0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	26	27
794	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,3	0,5	0,8	0,9	1,0	1,0	1,0	26	32
793	1,0	1,4	1,7	2,0	2,4	2,5	2,5	2,7	2,7	2,4	2,0	2,0	26	40
762	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,4	0,6	0,7	0,7	0,6	0,6	27	14
728	0,0	0,0	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7	27	15
768	-0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	0,9	0,9	27	15
738	0,0	0,0	0,1	0,1	0,3	0,5	0,7	0,7	0,8	0,4	0,4	0,1	27	16
769	0,1	0,0	0,0	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	0,5	0,3	27	16
730	0,0	0,0	0,0	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	27	17

705	-0,2	-0,4	-0,2	-0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,1	0,2	27
732	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,2	-0,3	27
742	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,6	0,7	1,0	1,0	1,1	1,1	27
754	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,3	0,4	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	0,6	27
761	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	-0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	27
784	0,2	0,2	0,3	0,4	0,6	0,9	1,0	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	27
746	0,0	-0,1	-0,2	0,0	0,0	0,3	0,4	0,7	0,9	0,9	0,8	0,8	0,6	27
770	0,1	0,2	0,3	0,6	0,9	1,0	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	27
718	-0,2	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	0,8	0,8	0,7	0,5	0,7	0,7	0,7	27
725	0,1	0,2	0,1	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1	-0,1	27
737	0,1	0,1	0,1	0,3	0,4	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,4	0,4	0,5	27
785	0,0	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,7	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	27
744	0,0	0,0	0,3	0,1	0,5	0,5	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	27
783	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	27
789	0,0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,5	27
710	-0,1	-0,1	0,1	0,3	0,4	0,5	0,7	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	27
719	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1	0,0	0,1	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	27
736	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	27
753	0,1	0,1	0,0	-0,1	-0,2	0,0	0,2	0,3	0,3	0,6	1,0	1,0	1,1	27
760	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	27
792	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,2	0,4	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	27
702	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5	27
721	0,1	0,2	0,3	0,7	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	27
726	0,1	0,0	0,0	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1	27
763	0,0	0,1	0,2	0,4	0,7	1,0	1,2	1,5	1,6	1,6	1,4	1,4	1,3	27
791	0,4	0,6	0,7	0,6	0,7	0,8	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8	0,5	0,5	27
796	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,2	-0,4	-0,4	-0,4	27
739	0,5	0,5	0,6	0,7	0,9	1,3	1,5	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7	27
786	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,4	-0,4	-0,7	27
731	0,4	0,5	0,8	0,7	1,0	1,2	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	27
748	-0,1	-0,2	-0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,5	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	27
757	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,4	0,3	0,3	27
705	0,0	-0,1	-0,1	-0,3	-0,1	0,2	0,0	0,1	0,1	0,1	-0,2	-0,2	-0,2	27
727	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,4	0,2	0,2	27
743	0,0	0,0	-0,1	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,0	-0,3	27
740	0,3	0,3	0,7	0,9	1,1	1,2	1,2	1,0	0,9	0,9	0,5	0,1	0,1	27
709	-0,2	-0,7	-0,8	-0,6	-0,4	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,2	-0,2	27
701	0,7	0,7	0,6	0,6	0,7	0,9	1,0	1,1	1,1	1,1	1,2	1,1	1,1	27
707	0,1	0,3	0,3	0,5	0,7	1,0	1,3	1,4	1,4	1,4	1,3	1,5	1,5	27
741	0,2	0,2	0,1	0,1	-0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,6	0,9	0,9	27

TABLEAU XXX (suite)

Nombres	TEMPS EN MINUTES											Température en degrés C.	Longueur en millim.
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55		
	733	0,0	-0,1	0,0	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,0			0,1	27	30
747	0,3	0,5	0,5	0,7	1,0	1,3	1,6	1,9	1,9	2,0	2,0	27	31
790	0,2	0,3	0,2	0,4	0,5	0,7	0,9	1,0	1,1	1,2	1,2	27	31
776	0,1	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1	1,0	1,0	27	32
781	0,1	0,3	0,4	0,6	0,7	0,8	1,0	1,3	1,5	1,6	1,6	27	32
704	-0,2	0,0	0,2	0,1	0,4	0,4	0,3	-0,1	0,2	0,1	0,3	27	33
745	0,5	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	0,9	1,1	1,0	0,7	0,7	27	33
749	0,3	0,6	0,6	0,8	1,1	1,1	1,3	1,3	1,2	1,0	0,9	27	33
729	0,9	1,0	1,1	1,5	1,9	2,0	2,3	2,4	2,4	2,5	2,3	27	34
708	0,3	0,5	0,4	0,4	0,7	1,2	1,3	1,1	1,0	1,3	1,2	27	40
767	0,0	0,0	0,2	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	28	13
751	0,0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,1	-0,1	-0,3	-0,1	-0,3	-0,3	-0,4	28	14
765	0,1	0,0	0,1	0,2	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	0,7	0,5	28	14
774	0,0	0,0	0,2	0,2	0,3	0,5	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	28	15
752	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,3	0,5	0,5	0,3	0,2	0,1	28	16
772	0,0	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,3	0,0	-0,1	-0,1	28	16
773	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,5	0,3	0,3	0,1	28	16
759	0,3	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,9	1,0	1,0	0,9	0,7	28	17
766	0,3	0,3	0,4	0,5	0,8	0,9	1,0	0,6	0,4	0,2	0,0	28	18
756	0,1	0,2	0,2	0,3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,0	-0,2	28	19
771	0,0	0,0	0,1	0,3	0,5	0,6	0,6	0,3	-0,1	-0,1	-0,1	28	19
758	0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	1,0	1,1	1,1	0,9	0,9	0,8	28	21
764	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,5	0,5	0,5	0,7	0,6	0,7	28	21
780	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,5	0,5	28	22
750	0,1	0,2	0,3	0,4	0,7	0,9	1,0	1,3	1,2	1,2	1,2	28	33
777	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	0,9	1,0	28	33
775	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	0,1	0,0	28	28
778	0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,2	0,3	0,3	0,2	0,0	0,0	28	25
779	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	28	27

On peut voir ici encore l'accord, dans les limites des erreurs probables, entre les valeurs expérimentales et calculées de h ; de nouveau, la valeur de δ commence par être négative, puis devient positive pour redevenir négative vers la fin de l'expérience.

**Réaction géotropique de coléoptiles d'avoine
placées horizontalement pendant
un certain temps puis replacées verticalement et
observées dans cette position.**

Les expériences précédentes nous ont permis de conclure qu'une plante d'avoine déplacée de sa position verticale commence immédiatement à se courber géotropiquement vers le haut, mais que cette courbure est masquée au début par une flexion d'ordre mécanique vers le bas.

Si nous supprimons l'action mécanique de la pesanteur en replaçant la plante verticalement après l'avoir soumise à l'action géotropique en position horizontale, nous devons nous attendre à voir, quelque court que soit le temps pendant lequel la plante a été déplacée, se manifester une courbure dans le sens positif, c'est-à-dire vers le côté de la plante qui était en haut au moment de l'exposition en position horizontale.

J'ai fait trois séries d'expériences afin de vérifier si ces présomptions étaient exactes ; pour la première série, j'ai laissé la plante cinq minutes horizontalement ; pour la seconde, deux minutes ; pour la troisième, quinze secondes ; puis la plante a été remise verticalement et observée avec le cathétomètre dont la colonne graduée était placée horizontalement et dans un plan parallèle à celui dans lequel la plante avait été déplacée.

**PREMIÈRE SÉRIE — Cinq minutes d'exposition
horizontale.**

Les expériences de cette série portent les n^{os} 701 à 800 ; elles ont été faites du 1^{er} au 18 août 1911 ; la chaleur

exceptionnellement continue de l'été 1911 explique comment toutes ces expériences ont pu être faites à des températures de 26 à 28° C; si nous classons les expériences comme dans les autres séries, elles rentrent toutes dans la catégorie à température médiane égale à 27°.

Le tableau XXX donne le résultat des expériences classées comme d'habitude d'après les températures croissantes et dans chaque température d'après les longueurs; les valeurs négatives de la déviation h sont imprimées en caractères gras.

Pour les calculs, j'ai groupé les plantes par catégories de longueurs, les coupes étant faites de 5 en 5 mm., j'ai calculé la déviation moyenne (h moyen) et son erreur probable (Eh) ainsi que l'index de variabilité (σ) et son erreur probable ($E\sigma$). Les résultats sont donnés par le tableau XXXI. Le dernier cadre de ce tableau donne h moyen, Eh , σ et $E\sigma$ pour l'ensemble des 100 expériences, la série étant assez homogène pour permettre cette opération.

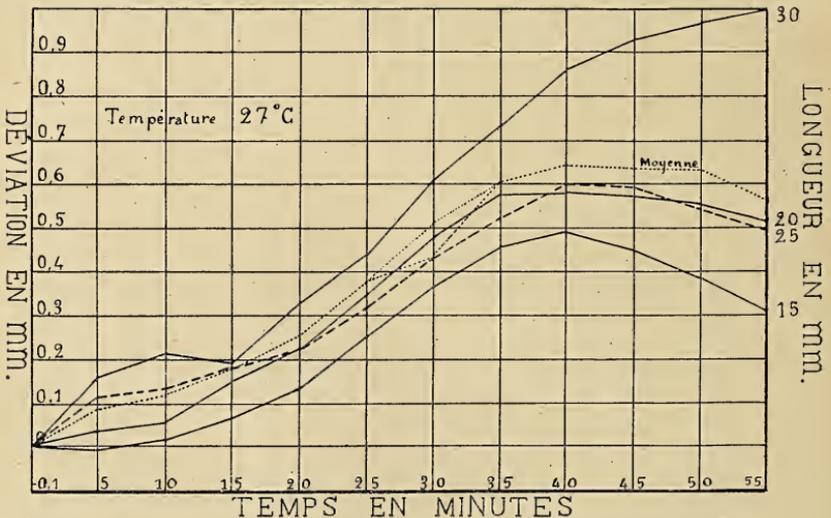


Fig. 18.

Le graphique (fig. 18) représente la variation de la dé-

TABLEAU XXXI

	TEMPS EN MINUTES										Température m ^e C.	Longueur médiane en millim.	
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50			55
<i>h</i> moyen	-0,005	0,014	0,064	0,136	0,250	0,368	0,459	0,492	0,450	0,392	0,314	27	15
<i>E_h</i>	0,020	0,015	0,017	0,023	0,022	0,025	0,036	0,039	0,053	0,056	0,058		
σ	0,141	0,101	0,115	0,161	0,150	0,174	0,252	0,274	0,372	0,387	0,406		
<i>E_g</i>	0,014	0,010	0,012	0,016	0,015	0,018	0,026	0,028	0,038	0,037	0,041			n = 22
<i>h</i> moyen	0,041	0,059	0,150	0,221	0,350	0,482	0,579	0,582	0,571	0,559	0,515	27	20
<i>E_h</i>	0,014	0,017	0,020	0,026	0,032	0,034	0,036	0,040	0,048	0,053	0,057		
σ	0,119	0,150	0,174	0,226	0,278	0,294	0,314	0,347	0,411	0,460	0,491		
<i>E_g</i>	0,010	0,012	0,014	0,018	0,023	0,024	0,026	0,028	0,024	0,038	0,040			n = 34
<i>h</i> moyen	0,118	0,132	0,182	0,222	0,318	0,430	0,521	0,600	0,593	0,543	0,496	27	25
<i>E_h</i>	0,018	0,028	0,036	0,051	0,047	0,057	0,061	0,082	0,064	0,066	0,073		
σ	0,144	0,217	0,280	0,322	0,366	0,446	0,478	0,489	0,501	0,518	0,576		
<i>E_g</i>	0,013	0,020	0,025	0,029	0,033	0,040	0,043	0,044	0,045	0,047	0,052			n = 28
<i>h</i> moyen	0,160	0,210	0,190	0,330	0,440	0,610	0,730	0,860	0,930	0,970	1,000	27	30
<i>E_h</i>	0,047	0,077	0,081	0,078	0,088	0,096	0,118	0,135	0,141	0,137	0,127		
σ	0,220	0,362	0,381	0,366	0,415	0,450	0,555	0,633	0,660	0,642	0,597		
<i>E_g</i>	0,033	0,055	0,057	0,055	0,063	0,068	0,084	0,095	0,100	0,096	0,090			n = 10
<i>h</i> moyen	0,090	0,120	0,180	0,254	0,379	0,507	0,603	0,645	0,639	0,631	0,561	Moyennes	de toutes les expériences
<i>E_h</i>	0,014	0,018	0,020	0,023	0,027	0,021	0,032	0,035	0,038	0,036	0,039		
σ	0,204	0,264	0,296	0,347	0,406	0,507	0,476	0,515	0,547	0,541	0,575		
<i>E_g</i>	0,010	0,013	0,014	0,017	0,019	0,030	0,023	0,025	0,026	0,026	0,027			n = 100

viation moyenne en fonction du temps. La ligne pointillée, désignée par *moyenne*, donne h moyen pour l'ensemble des 100 expériences.

Ces tracés montrent que *les déviations sont positives dès le début* ; une seule valeur de h moyen est négative, celle qui correspond à 5 minutes dans la catégorie 27°, 15 mm. ; mais la déviation moyenne est de $-0,005$ mm. alors que son erreur probable est 0.020 mm. ; on voit qu'on ne peut attacher de signification à cette valeur négative.

Les plantes courtes semblent se comporter autrement que les longues ; l'extrémité de celles de 15 et 20 mm. commence à se déplacer dans le sens positif, mais d'abord très lentement puis de plus en plus vite ; la vitesse de courbure décroît ensuite ; la déviation moyenne atteint un maximum vers 40 minutes puis décroît régulièrement.

Les plantes de 25 et 30 mm. de longueur semblent se courber très vite vers le haut pendant les premières 10 minutes ; puis la courbure se ralentit, semble même régresser pour les plantes de 30 mm., pour augmenter de nouveau ; la vitesse de courbure va sans cesse en diminuant jusqu'au maximum de la déviation ; il n'y a pas de phase où la courbure semble s'accélérer.

TABLEAU XXXII

Déplacement h_1 en position horizontale	Déplacement h_2 en position verticale	$h_2 - h_1$
$-0,007 \pm 0,011$	$-0,005 \pm 0,020$	0,002
$-0,025 \pm 0,015$	$0,041 \pm 0,014$	0,016
$-0,112 \pm 0,014$	$0,118 \pm 0,018$	0,006
$-0,143 \pm 0,013$	$0,160 \pm 0,047$	0,017

Comparons (tableau XXXII) le déplacement pendant les 5 premières minutes, où la plante est de nouveau dans la station verticale, avec le déplacement pendant la position

horizontale ; pour cela nous n'avons qu'à prendre dans le tableau VIII les chiffres des mêmes catégories température-longueur.

On voit que pendant les 5 premières minutes où la plante est replacée verticalement, il se produit un déplacement h_2 en sens inverse de celui h_1 qu'on a constaté pendant les 5 minutes d'exposition horizontale ; ce déplacement dans le sens positif est légèrement plus grand que le déplacement vers le bas, ce qu'indique le fait que $h_2 - h_1$ est toujours positif ; mais $h_2 - h_1$ est toujours plus petit que l'erreur probable de h_2 de sorte qu'on ne peut pas affirmer que le déplacement h_2 est réellement plus fort que h_1 .

DEUXIÈME SÉRIE. — 2 minutes d'exposition horizontale.

Les expériences de cette série portent les n^{os} 801 à 900 et ont été faites du 18 août au 1^{er} septembre 1911 ; la température s'est maintenue assez élevée pendant toute cette période pour que toutes les expériences rentrent dans les catégories à température médiane de 24° C et 27° C. Les résultats sont donnés dans le tableau XXXIII, classés de la même manière que dans les tableaux précédents. Les valeurs négatives de la déviation h sont imprimées en caractères gras.

Le tableau XXXIV donne pour toutes les catégories de température-longueur où le nombre des expériences était d'au moins sept les valeurs de h moyen et de l'index de variabilité σ de h ainsi que les erreurs probables ; les valeurs négatives de h moyen ont été imprimées en caractères gras.

Dans la figure 19 j'ai représenté la variation de la déviation h en fonction du temps. En comparant ces courbes avec celles de la figure 18, représentant les déviations des

TABLEAU XXXIII. — Déviation h en millimètres de l'extrémité de la coléoptile de plantes d'avoine placées horizontalement pendant 2 minutes et observées ensuite verticalement.

Numéros	TEMPS EN MINUTES										Température en degrés C.	Longueur en millim.	
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50			55
893	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	23
836	0,1	0,3	0,3	0,4	0,6	0,6	0,6	0,7	0,6	0,6	0,5	0,4	23
829	0,2	0,5	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,5	0,4	0,4	0,1	23
862	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,2	0,3	0,3	33
828	0,4	0,4	0,0	0,0	0,3	0,6	0,6	0,7	0,6	0,5	0,3	0,4	23
834	0,2	0,2	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	24
837	0,0	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	17
843	0,4	0,4	0,6	0,9	1,0	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1	1,2	1,2	24
894	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	24
839	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	24
840	-0,1	-0,2	-0,5	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,5	-0,4	-0,2	-0,2	24
842	0,2	0,3	0,4	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	24
820	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	24
838	-0,1	-0,2	-0,4	-0,5	-0,5	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	-0,5	-0,8	24
835	0,0	-0,4	-0,3	-0,5	-0,4	-0,4	-0,5	-0,5	-0,6	-0,7	-0,7	-0,9	24
831	0,1	0,1	0,3	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,3	0,4	0,4	24
841	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6	0,5	0,4	24
863	0,0	0,2	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	24
833	0,3	0,6	0,5	0,6	0,8	0,8	1,0	1,1	1,1	0,9	0,9	1,0	24
832	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	1,1	1,2	29
830	0,2	0,1	-0,2	-0,3	-0,1	0,0	0,0	-0,2	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3	33
861	0,3	0,5	0,6	0,4	0,3	0,5	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,9	24
844	0,5	0,8	1,0	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1	1,0	1,2	1,4	1,5	24
823	0,1	0,2	0,1	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,6	0,4	25
854	0,0	-0,1	-0,1	-0,3	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	14
852	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,5	0,7	0,9	0,9	0,9	0,8	0,7	15
892	0,0	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	0,4	0,2	0,0	15
857	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,6	16
856	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	17
859	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3	17
868	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	17

TABLEAU XXXIV

TEMPS EN MINUTES

	TEMPS EN MINUTES										Température en degrés C.	Longueur en millim.
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50			55
<i>h</i> moyen	0,060	0,090	0,070	0,070	0,160	0,200	0,280	0,320	0,310	0,230	0,170	24 15
<i>E_h</i>	0,014	0,026	0,025	0,043	0,044	0,059	0,064	0,083	0,079	0,078	0,073	
σ	0,066	0,122	0,119	0,200	0,206	0,276	0,299	0,387	0,370	0,366	0,344	
<i>E_{\sigma}</i>	0,010	0,018	0,018	0,030	0,031	0,042	0,045	0,058	0,056	0,055	0,052	
<i>h</i> moyen	0,095	0,109	0,141	0,186	0,191	0,245	0,264	0,208	0,273	0,264	0,084	24 20
<i>E_h</i>	0,019	0,022	0,028	0,040	0,049	0,056	0,064	0,074	0,078	0,084	0,093	
σ	0,133	0,156	0,197	0,280	0,341	0,387	0,443	0,513	0,544	0,581	0,644	
<i>E_{\sigma}</i>	0,014	0,016	0,020	0,028	0,035	0,039	0,045	0,052	0,055	0,059	0,065	
<i>h</i> moyen	0,067	0,093	0,113	0,127	0,153	0,173	0,193	0,153	0,100	0,080	-0,007	24 25
<i>E_h</i>	0,016	0,037	0,053	0,069	0,076	0,079	0,089	0,089	0,090	0,087	0,092	
σ	0,094	0,214	0,305	0,396	0,438	0,455	0,508	0,507	0,519	0,498	0,529	
<i>E_{\sigma}</i>	0,012	0,026	0,038	0,049	0,054	0,056	0,063	0,063	0,064	0,061	0,065	
<i>h</i> moyen	0,267	0,400	0,325	0,391	0,425	0,508	0,550	0,533	0,583	0,617	0,650	24 35
<i>E_h</i>	0,038	0,064	0,104	0,117	0,141	0,159	0,184	0,200	0,201	0,206	0,203	
σ	0,193	0,327	0,533	0,602	0,725	0,817	0,947	1,026	1,030	1,057	1,044	
<i>E_{\sigma}</i>	0,027	0,045	0,073	0,083	0,100	0,112	0,130	0,141	0,142	0,146	0,144	
<i>h</i> moyen	0,014	0,057	0,114	0,214	0,286	0,371	0,400	0,414	0,357	0,329	0,343	27 15
<i>E_h</i>	0,021	0,030	0,044	0,064	0,077	0,090	0,096	0,118	0,134	0,136	0,139	
σ	0,083	0,118	0,173	0,253	0,304	0,353	0,378	0,464	0,526	0,534	0,545	
<i>E_{\sigma}</i>	0,015	0,021	0,031	0,046	0,055	0,064	0,068	0,084	0,095	0,096	0,098	
<i>h</i> moyen	0,042	0,017	-0,025	-0,008	0,017	0,058	0,117	0,092	0,058	0,050	0,042	27 20
<i>E_h</i>	0,017	0,021	0,031	0,032	0,039	0,046	0,053	0,058	0,054	0,059	0,058	
σ	0,086	0,107	0,159	0,166	0,199	0,236	0,273	0,296	0,275	0,301	0,299	
<i>E_{\sigma}</i>	0,012	0,015	0,022	0,023	0,027	0,032	0,038	0,041	0,038	0,041	0,041	
<i>h</i> moyen	0,088	0,075	0,050	0,086	0,075	0,088	0,137	0,100	0,137	0,250	0,175	27 25
<i>E_h</i>	0,028	0,052	0,066	0,086	0,102	0,103	0,115	0,114	0,114	0,117	0,128	
σ	0,116	0,222	0,278	0,359	0,426	0,431	0,482	0,477	0,477	0,492	0,538	
<i>E_{\sigma}</i>	0,020	0,037	0,047	0,061	0,072	0,073	0,081	0,080	0,080	0,083	0,091	
<i>h</i> moyen	0,200	0,225	0,262	0,312	0,425	0,462	0,550	0,687	0,800	0,875	0,900	27 30
<i>E_h</i>	0,041	0,059	0,075	0,088	0,096	0,114	0,115	0,128	0,153	0,156	0,157	
σ	0,173	0,249	0,316	0,369	0,402	0,479	0,482	0,537	0,640	0,655	0,658	
<i>E_{\sigma}</i>	0,027	0,042	0,053	0,062	0,068	0,081	0,081	0,091	0,108	0,110	0,111	

plantes exposées horizontalement pendant 5 minutes, on voit que les courbes ont absolument la même allure. Les plantes longues présentent aussi au début une déviation positive brusque, puis la vitesse de courbure diminue pour augmenter ensuite puis décroître régulièrement jusqu'à ce que la déviation atteigne un maximum; celui-ci est atteint au bout d'un temps qui varie entre 40 et plus de 55 minutes. Les plantes de 15 mm., mises en expérience à 27°, présentent une courbure allant en s'accéléralant au début et se comportent comme les plantes courtes exposées horizontalement pendant 5 minutes.

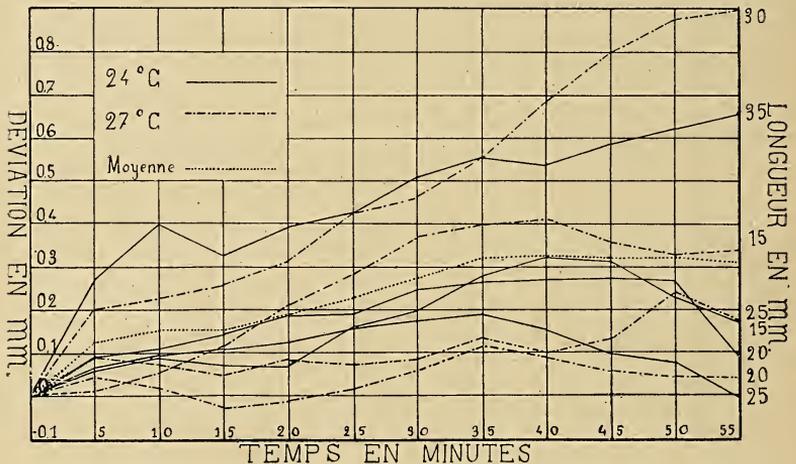


Fig. 19.

Comme ces 100 expériences se répartissent en un plus grand nombre de catégories de température-longueur que les 100 expériences avec exposition horizontale pendant 5 minutes, les diverses courbes sont plus irrégulières vu le faible nombre de cas pour chaque catégorie.

La courbe (en pointillé, fig. 19) représentant la variation de la déviation moyenne pour les 100 expériences a absolument la même allure que celle de *h* moyen des plantes exposées horizontalement avec la seule différence que les ordonnées sont constamment plus faibles.

TROISIÈME SÉRIE. — Quinze secondes d'exposition horizontale.

Les expériences de cette série portent les nos 901 à 987 et ont été faites du 2 au 22 septembre 1911 ; la température a varié entre 23 et 28° C ; toutes les expériences rentrent donc dans les catégories à température médiane de 24° et 27°. Les résultats sont donnés dans le tableau XXXV, classés comme de coutume ; les valeurs négatives de la déviation h sont imprimées en caractères gras.

Le tableau XXXVI donne pour les deux catégories de température-longueur comprenant un nombre suffisant d'expériences la valeur de h moyen, de l'index de variabilité σ de h ainsi que les erreurs probables. Les valeurs négatives de h moyen ont été imprimées en caractères gras. La dernière case du tableau donne les mêmes valeurs pour l'ensemble des 87 expériences effectuées.

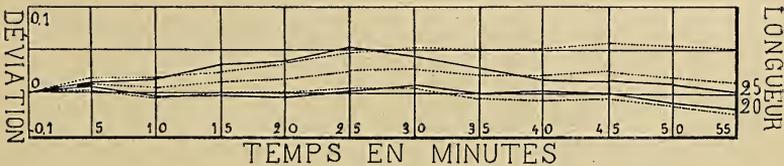


Fig. 20.

Dans la figure 20, j'ai représenté graphiquement la variation de h moyen en fonction du temps ; les deux courbes en traits pleins donnent les valeurs de h moyen pour les catégories 24°, 20 mm., et 24°, 25 mm ; la ligne pointillée centrale donne la variation de h moyen pour l'ensemble des 87 expériences effectuées. Les deux autres lignes pointillées sont placées à la distance du double de l'erreur probable de h moyen. On voit que malgré un temps d'exposition aussi court (15 sec.) la déviation est encore franchement positive ; l'allure de la courbe des 87 expériences est la même que celle des 100 expériences où l'exposition était

TABLEAU XXXV. — Déviations *h* mesurées en millimètres de l'extrémité de la coléoptile de plantes d'avoine placées pendant 15 secondes horizontalement, puis observées au cathétomètre une fois replacées verticalement.

Numéros	TEMPS EN MINUTES										Température en degrés C.	Longueur en millim.				
	TEMPS EN MINUTES															
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50			55			
959	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,1	23	13
901	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,3	23	18
979	0,0	0,2	0,2	0,4	0,4	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	1,1	23	20
957	-0,1	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,4	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,6	23	21
982	0,0	0,0	0,2	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3	23	21
980	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,5	23	22
984	0,1	0,1	0,0	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,4	23	22
981	0,1	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	23	23
987	0,1	0,1	0,1	0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	23	24
986	0,0	0,0	0,1	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	23	26
958	0,2	0,1	0,0	0,1	0,2	0,3	0,1	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	23	28
985	0,0	0,1	0,3	0,5	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	23	30
976	-0,4	-0,3	-0,9	-1,2	-1,5	-1,7	-1,7	-1,7	-1,5	-1,5	-1,5	-1,3	-1,3	-1,2	23	31
972	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	24	18
955	-0,1	0,0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	24	19
951	0,0	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3	0,2	0,2	0,0	0,0	-0,1	24	20
954	-0,2	-0,2	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	24	20
956	0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	24	20
966	0,0	-0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,6	-0,6	-0,5	-0,5	-0,4	-0,6	24	20
975	0,0	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,3	24	20
965	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	24	21
950	0,1	0,0	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	24	22
969	0,0	-0,1	-0,2	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	-0,6	-0,6	-0,6	-0,7	-0,5	24	22
960	0,1	0,1	0,0	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	24	23
973	0,0	-0,1	0,0	0,0	-0,2	-0,2	-0,4	-0,4	-0,6	-0,6	-0,8	-0,8	-0,9	-1,0	24	23
977	-0,1	-0,1	0,0	0,1	0,0	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,3	-0,4	24	23
968	-0,2	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	24	24
978	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3	24	24

TABLEAU XXXV (suite)

Numéros	TEMPS EN MINUTES										Température en degrés C.	Longueur en millim.				
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50			55			
907	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4	0,1	0,3	26	18
933	0,0	0,0	-0,2	-0,1	-0,1	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,2	-0,2	-0,1	0,0	26
903	0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	26
927	0,0	0,0	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	26
905	0,1	0,0	0,0	0,1	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,6	0,6	0,8	0,8	26
904	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	26
914	0,0	0,0	-0,1	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1	0,0	-0,1	0,1	26
932	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	26
945	0,0	0,0	0,1	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,9	0,9	26
926	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	26
938	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	26
913	0,0	-0,1	0,0	-0,1	-0,3	-0,5	-0,3	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,9	-1,0	-1,0	26
924	0,1	0,0	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	26
934	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	26
940	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,2	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	26
915	0,0	-0,1	-0,2	-0,2	-0,3	-0,4	-0,3	-0,6	-0,7	-0,7	-0,9	-0,9	-1,0	-1,2	-1,2	26
939	0,0	0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,3	-0,5	-0,6	-0,6	-0,6	-0,7	-0,7	-0,8	-0,8	26
923	0,1	0,2	0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,3	0,3	26
925	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	26
937	-0,1	-0,2	-0,1	0,0	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	26
936	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,1	0,3	0,3	0,3	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	27
912	-0,1	0,0	-0,1	-0,3	-0,4	-0,2	-0,4	-0,1	-0,3	-0,2	-0,1	-0,2	0,0	0,1	0,1	28

TABLEAU XXXVI

		TEMPS EN MINUTES										Température en degrés C.	Longueur en millim.	
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50			55
<i>h</i> moyen	<i>E_h</i>	0,017	-0,003	-0,004	-0,008	0,004	0,021	0,000	0,004	0,000	-0,021	-0,033	24 n = 24	20
	<i>σ</i>	0,010	0,016	0,019	0,027	0,031	0,038	0,043	0,047	0,050	0,051	0,057		
	<i>σ</i>	0,075	0,119	0,137	0,193	0,228	0,277	0,314	0,341	0,363	0,371	0,415		
	<i>E_σ</i>	0,007	0,012	0,013	0,019	0,022	0,027	0,031	0,033	0,035	0,036	0,040		
<i>h</i> moyen	<i>E_h</i>	0,028	0,032	0,068	0,076	0,104	0,088	0,060	0,032	0,032	0,024	0,044	24 n = 25	25
	<i>σ</i>	0,018	0,025	0,027	0,028	0,037	0,046	0,050	0,056	0,061	0,068	0,075		
	<i>σ</i>	0,131	0,182	0,201	0,210	0,276	0,339	0,373	0,413	0,451	0,503	0,557		
	<i>E_σ</i>	0,012	0,017	0,019	0,020	0,026	0,032	0,036	0,040	0,043	0,048	0,053		
<i>h</i> moyen	<i>E_h</i>	0,021	0,014	0,029	0,033	0,056	0,060	0,044	0,041	0,051	0,039	0,028	Ensemble des expériences effectuées.	87
	<i>σ</i>	0,008	0,011	0,013	0,016	0,020	0,024	0,027	0,030	0,032	0,035	0,038		
	<i>σ</i>	0,107	0,150	0,173	0,218	0,267	0,318	0,361	0,400	0,426	0,461	0,507		
	<i>E_σ</i>	0,006	0,008	0,009	0,012	0,014	0,017	0,019	0,021	0,023	0,025	0,027		

5 et 2 minutes ; c'est à dire que pendant les premières minutes où la plante est replacée dans la position verticale il se produit une courbure relativement rapide dans le sens positif puis la vitesse diminue pour augmenter de nouveau ; au bout d'un certain temps la courbure qui a atteint un maximum régresse.

Interprétation des résultats des trois séries d'expérience.

Comparons les courbes de h moyen de toutes les expériences faites en exposant les plantes respectivement pendant 5 min., 2 min. et 15 sec. horizontalement (fig. 18, 19 et 20.)

L'allure de ces trois courbes (représentées en pointillé) est analogue. On peut se représenter ces courbes comme formées par la superposition de deux courbes correspondant à deux phénomènes différents.

Si le géotropisme agissait seul, nous verrions probablement la courbure commencer immédiatement avec une certaine vitesse qui irait en diminuant graduellement jusqu'au moment où devenant nulle, la courbure atteindrait un maximum ; puis la courbure décroîtrait de nouveau sous l'influence de l'autotropisme. Si l'autotropisme agissait d'une manière toujours égale, la courbe serait une parabole de la forme

$$h = vt - \beta t^2$$

où v serait la vitesse de courbure au début et β l'accélération due à l'autotropisme.

Supposons maintenant que le géotropisme n'intervienne pas. Pendant que la plante est placée horizontalement, elle se courbe lentement vers le bas sous l'influence du poids de la plante ; cette courbure se fait lentement, freinée qu'elle est probablement par la résistance que les membranes protoplasmiques et cellulosiques opposent à la fil-

tration de l'eau qui doit se déplacer de cellule à cellule pour permettre la flexion. Lorsqu'on replace la plante verticalement, elle tend à se redresser, comme le ferait une lame d'acier ; quoique ici encore, le mouvement soit freiné, la plante dépasse sa position normale, puis revient en arrière pour reprendre sa direction primitive par une série d'oscillations ; ces oscillations seront d'amplitude de plus en plus faible comme celle d'un ressort.

Nos courbes (fig. 18, 19 et 20) montrent que la première oscillation surtout est forte tandis que les suivantes restent dans la limite des erreurs.

Mon intention était de calculer les valeurs des quantités v et β de l'équation $h = vt - \beta t^2$ comme je l'avais fait pour les plantes exposées à la pesanteur pendant toute la durée de l'expérience. Il ne m'a pas été possible de le faire pour les raisons suivantes : 1^o à cause de la superposition du mouvement oscillatoire décrit plus haut ; 2^o parce que en 55 minutes, durée de l'expérience, on n'a guère que la partie ascendante de la courbe, et 3^o parce que la forme de la courbe n'est une parabole que d'une façon approchée vu que β , qui serait l'accélération négative due à l'autotropisme, varie avec la courbure. La discussion des résultats des expériences sera faite dans le chapitre théorique (page 530).

Essai d'une théorie mathématique du géotropisme.

Dans ce chapitre, je veux essayer de coordonner les résultats quantitatifs fournis par les expériences présentées dans les paragraphes précédents avec ceux des différents auteurs qui ont énoncé des lois sur le géotropisme. Qu'il soit bien entendu que je ne m'occupe ici que du géotropisme des organes orthotropes, c'est-à-dire de ceux qui ont leur position normale dans la direction de la verticale.

La théorie que je vais donner est une *théorie simplifiée*,

car j'ai dû faire des hypothèses et des simplifications quand j'ai dû tenir compte du rôle de la nutation et de l'autotropisme.

Les conclusions auxquelles sont arrivés les différents auteurs qui se sont occupés du géotropisme peuvent se résumer comme suit : 1° *Si l'on place une plante de façon qu'elle fasse un angle avec la direction d'une force capable d'agir géotropiquement sur elle (pesanteur ou force centrifuge), la plante ne commence à se courber qu'au bout d'un certain temps (temps de réaction)*; 2° *si, après avoir soumis une plante à une force capable d'induire une réaction géotropique, pendant un certain temps (temps d'exposition), on soustrait la plante à l'action de la force, il n'y a courbure que si le temps d'exposition a atteint ou dépassé une certaine durée (temps de présentation).*

Mes expériences me semblent démontrer que ces conclusions sont erronées ; les plantes exposées et observées en position horizontale présentent une flexion vers le bas au début de l'expérience, flexion qui se fait surtout à la base de la plante ; mais en même temps commence la courbure géotropique vers le haut, et rien ne parle pour que cette courbure ne commence pas immédiatement ; le temps de réaction, s'il existe, serait donc excessivement court et n'aurait plus aucun rapport avec ce que les auteurs ont nommé jusqu'à présent temps de réaction. Les expériences faites avec des plantes exposées pendant 5, 2 minutes et 15 secondes horizontalement puis observées verticalement montrent une décroissance régulière de la courbure maxima atteinte au fur et à mesure que le temps d'exposition diminue ; rien n'autorise à prétendre qu'en choisissant un temps d'exposition moindre, il puisse arriver qu'il ne se produise plus de courbure. Il pourrait advenir que la déviation moyenne soit complètement masquée par l'erreur probable due à la nutation, mais en faisant un nombre très grand d'expériences on pourrait toujours démontrer une déviation dans le sens positif.

Je crois pouvoir tirer de mes expériences la conception suivante : *Une plante soumise à l'action d'une force capable d'agir géotropiquement sur elle commence à se courber immédiatement. Les temps de réaction et de présentation ne peuvent être définis comme les temps d'exposition nécessaires pour que la courbure commence, mais comme les temps d'exposition nécessaires pour qu'il se produise une courbure telle qu'on puisse l'apercevoir à l'œil nu ou armé.* En étudiant le temps de réaction, nous étions déjà arrivé à cette conclusion (voir page 469).

Les lois trouvées en mesurant les temps de réaction et de présentation gardent malgré ce changement de définition une signification. Ce chapitre montrera que ces lois sont approximatives et peuvent être déduites d'une loi fondamentale, que j'énoncerai plus loin, en négligeant certains termes, généralement petits dans les conditions où l'on se place quand on détermine soit le temps de présentation soit le temps de réaction.

On a énoncé jusqu'à aujourd'hui cinq lois régissant le géotropisme; les voici dans l'ordre chronologique.

PREMIÈRE LOI. Fitting¹, à l'aide de son clinostat intermittent, est arrivé à des résultats qui peuvent s'énoncer comme suit : *Pour que les inductions géotropiques produites par l'exposition d'une plante à la pesanteur agissant sous des angles $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots$ soient égales, il faut que les plantes soient soumises à l'action de la pesanteur pendant des temps t_1, t_2, t_3, \dots tels que l'on ait*

$$t_1 \sin \alpha_1 = t_2 \sin \alpha_2 = t_3 \sin \alpha_3 = \dots$$

Cette loi peut également s'énoncer comme suit :

L'induction géotropique (effet produit sur la plante) est proportionnelle au sinus de l'angle que fait l'axe de la plante avec la verticale et proportionnelle au temps pendant lequel la pesanteur agit.

¹ H. Fitting. *Untersuchungen über den geotropischen Reizvorgang.* (Jahrb. f. w. Bot. Bd 41. 1904.

DEUXIÈME LOI. En 1909¹, j'ai démontré la loi suivante : *Pour que l'induction géotropique produite par une force centrifuge f_1 soit égale à l'induction produite par une force f_2 , il faut que le rapport $\frac{f_1}{f_2}$ soit égal au rapport $\frac{t_2}{t_1}$ des temps pendant lesquels les forces agissent.*

Cette loi peut aussi s'énoncer de la manière suivante : *L'induction géotropique (effet produit sur la plante) est proportionnelle à la force centrifuge et au temps pendant lequel la force agit.*

Dans les deux premières lois, l'induction se définit par la propriété suivante : *Deux inductions géotropiques sont égales, lorsque, agissant en directions opposées sur la plante, alternativement ou simultanément, la plante ne se courbe pas.* Ces deux premières lois sont indépendantes de l'état psychologique de l'observateur.

TROISIÈME LOI. *Le produit de la force centrifuge qui agit sur une plante par le temps de présentation géotropique correspondant est une constante.* Cette loi était donnée implicitement par la figure où Bach² montre graphiquement la variation du temps de présentation en fonction de la force centrifuge ainsi que par sa table 36. Fröschel³, qui a démontré que le produit du temps de présentation phototropique par l'intensité lumineuse agissant sur la plante est une constante, a montré que les résultats de Bach amenaient les mêmes conclusions pour le géotropisme; le travail de Fröschel a été présenté le 2 avril 1908 à l'Académie des Sciences de Vienne. Sans avoir eu connaissance

¹ A. Maillefer. *Etude sur le géotropisme. Bull. Soc. vaud. Sc. nat.* XLV. 1909.

² Heinrich Bach, *Ueber die Abhängigkeit der geotropischen Präsentations- und Reaktionszeit von verschiedenen äusseren Faktoren.* Jahrb. f. w. Bot. Bd. 44, 1907.

³ Paul Fröschel. *Untersuchung über die heliotropische Präsentationszeit* Mitteilung. Sitzungsberichten d. k. Akad. d. Wissenschaften in Wien. Mat.-naturw. Kl. Bd CXVII Abt. I. 1908.

des travaux de Fröschel, j'énonçai moi-même¹ cette loi le 17 février 1909 en partant du travail de Bach; enfin le 29 mai 1909, Mlle *Pekelharing*² (maintenant M^{me} Rutten), sans avoir eu connaissance du travail de Fröschel ni du mien, énonçait la même loi devant l'Académie des Sciences d'Amsterdam en partant d'expériences personnelles très soigneusement faites.

QUATRIÈME LOI. *Le produit du temps de présentation d'une plante soumise à la pesanteur agissant obliquement sur elle par le sinus de l'angle que fait la plante avec la verticale est une constante.* Cette loi a été énoncée par Mlle *Pekelkaring* en même temps que la précédente.

CINQUIÈME LOI. *Le produit de la force centrifuge f qui agit géotropiquement sur une plante par le temps de réaction correspondant R diminué d'une constante k est une constante a .*

$$(R - k)f = a$$

Cette loi a été énoncée par *Tröndle*³; en étudiant les résultats très insuffisants fournis par Bach (loc. cit.), j'avais cru pouvoir formuler la loi suivante⁴: *Le temps de réaction géotropique est inversement proportionnel à la racine cinquième de la force centrifuge agissant.*

$$R = \sqrt[5]{\frac{a}{f}}$$

SIXIÈME LOI. *La vitesse de la courbure géotropique est proportionnelle au temps pendant lequel la pesanteur a agi sur la plante et proportionnel à un facteur nommé accélération géotropique.*

¹ A. Maillefer. *Variation de l'induction géotropique.* Procès-verbaux. Soc. vaud. Sc. nat. Séance du 17 février 1909.

² E.-J. *Pekelharing Onderzoekingen omtrent de betrekking tusschen presentatietijd en grootte van den prikkel bij geotropische krommingen.* Proceedings Koninklijke Akad. v. Wetenschappen, 1909.

³ A. Tröndle. *Der Einfluss des Lichtes auf die Permeabilität der Plasmahaut.* Jahrb. f. wiss. Bot. 48. 1910.

⁴ A. Maillefer. *Etude sur le géotropisme.* Bull. Soc. vaud. Sc. nat. XLV. 1909, p. 297.

Cette loi formait la conclusion de mon travail de 1910 sur la réaction géotropique¹.

Le but de ce travail sera de montrer qu'en développant la sixième loi, en y incorporant une définition de l'accélération géotropique, on peut retrouver les quatre premières lois, donner une nouvelle définition à la cinquième loi et en même temps coordonner les résultats des expériences qui sont relatées au début de ce travail.

La sixième loi développée, que j'appellerai par la suite la loi fondamentale du géotropisme, non parce que je crois avoir atteint le fond des choses, mais simplement parce que les autres lois peuvent s'en déduire simplement, a la teneur suivante :

Lorsqu'on soumet une plante orthogéotropique à l'action d'une force (force centrifuge ou gravité), elle commence immédiatement à se courber avec une certaine vitesse v due à une accélération de courbure b proportionnelle à la force qui agit sur la plante et au sinus de l'angle que fait l'axe de la plante avec la direction de la force. La vitesse de courbure v est proportionnelle au temps écoulé depuis le début de l'action géotropique. Si l'action de la force cesse à un moment donné, la courbure continue à s'accroître en vertu de la vitesse de courbure acquise. La courbure géotropique est contrariée par une action antagoniste, l'autotropisme qui tend constamment à ramener la plante dans sa position primitive; cette action peut être représentée par une accélération $\beta < b$. Après que la force aura cessé d'agir, la plante continuera à se courber, mais avec une vitesse de plus en plus faible; la courbure atteindra un maximum puis diminuera de nouveau.

La courbure se définit comme l'inverse du rayon de courbure; ceci suppose que la courbe présentée par la plante est un arc de cercle, ce qui sûrement n'est pas le

A. Maillifer, *Etude sur la réaction géotropique*. Bull. Soc. vaud. Sc. nat. XLVI, 1910, p. 254.

cas, la base de la coléoptile se courbe moins que d'autres régions ; il faudra une étude de détail pour voir si la courbure des diverses régions de la tige se fait suivant la loi fondamentale ; ce que je crois probable. Comme la courbure au bout du temps de réaction est encore très faible, la courbe réelle ne doit pas différer beaucoup d'un arc de cercle.

Les termes accélération et vitesse sont compris de la même manière qu'en mécanique ; les formules de la mécanique sont donc directement applicables. Dans les déductions qui suivent, j'ai supposé l'accélération de courbure géotropique b constante, ce qui n'est pas le cas d'après l'énoncé même de la loi fondamentale du géotropisme ; en effet, la plante en se courbant ne présente plus ses différentes parties sous le même angle à l'action de la pesanteur ; comme nous avons supposé l'accélération géotropique proportionnelle au sinus de l'angle que la plante fait avec la verticale, cette accélération doit changer constamment de valeur. Il sera possible par la suite, à l'aide d'expériences qu'on peut prévoir très délicates, de tenir compte des positions successives des diverses parties de la plante sur l'accélération géotropique. Cette étude donnerait la loi suivant laquelle la sensibilité géotropique est répartie le long de la plante. Une telle étude m'eût entraîné trop loin. Du reste, pendant mes expériences et celles où les auteurs ont déterminé les temps de présentation et de réaction, les courbures n'ont jamais atteint une valeur telle qu'il n'ait plus été permis de supposer que la pesanteur n'agissait plus avec la même intensité sur la plante, surtout lorsqu'il s'agissait de plantes exposées horizontalement.

J'ai de même supposé constante l'accélération β due à l'autotropisme ; on ne sait rien actuellement sur la variation de cette accélération en fonction de la courbure de la plante ; il ne m'est donc pas possible de tenir compte de cette accélération ; il est probable que β croît avec la cour-

bure; c'est pourquoi lorsque les courbures devenaient très petites, j'ai pu négliger l'autotropisme; dans les autres cas j'ai supposé β constant; les courbures restant toujours très faibles.

La loi fondamentale nous permettra de résoudre les problèmes suivants ¹ :

1°. *Pendant combien de temps une force produisant une accélération de courbure géotropique b doit-elle agir pour que, grâce à la vitesse de courbure acquise la plante atteigne une courbure maximum C?*

L'accélération qui agit réellement sur la plante est $b - \beta$. La vitesse acquise au bout du temps t_1 sera

$$v_1 = (b - \beta) t_1$$

En vertu de cette vitesse acquise, la courbure maximum atteinte ensuite sera

$$C = \frac{v_1^2}{2\beta} = \frac{(b - \beta)^2 t_1^2}{2\beta} \text{ d'où } t_1 = \frac{\sqrt{2\beta C}}{(b - \beta)}$$

en négligeant la faible courbure produite pendant le temps t_1 .

Pour amener une même courbure C, une accélération de courbure b_2 devra agir pendant un temps t_2

$$t_2 = \frac{\sqrt{2\beta C}}{(b_2 - \beta)}$$

Supposons que C soit précisément la courbure la plus faible qui soit visible à l'œil : t_1 et t_2 seront les temps de présentation correspondant aux accélérations b_1 et b_2 . Faisons le rapport

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{(b_2 - \beta) \sqrt{2\beta C}}{(b_1 - \beta) \sqrt{2\beta C}} = \frac{b_2 - \beta}{b_1 - \beta}$$

Comme, au moment où la courbure commence à être vi-

¹ Les formules employées sont celles de la chute des corps, en remplaçant l'accélération g par l'accélération de courbure b , la vitesse par la vitesse de courbure et l'espace parcouru par la courbure atteinte.

sible à l'œil nu, elle est encore très faible, l'accélération β due à l'autotropisme est encore très faible, nous pouvons la négliger ; il vient alors

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{b_2}{b_1} \text{ ou } t_1 b_1 = t_2 b_2$$

Comme d'après la loi fondamentale l'accélération géotropique de courbure est proportionnelle à la force qui agit sur la plante on a

$$t_1 f_1 = t_2 f_2$$

ce qui peut s'exprimer comme suit : *Le produit de la force centrifuge (ou autre) qui agit sur la plante par le temps de présentation géotropique est une constante.* Nous retrouvons ainsi la troisième loi.

D'après la loi fondamentale, l'accélération géotropique de courbure est proportionnelle au sinus de l'angle suivant lequel la force agit sur la plante ; on a en remplaçant b_1 par $\sin \alpha_1$ et b_2 par $\sin \alpha_2$

$$t_1 \sin \alpha_1 = t_2 \sin \alpha_2$$

ce qui peut se rendre comme suit : *Le produit du temps de présentation d'une plante soumise à la pesanteur ou à une force centrifuge agissant obliquement sur elle par le sinus de l'angle que fait la plante avec la direction de la force est une constante.* Or ce n'est pas autre chose que la quatrième loi étendue aux forces centrifuges.

2^o *Faisons agir, alternativement, un grand nombre de fois, sur les deux faces opposées de la plante deux forces différentes, provoquant des accélérations de courbure b_1 et b_2 , pendant des temps t_1 et t_2 ; quelle relation doit lier les temps et les accélérations pour que la plante ne se courbe pas ?*

Dans ces conditions expérimentales, l'accélération due à l'autotropisme β est négligeable. A la fin de la première période t_1 , l'accélération b_1 aura communiqué une vitesse de courbure

$$v_1 = b_1 t_1$$

Pendant la deuxième période t_2 , si on laissait la plante à elle-même, elle continuerait à se courber ; sa vitesse irait en décroissant ; si l'on prend t_2 , et par conséquent t_1 assez petits, on peut admettre que pendant la deuxième période t_2 la plante continuera à se courber avec une vitesse uniforme égale à v_1 .

A la fin de la deuxième période, l'accélération b_2 communiquerait à la plante, si elle agissait seule, une vitesse de courbure

$$v_2 = b_2 t_2$$

Pour qu'il n'y ait pas courbure, il suffit qu'à la fin de la deuxième période on ait $v_1 = v_2$; si cette condition est remplie à ce moment, elle le sera aussi au bout de la quatrième, sixième, huitième, période, par conséquent tant que l'expérience durera. Il suit de là qu'il faut que

$$b_1 t_1 = b_2 t_2$$

D'après la loi fondamentale, l'accélération de courbure est proportionnelle à la force agissant sur la plante, donc pour qu'il n'y ait pas courbure il faut que

$$f_1 t_1 = f_2 t_2$$

Nous avons ainsi retrouvé la deuxième loi.

L'accélération de courbure est également, d'après la loi fondamentale, proportionnelle au sinus de l'angle suivant lequel la force agit ; ce qui nous donne

$$t_1 \sin \alpha_1 = t_2 \sin \alpha_2$$

c'est-à-dire la première loi.

3° *Laissons agir une force d'accélération de courbure b sur une plante ; au bout de combien de temps la courbure aura-t-elle atteint une certaine valeur C ?*

Les formules de mécanique donnent immédiatement

$$C = \frac{1}{2} b t^2$$

On en tire

$$t^2 = \frac{2C}{b} \text{ et } t = \sqrt{\frac{2C}{b}}$$

Si C est la courbure la plus faible que l'œil puisse apprécier, t est le temps de réaction ; désignons-le par R .

Dans la dernière équation posons $\sqrt{2C} = r =$ constante, elle devient

$$R = \frac{r}{\sqrt{b}}$$

b étant proportionnel à la force, on peut poser

$$R = \frac{r'}{\sqrt{f}}$$

Telle serait la formule donnant la valeur du temps de réaction en fonction de la force (f . centrifuge ou gravité) agissant sur la plante.

Tröndle (loc. cit.) était arrivé à la formule

$$(R - k)f. = a$$

et j'étais moi-même arrivé en parlant des résultats incomplets et très sujets à caution de Bach à

$$R = \frac{a}{\sqrt[5]{f.}}$$

La forme de ma formule était donc juste, et si j'avais eu à ma disposition des chiffres corrects je serais infailliblement arrivé à la formule exacte en employant soit la méthode des moments, soit la méthode des moindres carrés.

Ce qui précède s'applique au temps de réaction mesuré, en laissant la pesanteur agir sur la plante jusqu'à la fin de l'expérience. Supposons qu'on expose une plante de manière à lui fournir une accélération géotropique de courbure, juste pendant le temps de présentation puis qu'on la place sur le clinostat de manière à neutraliser l'action de la pesanteur ; la plante continuera à se courber, atteindra la courbure qui est précisément la plus faible perceptible à l'œil puis tendra à se redresser sous l'influence de l'autotropisme. Le temps de réaction dans ces conditions se composera de la somme du temps de présentation et du temps qui s'écoule depuis la fin de l'exposition jusqu'au moment de la courbure perceptible.

Désignons par P le temps de présentation ; la vitesse de courbure acquise au bout de ce temps sera

$$v = bP$$

et la courbure atteinte au bout du temps P sera

$$c_1 = \frac{1}{2} bP$$

La courbure qui se produira ensuite en vertu de la vitesse initiale v sera

$$c_2 = \frac{v^2}{2\beta} = \frac{b^2 P^2}{2\beta}$$

et cela au bout du temps

$$t = \frac{v}{\beta} = \frac{b P}{\beta}$$

La courbure totale sera

$$C = c_1 + c_2 = \frac{1}{2} bP + \frac{b^2 P^2}{2\beta}$$

Admettons que ce soit la courbure minimum apercevable.

Nous avons d'après la troisième loi

$$b \cdot P = \text{constante} = a$$

donc

$$P = \frac{a}{b}$$

$$\text{et } t = \frac{b P}{\beta} = \frac{b \cdot a}{\beta \cdot b} = \frac{a}{\beta} = \text{constante}$$

Nous pouvons tirer de cette équation une nouvelle loi :

Si l'on expose une plante à l'action d'une force agissant géotropiquement sur elle pendant la durée du temps de présentation (c'est-à-dire pendant le temps strictement nécessaire pour que la courbure maximum atteinte, une fois la plante soustraite à l'action unilatérale de la pesanteur, soit visible à l'œil), le temps qui s'écoule entre le moment où la plante est soustraite à l'action de la pesanteur et celui où la courbure est maximum et par conséquent devient visible est constant.

Cette loi n'est valable que si l'on peut considérer l'accélération β due à l'autotropisme comme constante ; nous croyons qu'on peut faire cette supposition puisqu'il s'agit de courbures très faibles. Nous verrons que l'accélération β dépend probablement de la vitesse de courbure. †

Dans les conditions ci-dessus le temps de réaction R est

$$R = P + t$$

nous avons vu que $t = \text{constante}$

donc $R = P + \text{constante}$

mais $P = \frac{a}{b}$

et $R = \frac{a}{b} + \text{const.} = \frac{a}{b} + k$

Après transformation il vient

$$b(R - k) = a$$

mais comme l'accélération de courbure b est proportionnelle à la force f agissant sur la plante, on peut écrire

$$f(R - k) = \text{constante}$$

Nous sommes arrivé à la formule de *Tröndle*. La constante k n'est pas autre chose que t , c'est-à-dire le temps qui s'écoule entre le moment où la plante cesse d'être soumise à la pesanteur et celui où l'on aperçoit la courbure ; remarquons en outre que

$$R - k = P$$

et par conséquent l'on a

$$f \cdot P = \text{constante}$$

c'est-à-dire que nous retrouvons la troisième loi.

Le temps t dépend uniquement en effet de la vitesse initiale de courbure ; cette vitesse initiale est

$$v = bP$$

c'est la vitesse de courbure acquise pendant la période d'exposition.

Notre loi fondamentale du géotropisme renferme par conséquent toutes les lois données jusqu'ici sur la variation du géotropisme en fonction de la force qui agit et de l'angle suivant lequel elle agit. Nous avons ainsi tout lieu de croire qu'elle est exacte.

Il nous reste à montrer comment la loi fondamentale, qui nous a été suggérée par une première inspection des résultats des expériences détaillées au début de ce travail, s'applique à ses dernières.

Comparons d'abord les expériences où les plantes d'avoine étaient exposées de manière à faire respectivement des angles de 90° , 45° et 15° avec la verticale. La loi fondamentale nous dit que la courbure géotropique se fait de telle façon que la courbure ou (ce qui revient à peu près au même si la courbure est faible) la déviation k de l'extrémité de la plante obéisse à l'équation

$$k = bt^2$$

où b est l'accélération géotropique de courbure qui est elle-même proportionnelle au sinus de l'angle φ que la plante fait avec la verticale ; on peut donc poser :

$$b = b' \sin \varphi$$

par conséquent

$$k = b' \sin \varphi t^2$$

Nous avons vu d'autre part que cette courbure géotropique vers le haut est accompagnée d'une courbure vers le bas, simple flexion mécanique se faisant lentement par suite d'un freinage qui est probablement dû à la résistance opposée à la filtration de l'eau de cellule à cellule par les membranes cellulaires ; si le freinage est assez énergique, la vitesse de la flexion, mesurée par le déplacement f de l'extrémité de la plante, sera uniforme et sera donné par

$$f = a t$$

où a est une constante négative. Il est permis d'admettre que

$$a = a' \sin \varphi$$

c'est-à-dire que la flexion est proportionnelle au sinus de l'angle que la plante fait avec la verticale.

Le déplacement h dû au géotropisme et à la flexion mécanique agissant simultanément sera par conséquent donné par

$$h = k + f = a' \sin \varphi t + b' \sin \varphi t^2$$

qu'on peut écrire

$$h = \sin \varphi (a' t + b' t^2)$$

Lorsque la plante est exposée sous un angle de 90° , c'est-à-dire horizontalement

$$\sin \varphi = 1$$

et

$$a' = a, b' = b$$

dans l'équation

$$h = at + bt^2$$

pour les plantes exposées horizontalement. Quand on possédera les valeurs de h moyen au bout des différents intervalles de temps pour des plantes placées horizontalement, il suffira de multiplier ces valeurs par $\sin \varphi$ pour obtenir les valeurs de h moyen correspondant des plantes placées de façon à faire un angle φ avec la verticale.

Ceci nous fournira un moyen de vérifier si la loi fondamentale du géotropisme s'applique bien à nos résultats. Pour cela nous prendrons les valeurs de h moyen des catégories température-longueur pour lesquels nous avons des mesures faites avec des angles d'exposition différents ; nous les multiplierons par $\sin \varphi$ et nous comparerons les valeurs ainsi calculées avec les valeurs observées ; la comparaison de la différence δ entre ces deux valeurs de h moyen et l'erreur probable nous permettra de nous rendre compte de l'exactitude de la loi.

Le tableau XXXVII donne les valeurs calculées de h moyen, les valeurs observées, la différence δ entre ces valeurs et l'erreur probable de h observé, d'abord pour un angle d'exposition de 45° puis pour l'angle de 15° ; pour ce dernier nous avons trop peu d'expériences pour pou-

TABLEAU XXXVII

TEMPS EN MINUTES											Température en degrés C.	Longitude en millim.
5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55			60
Angle 45°												
<i>h</i> calc.	0,000	0,018	0,023	0,040	0,049	0,061	0,061	0,093	0,126	0,196	0,285	0,334
<i>h</i> obs.	0,000	0,019	0,019	0,046	0,062	0,069	0,073	0,100	0,154	0,212	0,285	0,435
δ	0,000	-0,001	0,004	-0,006	-0,013	-0,009	-0,012	-0,007	-0,028	-0,016	0,000	-0,101
E	0,018	0,033	0,042	0,050	0,064	0,054	0,058	0,055	0,049	0,043	0,045	0,059
<i>h</i> calc.	-0,042	-0,046	-0,057	-0,055	-0,049	-0,023	-0,023	0,062	0,152	0,275	0,400	0,545
<i>h</i> obs.	-0,017	-0,018	-0,011	0,044	0,067	0,111	0,113	0,244	0,350	0,467	0,639	0,833
δ	-0,025	-0,028	-0,046	-0,099	-0,116	-0,134	-0,136	-0,182	-0,198	-0,192	-0,239	-0,288
E	0,012	0,013	0,022	0,032	0,046	0,064	0,073	0,080	0,085	0,093	0,101	0,112
<i>h</i> calc.	-0,025	-0,044	-0,032	-0,010	0,024	0,073	0,168	0,309	0,490	0,663	0,865	1,104
<i>h</i> obs.	-0,031	-0,050	-0,042	-0,011	0,000	0,103	0,214	0,381	0,553	0,806	1,072	1,389
δ	0,006	0,006	0,010	0,001	0,024	-0,030	-0,046	-0,072	-0,063	-0,143	-0,207	-0,285
E	0,019	0,027	0,033	0,033	0,031	0,036	0,040	0,061	0,055	0,070	0,078	0,087
Angle 15°												
<i>h</i> calc.	-0,009	-0,016	-0,012	-0,004	0,009	0,026	0,062	0,113	0,180	0,243	0,316	0,401
<i>h</i> obs.	-0,009	-0,020	-0,027	-0,004	0,012	0,030	0,070	0,148	0,230	0,398	0,446	0,576
δ	0,000	-0,004	-0,015	0,000	-0,003	0,004	-0,008	-0,035	-0,050	-0,155	-0,130	-0,175
E	0,008	0,011	0,015	0,021	0,025	0,029	0,035	0,037	0,042	0,041	0,051	0,053

voir les répartir en catégories ; nous avons comparé h moyen de l'ensemble des expériences avec h moyen calculé au moyen de h de la catégorie 21° C, 20 mm. des plantes horizontales.

Si nous comptons pour les expériences faites à 45°, le nombre de fois où δ est plus petit que 1, 2, 3, 4... fois l'erreur probable de h , nous trouvons que

δ est <	E	17 fois contre 19	ou 0,89	contre 1
δ » <	2E	27 » »	9 » 3	» 1
δ » <	3E	35 » »	1 » 35	» 1
δ » <	4E	36 » »	0 » ∞	» 1

tandis que la théorie des probabilités prévoit pour

δ <	E	1 cas	contre 1
δ <	2E	4,5 »	» 1
δ <	3E	142 »	» 1

Il semble à première vue que δ soit trop grand par rapport à l'erreur probable ; la différence est du reste petite ; mais il faut se souvenir que l'erreur probable E est celle de h observé et que la valeur de h des expériences à 90° qui multiplié par $\sin \varphi$ donne h calculé est aussi entaché d'une erreur probable, de sorte qu'on peut considérer la concordance entre les valeurs calculées et observées comme très satisfaisante.

Pour les expériences faites avec des plantes exposées de manière à faire un angle de 15° avec la verticale, on trouve que

δ est <	E	8 fois contre 4	ou 2	contre 1
δ » <	2E	9 » »	3 » 3	» 1
δ » <	3E	10 » »	2 » 5	» 1
δ » <	4E	12 » »	0 » ∞	» 1

Ici encore la concordance est très remarquable puisque nous trouvons deux fois contre une la différence δ plus petite que l'erreur probable de h , alors que s'il n'y avait qu'un cas contre un, cela suffirait pour confirmer l'exactitude de nos conclusions.

Nous croyons ainsi avoir donné la démonstration que *l'accélération géotropique de courbure est proportionnelle au sinus de l'angle que fait la plante avec la verticale*, comme le veut la loi fondamentale du géotropisme.

Etudions maintenant comment se comportent vis-à-vis de la loi fondamentale les résultats des expériences où les plantes d'avoine étaient exposées respectivement pendant $\frac{1}{4}$, 2 et 5 minutes horizontalement, puis replacées verticalement pour l'observation.

La loi fondamentale nous dit qu'au bout du temps d'exposition θ , la vitesse de courbure acquise sera

$$v = b \theta$$

où b est l'accélération géotropique de courbure. Sous l'influence de cette vitesse initiale de courbure, la plante replacée verticalement atteindra au bout d'un temps t une courbure maximum (mesurée par le déplacement h de son sommet) donnée par

$$h \text{ max.} = \frac{v^2}{2 \beta}$$

où β est l'accélération due à l'autotropisme qui tend à s'opposer à l'action du géotropisme. En remplaçant v par sa valeur il vient

$$h \text{ max.} = \frac{b^2 \theta^2}{2 \beta}$$

Si β était constant, la courbe qu'on obtiendrait en portant dans un graphique, en abscisses les temps d'exposition θ et en ordonnée la déviation maximum serait une parabole symétrique par rapport à l'axe des h , à concavité tournée vers le haut et dont le sommet serait à l'origine.

Dans la figure 21, j'ai porté en ordonnée les valeurs de $h \text{ max.}$ correspondant aux temps d'exposition θ portés en abscisses et j'ai réuni par des droites les points correspondants des diverses catégories température-longueur. On voit au premier coup d'œil que la courbe représentant la

variation de h maximum au temps d'exposition θ n'est pas du tout une parabole de la forme indiquée plus haut. On voit que les courbes sont sensiblement des droites passant par l'origine. Il est regrettable que je ne possède pas assez de résultats expérimentaux et en particulier que je n'aie pas eu le temps de faire des expériences avec des temps d'exposition de 1, 3 et 4 minutes, ce qui m'eût permis de

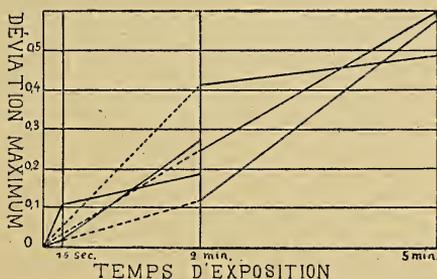


Fig. 21.

déterminer plus exactement l'allure de ces courbes. Il ressort cependant du graphique, ou bien que la loi fondamentale est fautive ou, ce qui est plus probable, que β n'est pas constant.

En faisant l'hypothèse très plausible que l'accélération négative de courbure β due à l'autotropisme est proportionnelle à l'induction géotropique, c'est-à-dire en définitive à la vitesse de courbure acquise pendant l'exposition horizontale, ce qu'on peut écrire

$$2\beta = \alpha v = \alpha b \theta$$

où α est une constante. En introduisant cette valeur de β dans l'équation

$$h \text{ max.} = \frac{b^2 \theta^2}{2\beta}$$

il vient

$$h \text{ max.} = \frac{b^2 \theta^2}{\alpha b \theta} = \frac{b \theta}{\alpha}$$

l'équation d'une droite passant par l'origine.

Nous voyons que si l'hypothèse sur l'accélération autotropique est exacte, la loi fondamentale s'applique aussi au cas où une plante d'avoine est exposée à la pesanteur pendant un certain temps, puis soustraite à cette action.

On pourrait faire d'autres hypothèses sur l'accélération β , la supposer par exemple proportionnelle en chaque instant à la vitesse de courbure ou bien à la courbure; l'étude de ces questions demande à être reprise avec détail; cette question de l'autotropisme demande une étude particulière et faite de manière très précise et mathématiquement. J'entrevois dans cette étude que j'ai commencée une mine de renseignements qui jetteront une vive lumière sur les tropismes.

Comme les lois sur le temps de présentation et le temps de réaction ont été trouvées pour les autres tropismes et pour toute une série de phénomènes d'irritations chez les plantes et chez les animaux, je ne doute pas que ma loi fondamentale du géotropisme ne soit aussi applicable à ces phénomènes avec des modifications tenant compte de chaque cas particulier. Cette loi deviendrait en quelque sorte la loi fondamentale de l'irritabilité.

P. S. Le manuscrit de ce travail était terminé quand j'ai reçu de l'auteur le texte d'une communication préliminaire faite par A. Tröndle¹ à la Société botanique allemande.

Dans ce travail, Tröndle annonce qu'il a trouvé comme moi que la variation de la déviation h du sommet d'une plante d'avoine placée horizontalement obéit à l'équation

$$h = at + bt^2,$$

mais il prétend que si la courbure géotropique se fait avec une certaine accélération b , c'est parce que la plante commence à se courber à l'extrémité seulement puis que la

¹ A. Tröndle, *Geotropische Reaktion und Sensibilität* (Vorläufige Mitteilung) Ber. d. deutsch. bot. Ges. XXX 1912, Generalversammlung.

zone qui se courbe s'étend avec une vitesse uniforme vers la base de la plante; pour chaque région de la plante prise en particulier, la courbure se fait avec une vitesse constante. *Tröndle* annonce également que le temps de réaction des différentes régions de la plante est proportionnel à la distance qui sépare la région considérée du sommet de la plante.

J'attends avec une vive impatience la publication des résultats complets des expériences de *Tröndle*. Les calculs préliminaires que j'ai pu faire sur les résultats numériques donnés par lui me semblent montrer qu'on peut très facilement les faire rentrer dans ma loi fondamentale, malgré qu'à première vue il semble plutôt y avoir contradiction entre *Tröndle* et moi.

Je suis très heureux qu'un expérimentateur consciencieux comme *Tröndle* ait répété mes expériences avec d'autres appareils; ce n'est, en effet que par la collaboration de plusieurs expérimentateurs et par le choc de leurs idées que nous arriverons à débrouiller le problème si compliqué des tropismes.



SUR LA VARIABILITÉ DES PRÉCIPITATIONS EN SUISSE

par L. Horwitz.

I

La variabilité, c'est-à-dire l'écart moyen annuel de la moyenne annuelle des précipitations, peut être étudiée, pour la Suisse, en s'appuyant, pour les 27 stations, sur les dates publiées in extenso dans le mémoire : J. Maurer, R. Billwiller jr., Cl. Hess, *Das Klima der Schweiz*, Vol. II (Tableaux). Les dates ont été publiées pour la période 1864-90 (37 ans). Voici les variabilités obtenues.

**Variabilités des précipitations des 27 stations de la Suisse
pour la période de 1864-1900
(en % de la quantité des précipitations.)**

1. St-Beatenberg . . . 9.7	9. Olten . . . 42.6	19. Sargans . . . 16.7
2. Altstätten . . . 10.2	10. Chaumont . . . 43.2	20. Bevers . . . 16.9
3. Einsiedeln . . . 10.9	11. Genève . . . 44.0	21. Sils Maria . . . 16.9
4. Engelberg . . . 10.9	12. Muri . . . 44.3	22. Reichenau . . . 18.5
5. Lucerne . . . 11.0	13. Bâle . . . 44.7	23. Platta . . . 19.2
6. Affoltern . . . 11.7	14. St-Bernard . . . 45.4	24. Castasegna . . . 20.8
7. St-Gall . . . 12.1	15. Lohn . . . 46.0	25. Lugano . . . 21.0
8. Altdorf . . . 12.2	16. Zurich . . . 46.0	26. Sion . . . 23.7
	17. Berne . . . 46.5	27. Bernardin . . . 25.9
	18. Neuchâtel . . . 46.5	
Moyenne . . . <u>11.1</u>	Moyenne . . . <u>44.9</u>	Moyenne . . . <u>20.0</u>

La première question qui se pose en examinant ce tableau des *variabilités des précipitations*, est s'il n'y a pas une relation directe entre elles et la *quantité des précipitations* ou *l'altitude de la station* au-dessus du niveau de la mer. La réponse à cette question est négative ; il ne

semble exister aucune relation entre les facteurs nommés, ou si une telle relation existe, elle est masquée par d'autres facteurs. En effet les 13 stations avec des précipitations relativement modestes, ont une quantité moyenne de précipitations de 928 mm., et une variabilité moyenne de 16,1 ; tandis que les 13 stations, avec des précipitations relativement abondantes, ont une quantité moyenne de précipitations de 1459 mm. et une variabilité moyenne de 15,1. Nous voyons que la diminution de la variabilité avec l'augmentation des précipitations est trop peu accentuée, pour être érigée en loi. — Les résultats de la comparaison de la variabilité des précipitations avec l'altitude des stations sont encore moins satisfaisants. Les 13 stations dont l'altitude moyenne est de 445 m., ont une variabilité moyenne de 15,3 ; tandis que les 13 autres, avec l'altitude moyenne de 1268 m., ont une variabilité de 15,4. La différence est donc presque 0.

Par contre les relations de la variabilité des précipitations avec *la position géographique des stations* sont évidentes. En effet, pour s'en convaincre, il suffit de grouper les stations d'après la variabilité de leurs précipitations, comme nous l'avons fait dans le tableau ci-dessus. Nous obtenons ainsi 3 groupes des stations, avec des variabilités nettement différentes. Le premier groupe (8 stations) renferme les stations avec une petite variabilité (de 9,7 jusqu'à 12,2 ; variabilité moyenne = 11,1). Toutes ces stations sont situées *sur le versant nord des Alpes, en avant des Hautes Alpes, plus ou moins dans les Préalpes.*

Au NW. de cette bande, caractérisée par de petites variabilités, se trouve la région des variabilités moyennes. En effet les 10 stations suivantes (Olten-Neuchâtel) sont situées, avec une exception seulement (Gr. St-Bernard), *sur le plateau et dans le Jura.* Les variabilités des précipitations de ces stations oscillent entre 12,6 et 16,5 ; la variabilité moyenne est de 14,9.

Enfin, dans les Alpes même et au versant S. des Alpes, au S-E de la bande des petites variabilités, nous constatons une région avec de grandes variabilités. En effet toutes les stations qui suivent (9) sont situées ou dans la *grande trouée transversale des Alpes suisses Rhône-Rhin, ou au sud de cette ligne*. Les variabilités de ces stations oscillent entre 16,7 et 25,9 ; la variabilité moyenne est de 20,0.

Cette répartition si étrange des variabilités des précipitations en Suisse (valeurs moyennes sur le plateau et le Jura, minimum au pied nord des Alpes, maximum dans les Alpes et au bord sud) est selon toute probabilité due aux Alpes mêmes. — Chez J. Hann, *Lehrbuch der Meteorologie* (Leipzig 1906), p. 241, 242, nous trouvons les données suivantes, concernant la variabilité des précipitations en Europe pour de longues périodes :

Europe centrale	env. 15	}
Russie d'Europe	15-19	
Russie méridionale, orientale, Sibérie.	20-30	
Italie	18.	

(Ces chiffres ne sont pas directement comparables avec les variabilités des précipitations en Suisse, parce qu'ils n'embrassent pas la même période.) La conclusion immédiate qui s'impose de l'examen de ces chiffres est que, le climat devenant de plus en plus continental, la variabilité des précipitations augmente. — Quant à l'altitude au-dessus du niveau de la mer, elle n'augmente, pour ainsi dire, pas depuis l'Europe centrale jusqu'à la Sibérie ; les quantités des précipitations par contre diminuent dans cette direction.

Or le même phénomène, l'augmentation de la variabilité des précipitations, semble se produire aussi, sur une échelle beaucoup plus petite, dans les Alpes suisses, dans la vallée du Rhin. En montant dans cette vallée, on s'éloigne de la source principale des précipitations de l'Eu-

rope, de l'Océan Atlantique, et du lac de Constance; à ce point de vue le climat devient plus « continental ¹. » Mais en même temps — par opposition avec le territoire beaucoup plus ample : Europe centrale-Sibérie — l'altitude et partiellement la quantité des précipitations augmentent. Néanmoins ici aussi la variabilité augmente régulièrement vers le haut, comme le montre la belle série suivante, extraite du tableau des variabilités.

Altstätten	10,2	Reichenau	18,5
Sargans	16,7	Platta	19,2
		Bernardin	25,9.

En d'autres mots, nous pouvons dire qu'ici, dans la vallée du Rhin, l'altitude et la quantité des précipitations augmentant relativement assez lentement, n'ont pu troubler la loi générale, qui veut qu'avec l'éloignement de la source principale des précipitations la variabilité de ces dernières augmente.

Autre chose au bord nord des Alpes. Ici l'augmentation de l'altitude et des précipitations s'accomplit si vite que la loi énoncée n'est pas valable. La variabilité, au lieu d'augmenter, diminue brusquement, pour devenir d'autant plus grande de l'autre côté de la chaîne septentrionale des Hautes Alpes. On a ici en quelque sorte, grâce aux Alpes, une dissection d'une seule variabilité en deux, une très petite et l'autre très grande, et c'est curieux de noter que la somme des variabilités moyennes des précipitations: du bord Nord des Alpes d'un côté et des Alpes mêmes avec le bord Sud de l'autre, divisée par 2, $\left(\frac{11,1 + 20,0}{2}\right)$, nous donne pour la variabilité de tout le territoire des Alpes, dont la position par rapport au Jura et au plateau est plus continentale (dans le sens indiqué plus haut), — un chiffre de

¹ Par d'autres côtés cependant le climat de montagne a plutôt ressemblance avec le climat océanique (V. J. Hann : *Handbuch der Klimatologie*, I, p. 234 et 236).

15,6, nettement supérieur à la variabilité moyenne du plateau et du Jura (14,9).

Le but de la note n'étant que de présenter les faits principaux concernant la variabilité des précipitations en Suisse, je me propose dans une note prochaine de préciser le rôle que jouent les Alpes dans la répartition signalée de ce phénomène.

Cependant, avant de finir, je veux encore indiquer brièvement une analogie remarquable qui existe entre la répartition de la variabilité des précipitations en Suisse et la *fréquence des orages* dans ce pays. Voici comment elle se présente pour la période 1892-1900 (*Das Klima der Schweiz*, I, p. 274):

Jura + bord occidental du Mittelland	71	jours d'orage	(en moyenne)
{ Milieu et bord oriental du Mittelland,	90	»	»
Milieu des Alpes, bord des Hautes	43	»	»
Alpes			

L'analogie entre les deux phénomènes est frappante (surtout quand on songe que la période n'est ni la même ni de la même durée que celle de la variabilité des précipitations). Le bord nord des Alpes, avec la variabilité des précipitations la plus petite, a la fréquence des orages la plus grande. Le contraire a lieu avec les Alpes elles-mêmes, tandis que le plateau et le Jura occupent, quant aux deux phénomènes, la position intermédiaire.

Le bord méridional des Alpes forme une exception : ici la fréquence des orages est grande ; mais aussi la variabilité des précipitations.

Les deux phénomènes peuvent : 1° ou être reliés par un rapport causal (il serait imaginable que la fréquence plus ou moins grande des pluies d'orage influence la variabilité des précipitations); 2° ou ils peuvent être deux effets parallèles de la même cause (des Alpes).

J'incline plutôt à la seconde alternative, en réservant

une discussion plus ample de la question à une note ultérieure.

Déjà après avoir rédigé cette note, j'avais l'occasion de lire un mémoire de M. Hann¹, dans lequel l'auteur, en discutant la variabilité des précipitations en Autriche-Hongrie, arrive aux généralités semblables, concernant la distribution de ce phénomène, que nous avons constatées en Suisse. « La variabilité des quantités annuelles des précipitations est la plus petite dans les stations occidentales des Alpes et du Vorland alpin, elle est nettement plus grande dans les provinces septentrionales depuis la Bohême jusqu'à la Galicie, et la plus grande dans l'Est et le Sud. »

Donc il semble exister une loi générale, concernant toute l'étendue des Alpes (et des Carpathes en partie), et ayant pour objet la répartition signalée de la variabilité des précipitations.

¹ J. Hann. *Untersuchungen über die Regenverhältnisse von Oesterreich-Ungarn. II. Veränderlichkeit der Monats- und Jahresmengen, gleichzeitige Verteilung der letzteren in der Periode 1849-78...* (Im Auszuge aus dem LXXXI. Bande der Sitzungsberichte der k. Akademie der Wissenschaften II. Abt., Jänner-Heft, Jahrgang 1880 (35 Seiten in-8°), Meteorologische Zeitschrift. Vol. XVI (1881), p. 334).

VARIATIONS
DE LA
COMPOSITION CHIMIQUE DE VINS VAUDOIS
pendant la période de 1900 à 1909

PAR

le Docteur F. PORCHET

Chef de la division de chimie de la Station viticole de Lausanne.

Travail présenté à l'Assemblée générale de Vallorbe, le 22 juin 1912.

Parmi les plantes cultivées dans notre pays, la vigne est la plus sensible aux variations des conditions extérieures, climatiques ou autres. Particulièrement fragile vis-à-vis des agents physiques et chimiques, ce végétal réagit très rapidement sous l'action exagérée du froid aussi bien que du chaud, des liquides acides comme des produits alcalins, des piqûres d'insectes et des toxines qu'introduisent dans ses tissus les organismes parasites auxquels il donne si facilement asile.

Aussi, pour qu'un vin soit normalement constitué faut-il non seulement que le temps séparant les dernières gelées du printemps des premières de l'automne soit assez long, mais encore que, pendant cette période, les conditions climatiques en général soient précisément celles convenant le mieux au végétal. Y a-t-il au cours de la période de végétation excès de chaleur ou de froid, trop d'humidité ou de sécheresse, immédiatement les phénomènes de maturation s'en ressentent et le vin obtenu présente des caractères spéciaux. La composition chimique du vin apparaît en quelque sorte ainsi comme un *enregistreur totaliseur* des conditions météorologiques dans la suite des années.

Il y a donc un intérêt scientifique à noter les indications de cet enregistreur.

Le moyen consiste à analyser régulièrement, année après année, le vin d'une même vigne obtenu dans des conditions toujours les mêmes de culture et vinification, de manière à ce que les variations constatées dans la composition soient l'expression de celles des conditions météorologiques. Nous ne possédons, pour les vins de la Suisse romande, que deux séries d'observations de ce genre¹ et nous avons cherché à compléter cette documentation sur les vins vaudois en suivant, pendant une décade, les oscillations de composition de quinze vins provenant respectivement toujours de la même vigne. Ces quinze vignes se trouvent situées dans diverses régions du vignoble vaudois présentant des conditions climatiques sensiblement différentes. Nous donnons, sous forme de tableaux, les résultats obtenus.

A. Région de la vallée du Rhône.

Commune d'Aigle. — Parchet : *Les Payernelles.*

Années	Poids spécif.	Alcool %	Extrait total gr. l.	Sucre gr. l.	Acidité tot. gr. l.	Matières minérales gr. l.	Acidité fixe gr. l.	Somme Blarez-Jeanpierre	Extrait réduit gr. l.
1900	0.9932	11.6	20.7	1.1	5.3	1.75	4.8	16.4	14.8
1901	0.9954	10.3	22.7	1.8	5.8	1.74	5.3	15.6	15.6
1902	0.9943	10.1	19.3	1.3	4.9	2.04	4.4	14.5	13.6
1903	0.9939	10.9	19.5	0.9	5.2	1.72	4.7	14.2	13.9
1904	0.9926	11.4	18.7	—2	4.7	2.02	4.2	15.6	13.5
1905	0.9964	9.3	20.8	—2	6.2	2.08	5.7	15.0	14.1
1906	0.9927	11.1	18.1	1-1.5	4.8	1.83	4.3	15.4	12.8
1907	0.9922	11.9	19.3	1-1.5	5.5	1.59	5.0	16.9	13.3
1908	0.9934	11.4	20.9	1-1.5	5.8	1.85	5.2	16.6	14.7
1909	0.9934	12.2	22.2	1.4	5.5	1.74	5.1	17.2	15.8

¹ E. Chuard. *Sur les variations de la composition d'un vin provenant d'une même vigne, pendant une série d'années.* Bull. Soc. vaud. Sc. nat., XXXII, 121.

E. Chuard et F.-A. Forel. *Variations du sucre et de l'acidité dans les moûts.* Chronique agricole du canton de Vaud, 1899.

A. Région de la vallée du Rhône (*suite*).Commune d'Aigle. — Parchet : *Revoutaz*.

Années	Poids spécif.	Alcool o/o	Extrait total gr. l.	Sucres gr. l.	Acidité tot. gr. l.	Matières minérales gr. l.	Acidité fixe gr. l.	Somme Blarez- Jeanprêtre	Extrait réduit gr. l.
1900	0.9935	11.1	20.4	1.4	7.3	1.42	6.8	17.9	12.2
1901	0.9956	9.7	21.2	1.3	6.0	1.93	5.5	15.2	14.4
1902	0.9946	10.1	20.0	1.7	5.5	1.95	5.0	15.1	13.3
1903	0.9933	11.0	19.3	0.9	6.3	1.82	5.8	16.8	12.6
1904	0.9920	11.6	17.7	-2	4.9	2.00	4.4	16.0	12.3
1905	0.9946	9.6	17.8	-2	6.4	2.08	5.6	13.9	11.3
1906	0.9919	11.8	16.9	1-1.5	5.0	1.65	4.5	16.3	11.4
1907	0.9921	11.6	18.0	1-1.5	5.3	1.57	4.8	16.4	12.2
1908	0.9929	11.4	19.8	1-1.5	5.5	1.80	4.5	15.9	14.3
1909	0.9935	11.1	19.7	1.1	6.0	1.74	5.0	16.6	13.1

Commune d'Aigle. — Parchet : *Crosex*.

1900	0.9928	11.5	20.2	1.0	5.5	1.59	5.0	16.4	14.8
1901	0.9946	9.9	19.3	1.3	5.9	0.91	5.4	15.3	12.6
1902	0.9937	10.1	18.4	1.1	5.6	2.16	5.1	14.5	13.2
1903	0.9926	11.0	17.5	1.0	6.0	1.48	5.5	16.5	10.9
1904	0.9919	11.1	15.4	1.0	5.1	1.60	4.6	15.7	10.8
1905	0.9954	9.1	22.4	-2	7.3	1.85	6.8	15.9	14.6
1906	0.9926	11.2	17.3	05. -1	5.3	1.70	4.8	16.0	12.5
1907	0.9915	12.3	17.5	1-1.5	5.9	1.67	5.4	17.7	11.1
1908	0.9930	11.8	20.9	1.5-2	5.4	1.78	4.8	16.6	14.6
1909	0.9939	10.7	19.4	0.7	6.4	1.60	5.8	16.5	13.0

Commune d'Aigle. — Parchet : *Vy-Neuvaz*.

1900	0.9933	11.2	21.4	1.0	7.3	1.82	6.8	18.0	14.4
1901	0.9946	10.5	20.2	1.1	5.8	1.46	5.3	15.8	13.9
1902	0.9938	10.6	19.4	1.2	5.2	1.80	4.7	15.3	13.5
1903	0.9927	10.9	18.2	0.9	5.7	1.50	5.2	16.1	12.1
1904	0.9928	11.5	18.7	-2	5.2	1.88	4.7	16.2	13.0
1905	0.9952	9.9	20.1	-2	6.4	2.14	5.9	15.8	13.2
1906	0.9931	11.3	18.0	1-1.5	4.6	1.89	4.1	15.4	12.9
1907	0.9916	12.0	17.9	1-1.5	5.4	1.65	4.9	16.9	11.0
1908	0.9926	11.3	18.9	1-1.5	6.2	1.40	5.0	17.0	12.2
1909	0.9918	12.6	19.4	1.1	6.0	1.50	5.5	18.2	12.8

A. Région de la vallée du Rhône (*fin*).Commune d'Aigle. — Parchet : *Prieuré*.

Années	Poids spécif.	Alcool %	Extrait total gr. l.	Sucre gr. l.	Acidité tot. gr. l.	Matières minérales gr. l.	Acidité fixe gr. l.	Somme Blarez- Jeanpètra	Extrait réduit gr. l.
1900	0.9938	11.2	21.0	0.4	6.4	2.17	5.9	17.1	14.7
1901	0.9942	10.3	18.1	1.1	5.4	1.64	4.9	15.2	12.1
1902	0.9938	10.2	18.6	0.9	6.2	1.72	5.7	15.9	12.0
1903	0.9928	11.0	18.4	1.1	5.6	1.54	5.1	16.1	12.2
1904	0.9925	11.7	19.1	-2	4.8	2.18	4.3	16.0	13.8
1905	0.9960	9.3	19.6	-2	6.6	1.81	6.1	15.4	12.5
1906	0.9922	11.5	17.1	1-1.5	4.3	1.73	3.8	15.3	12.3
1907	0.9914	12.2	18.0	1-1.5	5.5	1.89	5.0	17.2	12.0
1908	0.9928	11.0	17.6	1-1.5	5.3	1.40	4.7	15.7	11.9
1909	0.9925	11.4	17.9	1.1	6.3	1.38	5.7	17.1	11.1

B. Région du littoral du Léman.

Commune du Châtelard. — Parchet : *Chernex*.

1900	0.9942	9.4	17.1	-2	5.2	1.59	4.7	14.7	16.6	11.4
1901	0.9952	9.0	20.5	0.8	8.1	1.53	7.6	16.6	12.1	12.0
1902	0.9951	8.9	18.7	0.5	6.7	2.38	6.2	15.1	12.0	13.6
1903	0.9924	11.1	19.4	0.5	5.8	1.48	5.3	16.4	13.6	17.4
1904	0.9917	10.6	13.5	-2	5.6	1.76	5.1	15.7	17.4	10.1
1905	0.9959	8.1	17.0	-2	6.4	1.62	5.9	14.0	10.1	14.6
1906	0.9944	10.0	19.0	0.5-1	4.9	1.52	4.4	14.4	14.6	14.2
1907	0.9948	10.3	21.3	0.5-1	7.6	1.60	7.1	17.3	14.2	13.2
1908	0.9938	10.0	17.9	0.5-1	5.4	1.71	4.7	14.7	13.2	15.4
1909	0.9959	9.4	20.5	0.5-1	5.8	1.82	5.2	14.5	15.4	—

Commune de Vevey. — Parchet : *Ruerettes*¹.

1900	0.9928	11.1	17.4	-2	6.0	1.69	5.5	16.6	—	—
1901	0.9965	9.6	21.2	1.2	5.9	2.26	5.4	15.0	14.6	12.6
1902	0.9973	8.8	21.3	-2	8.2	2.10	7.7	16.5	12.6	10.5
1903	0.9943	10.9	19.5	-2	8.5	1.92	8.0	18.9	10.5	11.7
1904	0.9929	10.7	18.0	-2	5.8	1.78	5.3	16.0	11.7	10.0
1905	0.9960	8.4	17.0	-2	6.5	1.79	6.0	14.4	10.0	11.2
1906	0.9929	10.9	16.7	-2	5.0	1.67	4.5	15.4	11.2	12.1
1907	0.9927	11.2	19.4	-2	6.8	1.64	6.3	17.5	12.1	8.4
1908	0.9944	9.2	15.7	1-1.5	6.8	1.65	6.3	15.5	8.4	9.9
1909	0.9956	9.6	18.4	1.5-2	7.4	1.58	7.0	16.6	9.9	—

¹ Toutes les analyses de cette série ont été faites par M. G. Rey, chimiste de ville de Vevey.

B. Région du littoral du Léman (*fin*)Commune de Corseaux. — Parchet : *Les Gonelles*¹.

Années	Poids spécif.	Alcool o/o	Extrait total gr. l.	Sucre gr. l.	Acidité tot. gr. l.	Matières minérales gr. l.	Acidité fixe gr. l.	Somme Blarez- jeanprêtre	Extrait réduit gr. l.
1900	0.9930	10.8	19.5	-2	6.0	1.63	5.5	16.3	13.4
1901	0.9965	10.0	19.7	-2	6.7	1.93	6.2	16.2	12.5
1902	0.9940	9.9	19.3	-2	7.3	1.53	6.8	16.7	11.5
1903	0.9931	11.5	17.3	-2	6.2	1.65	5.7	17.2	10.6
1904	0.9928	11.3	18.7	-2	6.6	1.66	6.1	17.4	11.6
1905	0.9971	8.7	18.9	-2	7.1	2.06	6.6	15.3	11.3
1906	0.9923	11.5	18.4	-2	4.8	1.98	4.3	15.8	13.1
1907	0.9927	11.1	17.8	-2	6.6	1.70	6.1	17.2	10.7
1908	0.9948	10.3	20.8	-2	7.1	2.13	6.6	16.9	13.2
1909	0.9959	10.0	22.5	2.4	7.4	1.93	7.3	17.3	12.4

¹ Toutes les analyses de cette série ont été faites par M. G. Rey, chimiste de la ville de Vevey.

C. Région des coteaux de Lavaux.Commune de Puidoux. — Parchet : *Treytorrens*.

1900	0.9917	13.0	21.7	1.2	5.7	1.81	5.2	18.2	15.2
1901	0.9952	10.5	22.2	1.4	6.0	1.99	5.5	16.0	15.3
1902	0.9935	10.7	18.1	0.8	5.6	1.82	5.1	15.8	12.2
1903	0.9929	11.5	19.5	1.0	7.0	1.96	6.5	18.0	12.0
1904	0.9934	11.5	19.5	-2	5.8	1.96	5.3	16.8	13.2
1905	0.9958	9.6	20.9	-2	7.3	2.06	6.8	16.4	13.1
1906	0.9927	11.0	18.0	1-1.5	4.1	1.93	3.6	14.6	13.4
1907	0.9938	11.0	20.2	0.5-1	7.1	2.09	6.6	17.6	13.6
1908	0.9935	10.3	17.4	1-1.5	6.1	1.57	5.6	15.9	10.8
1909	0.9947	10.6	22.4	1.4	7.4	2.04	7.0	17.7	13.9

D. Région de la Côte.Commune de Luins. — Parchet : *Au Grand Clos*.

1900	0.9921	11.6	21.8	1.0	4.6	1.71	4.3	16.2	11.0
1901	0.9933	9.7	16.0	1.0	6.0	1.21	5.5	15.2	9.5
1902	0.9948	9.1	16.2	1.1	6.3	1.64	5.8	14.9	9.3
1903	0.9923	10.9	16.9	0.9	5.5	1.54	5.0	15.9	11.0
1904	0.9918	10.9	14.9	-2	5.0	1.90	4.5	15.4	9.4
1905	0.9977	8.3	21.0	-2	7.6	1.34	7.1	15.4	11.9
1906	0.9922	11.8	17.8	1-1.5	4.8	1.84	4.3	16.1	12.5
1907	0.9926	10.7	16.5	1-1.5	5.6	1.54	5.1	15.8	10.4
1908	0.9931	11.4	19.5	1-1.5	6.4	1.56	5.7	17.1	12.8
1909	0.9933	11.0	18.0	1.3	6.0	1.58	5.6	16.9	11.1

E. Région de l'Extrême Côte

Commune de Begnins. — Parchet : *Serreaux-dessous.*

Années	Poids spécif.	Alcool %	Extrait total gr. l.	Sucre gr. l.	Acidité tot. gr. l.	Matières minérales gr. l.	Acidité fixe gr. l.	Somme Blarez- Jeanpreire	Extrait réduit gr. l.
1900	0.9903	11.9	17.1	0.9	7.6	1.31	7.1	18.0	9.1
1901	0.9933	10.1	16.7	0.5	6.7	1.18	6.2	16.3	10.0
1902	0.9949	9.3	18.0	1.0	7.4	1.49	6.9	16.2	10.1
1903	0.9922	11.2	17.0	0.9	6.0	1.28	5.5	16.7	10.6
1904	0.9927	10.5	15.7	-2	6.2	1.34	5.7	16.2	9.0
1905	0.9945	9.9	18.5	-2	7.6	1.33	7.1	17.0	10.4
1906	0.9920	11.2	15.9	0.5-1	4.5	1.56	4.0	15.2	11.9
1907	0.9920	11.2	16.4	1-1.5	6.2	1.37	5.7	16.8	9.7
1908	0.9924	11.6	18.7	1-1.5	5.9	1.32	5.3	16.9	12.4
1909	0.9941	10.0	17.4	0.8	7.6	1.36	7.2	17.1	9.4

Commune de Begnins. — Parchet : *Eerol.*

1900	0.9920	10.1	15.6	0.8	6.0	1.34	5.5	15.2	9.3
1901	0.9937	9.3	14.7	0.7	6.0	1.37	5.5	14.8	8.5
1902	0.9960	8.3	17.7	0.7	7.8	1.51	7.3	15.6	9.7
1903	0.9931	10.4	17.0	1.1	6.8	1.30	6.3	16.7	9.6
1904	0.9925	10.5	15.6	-2	6.1	1.34	5.6	16.1	9.0
1905	0.9949	9.4	17.8	-2	7.2	1.34	6.7	16.1	10.1
1906	0.9923	11.0	16.3	1-1.5	5.1	1.59	4.6	15.6	10.7
1907	0.9933	10.4	17.7	0.5-1	6.4	1.31	5.9	16.3	11.8
1908	0.9936	10.0	16.5	1-1.5	6.6	1.38	6.2	16.2	9.3
1909	0.9963	9.2	21.7	1.1	7.1	1.56	6.7	16.0	13.9

Commune de Begnins. — Parchet : *Combe Valière.*

1900	0.9932	9.0	14.7	1.2	8.1	1.21	7.6	16.5	5.9
1901	0.9949	9.4	18.4	0.4	7.6	1.41	7.1	16.5	10.9
1902	0.9952	8.6	15.8	0.8	7.6	1.51	7.1	15.7	7.9
1903	0.9931	10.4	17.1	0.9	6.5	1.68	6.0	16.4	10.2
1904	0.9926	10.4	15.0	-2	5.9	1.40	5.4	15.8	8.6
1905	0.9967	8.5	20.6	-2	10.8	1.40	10.3	18.8	9.3
1906	0.9932	10.4	16.7	1-1.5	5.3	1.49	4.8	15.2	10.9
1907	0.9932	10.3	16.5	0.5-1	6.1	1.65	5.6	15.9	10.9
1908	0.9934	9.6	16.0	0.5-1	6.1	1.41	5.5	15.1	10.5
1909	0.9950	9.4	18.1	1.0	8.9	1.76	8.4	17.8	8.7

E. Région de l'Extrême Côte (*fin*).Commune de **Beginns.** — Parchet : *Sous Beginns.*

Années	Poids spécif.	Alcool %	Extrait total gr. l.	Sucre gr. l.	Acidité tot. gr. l.	Matières minérales gr. l.	Acidité fixe gr. l.	Somme Blarez- Jeanprêtre	Extrait réduit gr. l.
1900	0.9935	9.2	17.1	1.1	7.9	1.38	7.4	16.6	8.6
1901	0.9941	9.1	15.6	0.8	6.6	1.29	6.1	15.2	8.7
1902	0.9969	8.5	20.8	0.8	9.7	1.71	9.2	17.7	10.8
1903	0.9947	10.2	20.5	1.0	9.1	1.56	6.3	17.0	12.6
1904	0.9926	10.5	15.9	—2	5.9	1.44	5.4	15.9	9.5
1905	0.9950	10.1	20.1	—2	8.7	1.36	8.2	18.3	10.9
1906	0.9937	10.4	17.3	1-1.5	5.2	1.52	4.7	15.1	11.6
1907	0.9932	10.2	16.3	0.5-1	6.3	1.47	5.8	16.0	10.5
1908	0.9937	10.6	18.2	1-1.5	6.3	1.49	5.7	16.3	11.5
1909	0.9948	9.1	16.4	1.1	7.4	1.40	6.9	16.0	8.4

F. Région du Nord.

Commune de **Champvent.** — Parchet : *Sous le Château.*

1900	0.9941	9.5	17.4	1.0	6.1	1.56	5.6	15.1	10.8
1901	0.9970	8.0	19.6	0.9	6.8	1.77	6.3	14.3	12.4
1902	0.9958	9.2	19.8	1.4	7.5	1.92	7.0	16.2	11.4
1903	0.9952	9.5	18.7	0.7	8.8	1.72	8.3	17.8	9.7
1904	0.9937	10.4	18.7	—2	5.7	1.72	5.2	15.6	12.5
1905	0.9960	9.2	21.0	—2	7.0	1.87	6.5	15.7	13.5
1906	0.9941	10.3	19.5	0.5-1	6.1	1.74	5.6	15.9	13.9
1907	0.9953	9.4	19.7	0.5-1	5.5	1.85	5.0	14.4	14.7
1908	0.9958	9.4	20.9	1-1.5	5.4	1.80	5.2	14.5	14.8
1909	0.9977	8.1	21.0	1-1.5	9.1	2.00	8.7	16.8	11.3

est nécessaire de commenter brièvement ces résultats pour mettre en évidence les conclusions générales qu'ils renferment. Au cours de la décade 1900-1909, les conditions météorologiques furent excessivement variées ; les extrêmes ont été enregistrés en 1900 et 1905. Or, malgré cela, les oscillations dans la composition n'ont pas l'amplitude qu'on pourrait croire, elles sont enserrées, pour les quinze séries des dix années, dans les limites suivantes :

I. — Régime climatique de la vallée du Rhône.

(Commune d'Aigle).

	Maximum —	Minimum —	Variations 1900-1909.
Alcool ‰	12.6	9.1	3.5
Acidité totale g. l.	7.3	4.3	3.0
Somme alcool et acide fixe.	48.2	13.9	4.3

II. — Régime climatique du littoral du Léman.

(Communes : Châtelard, Vevey, Corseaux).

Alcool ‰	11.5	8.1	3.4
Acidité totale g. l.	8.5	4.8	3.7
Somme alcool et acide fixe.	18.9	14.0	4.9

III. — Régime spécial des coteaux de Lavaux.

(Commune de Puidoux).

Alcool ‰	13.0	9.6	3.4
Acidité totale gr. l.	7.4	4.1	3.3
Somme alcool et acide fixe.	18.2	14.6	3.6

IV. — Régime de la Côte.

(Commune de Luins).

Alcool ‰	11.8	8.3	3.5
Acidité totale gr. l.	7.6	4.8	2.8
Somme alcool et acide fixe.	17.1	14.9	2.2

V. — Régime de l'Extrême Côte.

(Commune de Begnins).

Alcool ‰	11.9	8.3	3.6
Acidité totale g. l.	10.8	4.5	6.3
Somme alcool et acide fixe.	48.8	15.1	3.7

VI. — Régime d'un vignoble du nord du canton.

(Commune de Champvent).

Alcool ‰	10.4	8.8	2.4
Acidité totale g. l.	9.1	5.4	3.7
Somme alcool et acide fixe.	17.8	14.3	3.5

Cette constatation faite, il est intéressant d'examiner s'il y a une relation de variation entre les principaux éléments constitutifs du vin.

Pour faciliter cet examen, nous représentons graphiquement les variations de ceux-ci dans un vin pris dans chacune des régions climatiques du grand vignoble, c'est-à-dire vallée du Rhône et littoral du Léman.

On remarque tout d'abord, dans ces graphiques, la variation inverse des lignes représentant respectivement l'alcool et l'acidité qui prennent ainsi la disposition dite en *harmonica*¹. Ces graphiques confirment presque rigoureusement cette règle, car les tracés ne tolèrent que quelques légères malformations dans le dispositif dues surtout aux années 1903 où l'acidité est trop élevée par rapport au degré alcoolique et 1906 où c'est l'inverse.

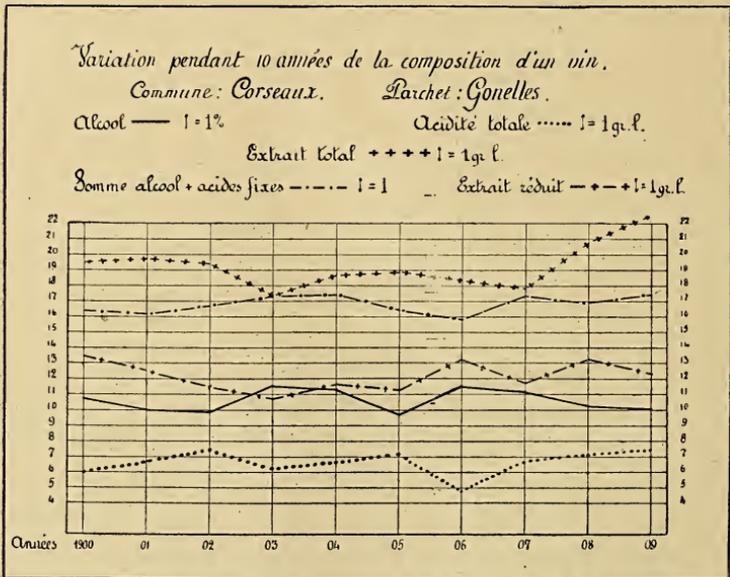
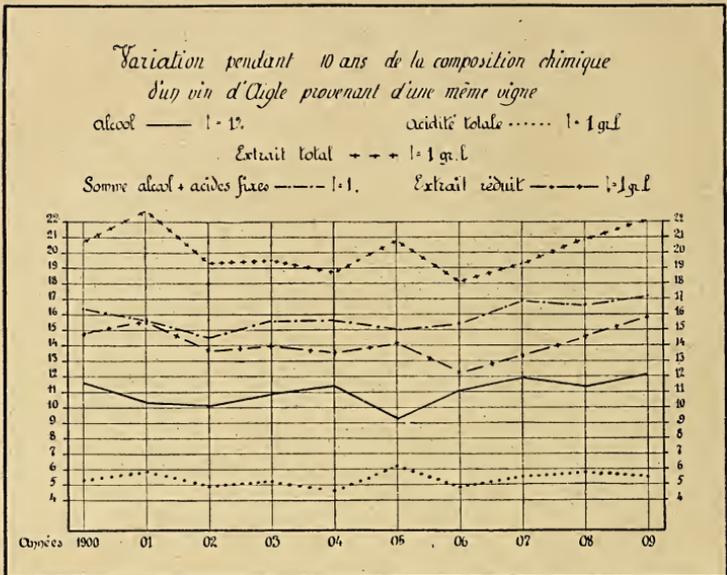
Ce qui précède conduit évidemment à la déduction suivante: la variation de l'alcool et de l'acidité étant inverse, si on représente graphiquement la somme des chiffres exprimant ces deux composants on obtient théoriquement une droite. En fait, la ligne représentative de l'alcool-acidité ne présente effectivement que de faibles ondulations.

Les variations de la quantité d'extrait total dans la série des années apparaissent comme indépendantes de celles de l'alcool; l'allure des deux lignes ne révèle aucune sympathie réciproque. C'est là un fait intéressant à signaler car pour les produits des régions viticoles plus chaudes on admet cette relation en exigeant plus d'extrait d'un vin de 15° que de celui de 10°.

Remarquons toutefois que, dans la série des années, l'extrait est en moyenne plus élevé dans les vignobles de l'est du canton que dans ceux de l'ouest dont les produits sont en moyenne moins alcooliques.

On voit immédiatement sur l'ensemble de ces graphi-

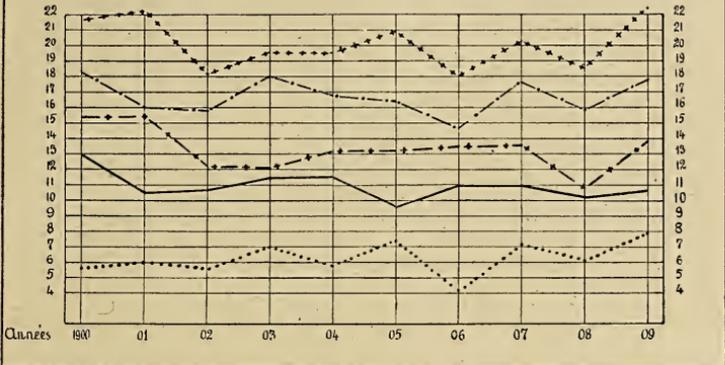
¹ E. Chuard. Bull. Soc. vaud. Sc. nat., XXXII, 121, p. 162.



Variation de la composition chimique d'un vin pendant 10 ans.

Commune : Puidoux. Parcelles : Treylorens.

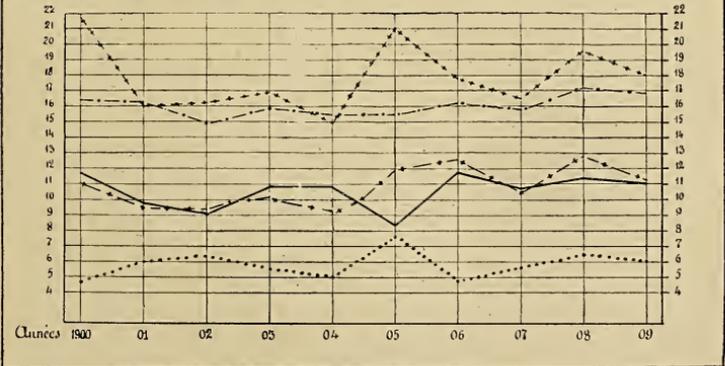
Alcool — 1 = 1% Acidité totale 1 = 1gr. l.
 Extrait total + + + + 1 = 1gr. l.
 Somme alcool + acides fixes - - - - 1 = 1 Extrait réduit - . . . 1 = 1gr. l.



Variation pendant 10 années de la composition d'un vin.

Commune : Luins. Parcelles : Grand Clos.

Alcool — 1 = 1% Acidité totale 1 = 1gr. l.
 Extrait total + + + 1 = 1gr. l.
 Somme alcool + acides fixes - - - 1 = 1 Extrait réduit - . . . 1 = 1gr. l.



Variation de la composition chimique d'un vin pendant 10 ans.

Commune: Béguins. Parcelle: Escot.

Alcool ——— | = 1%

Acidité totale | = 1gr.l.

Extrait total - - - - | = 1gr.l.

Somme alcool + acides fixes - - - - | = 1

Extrait réduit - - - - | = 1gr.l.



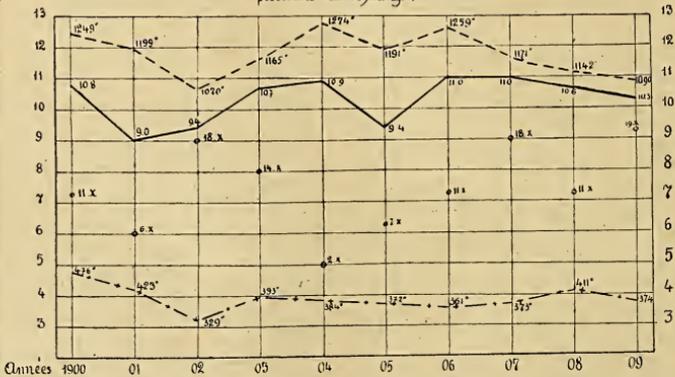
Relation entre les sommes thermiques et la richesse en alcool des vins.

Alcool ———

° Date moyenne du début des vendanges

- - - - Somme thermique des 75 jours précédant la vendange.

- - - - Somme thermique des 30 jours



ques, qu'à part quelques exceptions annuelles, les lignes représentatives de l'extrait et de l'acidité totale ont la même allure. On pouvait au reste le prévoir puisque l'acidité titrée dans le vin dépend de la proportion des sels acides et des acides organiques formant une part importante de l'extrait total. Il est donc plus intéressant d'établir la comparaison entre acidité totale et extrait réduit, c'est-à-dire dont on a soustrait l'acidité fixe et le sucre.

Les graphiques montrent une telle irrégularité entre les deux tracés qu'il n'est pas possible d'en tirer une indication générale. Dans la série d'Aigle, il existe un parallélisme très net entre les lignes représentant l'extrait total, l'extrait réduit et l'acidité. Par contre, la série de Corseaux indique le contraire : sauf en 1903, l'extrait réduit y suit les variations de l'alcool, c'est-à-dire inverses de celles de l'acidité. Les autres graphiques sont intermédiaires entre les deux indiqués.

La comparaison des divers graphiques entre eux montre que les lignes de variations ont une allure assez semblable dans les diverses régions viticoles. L'amplitude des oscillations va en augmentant depuis les vins d'Aigle à ceux de Begnins puis de Champvent. Il en résulte naturellement que par exemple l'*harmonica* alcool-acidité très tendu dans le premier graphique devient de plus en plus accentué, anguleux, dans les autres.

On peut observer en suite que les points anormaux se retrouvent dans tous graphiques aux mêmes années ; par exemple, partout on constate en 1903 une acidité trop élevée par rapport à l'alcool.

Par contre les années 1904 et 1906 ayant fourni des vins peu acides présentent un équilibre satisfaisant entre les constituants du vin, ce qui met en évidence cette conclusion qu'on ne pouvait attendre de semblables statistiques analytiques c'est que les années sèches et chaudes sont chez nous au point de vue physiologique les années

normales pour la vigne : c'est une indication de l'approche de la limite de culture.

Nous avons profité de cette documentation pour vérifier sur une plus large base la relation trouvée par MM. Chuard et Forel¹ entre les variations de composition chimique du moût du Champ-de-l'Air et les sommes thermiques. On trouvera résumé dans le graphique VI le résultat de la comparaison entre : d'une part, les oscillations du degré alcoolique moyen des quatorze vins de la vallée du Léman pendant la décade 1900-1909 et, d'autre part, les sommes thermiques. Celles-ci ont été obligeamment calculées par M. le prof. F.-A. Forel, en prenant pour base les 30 jours ou les 75 jours précédant la vendange. Comme on voit, l'influence du dernier mois, si elle joue un rôle important dans les phénomènes de maturation, est cependant insuffisante pour déterminer le caractère chimique de la récolte. Cette comparaison confirme que c'est la somme thermique des deux mois précédant la vendange qui semble commander le degré alcoolique du vin.

Nous nous efforçons de multiplier le nombre de séries semblables d'observations de variations de la composition d'une récolte, dans la suite des années, en augmentant le nombre des déterminations chimiques effectuées sur celles-ci. Peut-être cette accumulation de documents pourra-t-elle plus tard faciliter des études générales de phytochimie. C'est la raison pour laquelle nous avons consigné brièvement ici les résultats d'une première décade d'observations.

¹ E. Chuard et F.-A. Forel, déjà cités



ERRATA du numéro 176

Page 346, ligne 26 : lire *surfaces* et non *surface*.

» 347, ligne 16 : lire *parallèles* et non *normaux*.

» 347, lignes 13, 19 et 26 ; page 348, lignes 1 et 11 ; page 353, ligne 6 : lire *chenaux* et non *chéneaux*.

A lire sur p. 386 sous fig. 1, *au lieu de* : (Ad nat. del G. J. de FEJÉRVÁRY) simplement : *Dessin schématique*.

A lire sur p. 389, ligne 15 d'en haut, *au lieu de* : « Ceci se passa le 10 juin 1910 » la phrase suivante : « Ceci se passa le 10 *juillet* 1910. »

PROCÈS-VERBAUX

SÉANCE ORDINAIRE DU 10 JANVIER 1912,
à 4 heures, Salle Tissot, Palais de Rumine.

Présidence de M. E. WILCZEK, président.

Le procès-verbal de l'assemblée générale du mercredi 20 décembre 1911 est adopté.

Le président M. E. Wilczek, remercie ses collègues de l'honneur qui lui a été fait en l'appelant au fauteuil présidentiel, et fait des vœux pour la prospérité de la société durant l'an 1912.

Il annonce la mort de M. *Jules Amsler-Laffon*, le savant mathématicien de Schaffhouse, membre honoraire de notre société depuis 1893.

L'assemblée se lève pour honorer la mémoire du défunt.

Le président lit ensuite une lettre de M. le *Dr A. de Quervain* qui remercie le comité de la fondation Agassiz pour son superbe don de 500 francs alloué à l'expédition suisse transgroenlandaise.

Par lettre M. *Biermann* demande d'être relevé de son mandat de vérificateur des comptes, ayant fait partie de la dite commission déjà depuis trois ans.

Puis le président fait part à la société d'une circulaire du comité d'organisation du XIV^e Congrès international d'Anthropologie et d'Archéologie préhistoriques. Ce congrès doit avoir lieu dans la première semaine de septembre 1912. Le président invite les membres que ce congrès intéresse à s'inscrire auprès du secrétaire, s'ils désirent recevoir les prochaines circulaires, et de lui signaler le plus rapidement possible les questions d'intérêt général qu'ils désireraient faire proposer à l'ordre du jour du XIV^e congrès.

Communications scientifiques.

M. Horwitz. — *Quelques rapprochements entre le climat, la glaciation et l'écoulement dans le bassin du Rhin alpin*¹.

Le but du travail est de montrer :

1. Que les dimensions de la glaciation des bassins secondaires dans le bassin du Rhin alpin dépendent (à côté de leur altitude moyenne et configuration) en première ligne de la quantité de précipitations atmosphériques que reçoivent ces bassins et de leur température moyenne ;

2. Que de la quantité des précipitations dépend le débit moyen plus ou moins grand des cours d'eau de ces bassins secondaires.

A. Précipitations :

1. Dans le bassin du Rhin antérieur, le Rhin antérieur s. str. reçoit davantage de précipitations que celui du Glenner ;

2. Dans le bassin du Rhin postérieur, la région la plus humide est le Rheinwald, grâce à sa proximité des lacs italo-suisse ; le bassin le plus sec est celui de l'Albula, à cause de son isolement ; le bassin du Rhin d'Avers, d'après sa position, semble être aussi assez sec (stations pluviométriques manquent).

3. Le territoire du Rhin inférieur et celui de ses deux affluents, de la Tamina et de la Landquart, est humide (proximité du lac de Constance), tandis que le Schanfigg, attenant au minimum des précipitations de Coire, est relativement sec.

B. Température :

De Quervain a formulé une loi d'après laquelle il existe dans les Alpes suisses une montée des isothermes, grossièrement proportionnelle à l'altitude moyenne de chaque région alpine.

Il s'ensuit que dans le bassin du Rhin, la région relativement la plus chaude, au moins à *midi*, est celle du bassin de l'Albula, tandis que les autres bassins secondaires sont plus ou moins froids.

¹ Pour une partie des considérations dans ce travail, je me suis inspiré du mémoire de M. Romer, *Mouvements épeirogéniques dans le haut bassin du Rhône et évolution du paysage glaciaire* (Bull. Soc. Vaud. Vol. XLVII, 65-201). (spéc. pages 109-118).

Une étude ultérieure dans *Das Klima der Schweiz* compare les températures moyennes *journalières* et quoique atténuant les conclusions de de Quervain, il ne reste pas moins vrai que la partie orientale du bassin du Rhin est plutôt chaude, tandis que la partie occidentale est froide. En outre, grâce surtout à l'action du föhn, les vallées plus ou moins transversales sont plus chaudes, les vallées longitudinales plus froides.

En général, nous constatons que les bassins humides du Rhin sont aussi froids, tandis que les bassins secs sont chauds.

C. Glaciation :

a) 1. Dans le bassin du Rhin antérieur, le Rhin antérieur s. str., plus humide et plus froid, est davantage glacé que celui du Glenner ;

2. Dans le bassin du Rhin postérieur, le plus glacé est le Rheinwald, le plus froid et le plus humide ; puis vient le Rhin d'Avers ; la glaciation la plus petite caractérise le bassin de l'Albula, sec et chaud.

3. La glaciation du Rhin postérieur, où prédomine l'influence du bassin de l'Albula, est beaucoup plus petite que celle du Rhin antérieur.

4. Les bassins de la Landquart et de la Tamina, par rapport à leur altitude moyenne relativement faible, sont glacés encore d'une manière assez forte, de même que toute la région du Rhin inférieur, grâce à l'humidité considérable de ces vallées ; par contre, la vallée sèche de la Plessur ne possède pas de glaciers.

b) Dans un grand nombre de régions du bassin du Rhin, le glacier chasse la forêt ; comme conséquence, la surface occupée ensemble par les glaciers et la forêt y est sensiblement la même et oscille autour de 200 ‰.

D. Ecoulement :

1. Pour la période de 1900 à 1905 (inclus.) le débit moyen du Rhin antérieur s. str., où il rejoint le Glenner, est de 43,2 litres par seconde (par km.²) ; le même chiffre pour le Glenner est de 37,4 ; enfin, pour le Rhin postérieur, un peu en amont de la confluence avec le Rhin antérieur, il est de 33,4 litres. Nous voyons ainsi que la région le mieux arrosée alimente son cours d'eau le plus abondamment, tandis que la plus sèche possède un cours d'eau relativement moins volumineux.

2. Le débit moyen du Rhin inférieur à Felsberg (en amont de Coire) pour la même période est anormalement petit, de 31,5 litres. Grâce à

L'apparition dans la vallée des grandes masses perméables (éboulements, moraines, alluvions, roches calcaires), il est probable qu'environ 10 à 15 % du débit superficiel du fleuve passe la station de Felsberg comme nappe souterraine.

3. Le débit moyen du Rhin inférieur à Mastrils (près de Landquart) redevient assez normal (35,4 litres). Le calcul montre que le débit du Rhin inférieur, entre Felsberg et Mastrils, pris isolément, est de 48,2 litres. Ce chiffre très haut s'harmonise bien avec l'humidité considérable de cette région, attenante au lac de Constance.

M. M. **Lugeon** remet à la société au nom de l'auteur, M. le Dr Arbenz, la carte géologique de la région de l'Aar, dès Meiringen à Engelberg.

C'est un des plus beaux spécimens de carte géologique qui ait été publié jusqu'à présent, tant comme étude stratigraphique que comme richesse de détails.

M. M. **Lugeon** présente également la brochure contenant la conférence qu'il a faite le 10 mai 1911 devant la société d'agriculture, sciences et industrie de Lyon et qu'il a répétée à Paris, sur l'étude géologique du Haut-Rhône entre Bellegarde et Seyssel. Il s'agit du barrage du Rhône à Génissiat et de la création d'un immense réservoir, véritable lac de 23 kilomètres de long, avec des usines génératrices pouvant fournir 150 000 kilowatts.

M. **Lugeon** remet en outre, pour la bibliothèque de la société, des tirages à part de trois notes présentées par lui à l'Académie des sciences : deux sur l'existence de deux phases de plissements paléozoïques dans les Alpes occidentales et la troisième sur une inversion locale de pente du lit rocheux du Rhône, en aval de Bellegarde.

Pour terminer M. **Lugeon** donne les résultats du calcul qu'il a eu la curiosité de faire pour connaître la quantité de houille qu'il faudrait pour produire une quantité de calories égale à celles déversées annuellement par les principales sources thermales de Louèche, Il résulte de ces calculs qu'un total de 790 tonnes de houille suffirait, ce qui représenterait, au prix du jour, la somme relativement minime de 34 000 francs.

En terminant la séance M. **Wilczek**, président, se fait l'interprète de l'assemblée pour regretter l'absence de M. F.-A. Forel retenu chez lui

par la maladie. Il forme des vœux pour son prompt rétablissement. A l'unanimité, l'assemblée décide de charger notre président d'aller porter à M. F.-A. Forel les souhaits de rétablissement que forment pour lui tous ses collègues de la société vaudoise des sciences naturelles.

SÉANCE ORDINAIRE DU MERCREDI 24 JANVIER 1912,

à 8 h. $\frac{1}{4}$, Auditoire de botanique, Palais de Rumine.

Présidence de M. E. WILCZEK, président.

Le procès-verbal de la dernière séance est adopté.

M. *Wilczek*, président, qui a été rendre visite à M. F.-A. Forel pour lui apporter les vœux de prompt rétablissement, exprimés par l'assemblée, en sa dernière séance, nous lit une carte de remerciement de M. Forel.

Communications scientifiques.

M. le Dr **H. Faes** présente des *graines d'une Euphorbiacée* (Brésil), habitées par la larve d'un papillon (Carpocapsa?). Lorsque la larve se déplace à l'intérieur du fruit, elle lui imprime des mouvements saccadés, d'où le nom de « graines sauteuses » donné à ces fruits ainsi parasités.

D'autre part, M. le Dr H. Faes présente des échantillons d'un Agaric comestible, l'*Hygrophorus camarophyllus*, échantillons qui ont été cueillis le 13 janvier dans les bois de Chenaulaz s. Lausanne. Le fait est des plus caractéristiques pour la douceur exceptionnelle de l'hiver que nous traversons, car ce champignon n'a jamais été jusqu'ici, à notre connaissance, signalé dans la région avant le 15 mars.

D'autre part, comme les espèces automnales ont continué leur « poussée », ainsi *Cantharellus tubaeformis*, *Craterellus cornucopioides*, *Hydnum repandum*, *Laccaria laccata*, le marché aux champignons de Lausanne s'est tenu, dès l'automne dernier, de façon ininterrompue jusqu'à aujourd'hui, soit fin janvier 1912.

M. **Quarles van Ufford** parle d'un voyage aux Etats-Unis, fait au printemps 1911. La causerie est illustrée par des projections de clichés noirs et en couleurs. Après les déserts du sud des Etats-Unis, nous

visitons le Grand-Canyon du Colorado et descendons à la rivière qui coule au fond de ce gouffre immense. A ce propos, M. Quarles rappelle les voyages et les désastres que subirent plusieurs explorateurs de cette rivière. Depuis ici, nous nous dirigeons vers l'ouest et atteignons l'Océan Pacifique à Los Angeles.

La petite île de Santa-Catalina, qui se trouve en face de cette ville, mérite une visite à cause de ses jardins et forêts sous-marins. On les voit à travers le fond en verre des bateaux construits spécialement dans ce but. Plus au nord, nous nous arrêtons à la station des *Cupressus macrocarpa* et des *Redwood*, composé de *Sequoia sempervirens*.

Dans la Sierra-Nevada, nous eûmes l'occasion de voir l'autre espèce, le *Sequoia gigantea*. Ces deux espèces sont nettement séparées pour des raisons climatiques, la première n'habitant que dans des régions dépourvues de gel et de neige, la seconde, le « *gigantea* », semblant au contraire justement rechercher ces conditions. Nous visitons encore la vallée de Yosemite et voyons les dômes arrondis et les cascades nombreuses, spécialité de la vallée. La question se pose, naturellement du rôle que les glaciers auraient joué dans le façonnement du haut pays et dans la formation d'une vallée aussi curieuse que celle de Yosemite. Le chemin de fer qui nous reconduit vers l'est, le « Union Pacific », franchit la Sierra-Nevada à une altitude de plus de 2000 mètres ; au col se trouve le lac Fahre. La série de projections se termine par quelques vues du Niagara, du Hudson et de New-York.

SÉANCE ORDINAIRE DU MERCREDI 7 FÉVRIER 1912,

à 4 heures, Salle Tissot, Palais de Rumine.

Présidence de M. E. WILCZEK, président.

Le procès-verbal de la dernière séance est adopté.

M. Wilczek, président, annonce le décès d'un de nos membres honoraires, M. Th. Durand, directeur du jardin botanique de Bruxelles, membre de l'Académie royale de Belgique.

Th. Durand, qui était d'origine vaudoise fut, entre autres, auteur, en collaboration avec Pittier, d'un catalogue de la flore du canton de Vaud;

il n'a du reste jamais oublié son canton de Vaud et a fait de nombreux dons, soit à la bibliothèque, soit aux musées cantonaux.

L'assemblée se lève pour honorer la mémoire de ce membre honoraire disparu.

Le président annonce que l'Institut international d'agriculture nous enverra dorénavant le *Bulletin du Bureau des renseignements agricoles et des maladies des plantes*, ainsi que le *Bulletin bibliographique hebdomadaire*, en échange de notre *Bulletin*.

Une souscription a été lancée dans le public pour l'érection d'un médaillon en souvenir de notre regretté membre *Samuel Bieler*. Le comité est autorisé à s'intéresser à cette souscription.

M. *Wilczek* présente à la Société la carte qu'elle a reçue comme membre de la Société pour la protection de la nature.

M. le président exprime la profonde sympathie de tous pour M. le Dr *Paul Dutoit* qui vient d'avoir la douleur de perdre sa mère. La communication de M. Dutoit sera donc remise à une date ultérieure.

Les publications suivantes ont été envoyées à la société par leurs auteurs :

L. Ravaz et G. Verge. — *Sur le mode de contamination des feuilles de vigne par le mildiou* (*Plasmopora viticola*).

L. Ravaz. — *L'effeuillage de la vigne*.

L. Fernald. — J.-D. Somborger. *Some recent additions to the Labrador Flora*.

B. Longo. — *Sul ficus Carica*.

Communications scientifiques.

A propos de la communication de M. H. Faes sur les graines sauteuses, M. **Eug. Delessert** fait remarquer qu'il en a lui-même présenté à la société dans la séance du 3 novembre 1897. Il apprit alors que M. F.-A. Forel en avait déjà parlé le 2 novembre 1892. Quant à cette larve, appelée en Angleterre *Carpocapsa saltitans*, de la famille des Tortricidae, M. Forel avait alors ajouté que c'était une *Carpocapsa Dehaisiana* et que la dite graine appartenait à une espèce d'Euphorbiacée du nom de *Croton colliguaya*, découverte au Mexique aux environs de la ville d'Alams, près Rio Sonora (v. Bull. XXXIV, 1898).

M. **Wilczek** donne lecture d'une lettre-circulaire de M. Paul Scherdlin, naturaliste, à Strasbourg, qui constate que depuis des siècles des

colonies de pigeons habitent la flèche de la cathédrale de Strasbourg. On a vainement cherché autrefois à les détruire. Or, depuis quelques années, le nombre des pigeons a diminué d'une façon surprenante, M. Scherdlin attribue cette diminution presque spontanée au fait que les rues et places, aux alentours de la cathédrale ont été asphaltées, ce qui permet un nettoyage complet, tandis que précédemment les pigeons trouvaient à picorer entre les pavés. Il demande si des faits semblables ont été constatés ailleurs, et serait heureux de recevoir des renseignements à ce sujet (11, rue de Wissembourg, Strasbourg).

M. le Dr **Ch. Linder** présente une colonie, des statoblastes et des figures de *Pectinatella magnifica*, bryzoaire d'eau douce découvert en 1851 par *Leidy*, à *Philadelphie*. Laissant de côté l'anatomie et l'embryogénie du bryzoaire, M. *Linder* esquisse les grandes lignes du développement annuel de la colonie: en été elle s'agrandit aux dépens d'œufs fécondés; dès septembre il y a formation et dispersion de statoblastes (bourgeons hibernants avec épines crochues); en hiver, désagrégation de la colonie; en avril-mai, nouvelle colonie aux dépens des statoblastes, à raison de plusieurs embryons pour une jeune colonie. Les individus ou *polypides* sont réunis en rosettes (*coenoeccium*), celles-ci à leur tour sont portées en grand nombre par un *ectocyste* gélatineux épais et consistant (99,7 % d'eau), si bien que l'ensemble qui peut avoir la grandeur d'une tête humaine et peser plus d'un kilo, forme un individu composé, de troisième ordre supérieur (*cormos polyblastos*). Tantôt allongée, tantôt aplatie ou globuleuse, la colonie est fixée sur les pierres, les bois morts immergés, mais jamais sur les plantes vivantes. Répandu aux *Etats-Unis* ce bryzoaire n'a été trouvé en *Europe* que près de *Hambourg* (*Kræpelin*, 1883) et près de *Berlin* (*Weltner*). Y a-t-il là un cas de faune disjointe ou de migration passive des statoblastes résistants? Des espèces voisines sont connues au *Japon*, en *Inde* et, sous forme de statoblastes tout au moins, en *Afrique*.

M. *Linder* fait don de ses spécimens au Musée cantonal qui n'en possède pas encore.

M. **P.-L. Mercanton** expose la question de la lutte contre la grêle par le moyen des «Niagaras électriques» de MM. de Négrier et de Beauchamp. Ces engins ne sont autres que des paratonnerres, capables d'un grand débit et sont censés, à l'instar des paragrêles de 1825 dont ils dérivent, décharger de leur électricité les nuées orageuses. MM. de

Négrier et Beauchamp, posant en principe que la formation de la grêle est due à l'électrisation des nuages, estiment que les cinq niagaras de la Vienne, hauts de 40 mètres et distants de quelque 10 km., ont toute qualité pour ce faire.

M. Mercanton, après d'autres, ne peut faire l'acte de foi théorique que demande la créance en l'efficacité des niagaras, ni reconnaître dans les résultats publiés à ce jour autre chose que des raisons de très prudente réserve.

Cette attitude se fortifie chez lui des enseignements de l'histoire des tentatives grêlifuges. Il estime que les espoirs qu'on peut fonder sur les niagaras sont trop pauvres et le coût de ces engins trop élevé pour que le canton de Vaud puisse et doive se donner le luxe de mettre en expérience ce moyen de lutte qui n'a même pas le mérite de l'originalité.

A propos des « Niagaras électriques » M. **Quarles van Ufford** rappelle les expériences peu connues de Prokop Divisch. Divisch occupait les loisirs que lui laissait la charge de curé d'un petit village de Bohême, à faire des expériences de physique, notamment d'électricité. En 1754 il érigea un paratonnerre qui se composait d'une tige de fer, qui communiquait d'une part avec l'eau souterraine et d'autre part portait sur des branches horizontales des boîtes en métal remplies de limaille de fer, dans laquelle de nombreuses pointes en fer étaient placées. L'appareil avait 40 mètres de haut.

A plusieurs reprises Divisch vérifia l'utilité de son paratonnerre ; il observa que les orages se dissolvaient en s'en approchant et que la grêle fréquente dans les environs épargnait la localité où se trouvait l'appareil.

Malgré ces bienfaits Divisch ne jouit pas d'un grand succès ; on mit sur le compte de l'appareil toutes les conditions météorologiques défavorables qui se présentèrent, tels que manque de neige, hiver très rigoureux, etc. Pour finir les habitants des environs croyant que Divisch leur envoyait la grêle qui lui était destinée, détruisirent l'appareil. Il ne fut plus reconstruit par son inventeur. L'idée de Divisch a été cependant reprise ou est née à nouveau et s'est matérialisée, modifiée et perfectionnée dans les « Niagaras électriques » français actuels.

M. P.-L. Mercanton ayant parlé du rôle de la forêt dans la marche des orages, M. **Wilczek** rappelle qu'il y a quelques années, du vivant du regretté professeur Jean Dufour, un étudiant allemand présenta à l'Uni-

versité une thèse dans laquelle il étudiait précisément les phénomènes de la foudre sur les arbres. Le bon sens populaire dit que certains arbres sont plus dangereux que d'autres, et attirent la foudre, comme par exemple le chêne. Le hêtre, suivant l'auteur de cette thèse, serait l'arbre le moins frappé ; cela s'explique par ce que le hêtre renferme certaines huiles végétales. Les arbres à graisses seraient réfractaires à la foudre, tandis que les arbres saccarophiles seraient les sujets les plus frappés.

A ce sujet, **M. Perriraz** remarque que dans le Jura qu'il a fort souvent parcouru, il a vu la foudre atteignant les sapins plutôt que les fayards, quoique la taille de ces derniers fût très souvent plus élevée que celle des premiers.

M. Dusserre parle de l'influence de la topographie sur la marche des orages et des colonnes de grêle. **M. Mercanton** croit en effet que dans le cas des petits orages, la topographie peut jouer un certain rôle dans la direction de la colonne de grêle, tandis que lorsqu'il s'agit de gros orages cela ne paraît guère possible.

A ce sujet **M. Fr. Jaccard** présente quelques observations faites à propos de la colonne de grêle qui s'est abattue sur Pully et les environs le 9 octobre 1911. La direction générale de l'ouragan semblait bien S.-O.-N.-E. Or à Pully ce sont les façades N.-O. qui ont été criblées par les grêlons.

D'où provient ce changement subit de direction ? D'un courant local ? De l'influence de la topographie locale ? Les quelques renseignements qu'il a recueillis à la suite d'une enquête faite à ce sujet ne lui ont pas permis de résoudre la question.

M. Wilczek remercie **M. Mercanton** de sa communication, et surtout de se préoccuper de tout ce qui concerne la situation économique du pays.

M. Ferd. Porchet nous fait part de quelques observations sur certaines anomalies caractéristiques dans les analyses de vins. C'est ainsi que la sécheresse persistante de l'été 1911 a empêché l'échange habituel entre l'appareil foliacé et les fruits. Si bien qu'au moment des vendanges il manquait du sucre aux raisins, tandis que l'acidité totale était encore fort élevée. C'était un peu le caractère des grains dits « enferrés. »

Le 3 septembre 1911 **M. Porchet** en faisant l'analyse des raisins d'une vigne du Champ-de-l'Air, trouvait 10,25 % de sucre et 15,4 ‰ comme acidité totale. Le 12 septembre 1911 les chiffres n'ont presque

pas varié : sucre 10,85 %; acidité totale 15,4 ‰. Il suffit de légères pluies (10 à 15 mm. entre le 15 et le 16 septembre) pour que M. Porchet trouve dans l'analyse des raisins, le 19 septembre : sucre 16,27 %; acidité totale 8,9 ‰. Il y a eu donc une transformation brusque qui s'est opérée dans les raisins. L'apport d'eau, quelque minime qu'il fût, a provoqué un enrichissement en sucre et une diminution de l'acidité.

La sécheresse persistante de l'an 1911 a provoqué encore d'autres anomalies dans la composition chimique des vins. M. Porchet en poursuit actuellement l'étude.

SÉANCE ORDINAIRE DU MERCREDI 21 FÉVRIER 1912,

à 8 ¹/₄ heures, Salle Tissot, Palais de Rumine.

Présidence de M. E. WILCZEK, président.

Le procès-verbal de la dernière séance est adopté. Le président annonce la candidature de M. *Bretagne*, régisseur, présentée par MM. Wilczek et Lador.

M. *Auberjonois* offre à la société, en souvenir de son fils défunt, un superbe microscope Zeiss, deux gros volumes Staudiger et Schatz avec les livraisons qui suivront (papillons exotiques avec planches en couleurs), une brochure de Hübner, datant de 1818, aujourd'hui rare, et relative aux papillons séricigènes. M. Wilczek remercie bien sincèrement M. Auberjonois pour ces dons, qui dépassent les limites de la générosité habituelle et que la société reçoit avec reconnaissance. L'assemblée se lève pour manifester sa sympathie au donateur et pour honorer la mémoire du défunt. Le microscope sera muni d'une plaque rappelant le don, et les volumes recevront une inscription dans le même sens.

Le président rappelle la lettre-circulaire de M. Scherdlin, à Strasbourg, demandant des observations sur la relation entre l'asphaltage des rues et la diminution des pigeons.

Une lettre de M. *Pellis*, expert-forestier, demande à la société de bien vouloir s'occuper de l'étude de l'influence du goudronnage sur les arbres des promenades publiques. Les effets néfastes sont constatés un peu partout; mais il y a divergence quant à l'explication du mode d'action du goudron sur les plantes. Pour les uns, ce sont les émana-

tions qui sont nuisibles ; d'après M. Pellis, l'arbre dépérit par asphyxie des racines.

M. *Wilczek* rappelle à ce propos qu'à Lausanne seulement il y a, dans les promenades et avenues publiques, environ 12 000 arbres plantés, une vraie forêt dont il vaut bien la peine de s'occuper.

La société a reçu de leurs auteurs les publications suivantes :

P. Choffat. Rapports de géologie économique.

Dr L. von Ammon. Schildkröten aus dem Regensburger Braunkohlenthon.

De Quervain. Plan de l'expédition suisse au Groenland (don de M. P.-L. Mercanton).

Communications scientifiques.

M. le Dr **Marcel Bornand** présente une mèche rapide utilisée par le génie militaire et qui est de fabrication autrichienne; elle est composée d'un mélange de fulminate de mercure et de paraffine, le tout enveloppé d'une membrane protectrice.

Elle brûle de 3 à 5 kilomètres à la seconde et peut être considérée comme un véritable explosif de sûreté, c'est-à-dire n'explosant qu'à l'aide d'un détonateur. En effet, si on l'allume, elle brûle difficilement et le plus souvent s'éteint. Pour produire son action, il faut qu'elle soit en contact avec un détonateur, c'est-à-dire une capsule de fulminate de mercure.

Deux fragments de mèche rapide peuvent être reliés sans qu'il soit nécessaire de faire une ligature et de mettre en contact l'élément explosif; on noue les deux parties comme un bout de ficelle. Son emploi est d'une grande utilité pour la destruction rapide d'ouvrages où plusieurs mines doivent exploser en même temps.

Sa vitesse d'action peut la faire substituer à l'électricité; le seul inconvénient est le prix relativement élevé, environ 70 cent. le mètre.

M. Maurice Lugeon. — *Tortue fossile de l'Oxfordien de Tanneverge (Massif de la Tour Sallière, Bas-Valais).* — En 1902, M. le Dr Charbonnier, de Bussigny, a récolté, à environ 250 mètres à l'est du col de Tanneverge (2497 m.), une tortue fossile. La roche qui l'accompagne indique nettement l'Oxfordien, ce qui est conforme aux levés géologiques de cette région exécutés par M. L.-W. Collet.

Le fossile a environ 25 centimètres de long. On y reconnaît la moitié postérieure du plastron et de la carapace, mais la conservation des plaques ne permet pas de déterminer l'exemplaire. Ce fossile est cependant intéressant parce qu'il est, à notre connaissance, le seul représentant de chélonien dans les Alpes.

L'échantillon est déposé au Musée géologique de Lausanne.

M. Emile Argand. *Phases de déformation des grands plis couchés de la zone pennique.* — Dans des publications antérieures, j'ai introduit la notion de *zone pennique*. Ce concept découle de la forme des objets tectoniques et non pas seulement de leur matière. La zone pennique, c'est l'ensemble des plis couchés simplotessinois, du Grand-Saint-Bernard, du Mont-Rose, de la Dent-Blanche, de leurs enveloppes mésozoïques et nummulitiques et de tout ce qui, en long et en travers, peut ou pourra y être rattaché. Pour prendre une idée de l'extension, de la structure et des rapports de la zone pennique entre les Grisons et la Méditerranée, on peut consulter les planches que j'ai construites¹ en utilisant, outre les faits connus, ceux que m'ont révélés dix années de recherches dans les Alpes valaisannes et franco-italiennes.

La clef géométrique de l'interprétation, c'est le *principe de sortie axiale* oblique des plis couchés, qui reçoit une forme concrète dans mes stéréogrammes. Il est notre guide pour la restitution des parties érodées comme pour la diagnose des structures enfouies. Grâce à lui, nous pouvons rétablir environ 20 kilomètres de matière enlevée jadis au bombement axial tessinois, et pénétrer d'autant sous les régions ensellées. Pour la première fois, la géométrie fournit le moyen de jauger l'espace tectonique sur environ 40 kilomètres de hauteur. Il n'est pas indispensable d'attribuer dans le passé, à la région qui est devenue le Tessin, des reliefs de 20 000 mètres. L'exhaussement et l'érosion sont des forces antagonistes, et depuis le début de l'exondation des carapaces, la prépondérance a appartenu tantôt à l'une, tantôt à l'autre. Rien n'empêche donc de penser que l'érosion des carapaces aux temps néogènes ait main-

¹ Emile Argand. *Les nappes de recouvrement des Alpes occidentales*. Essai de carte structurale au 1 : 500.000^e. Matér. Carte géol. Suisse, nouv. sér., Livre XXVII. Planche I (carte spéciale n° 64). — Neuf coupes à travers les Alpes Occidentales. Ibidem, pl. II. — Coupes géologiques dans les Alpes Occidentales. Ibidem, pl. III. — Les grands plis couchés des Alpes Pennines. Ibidem, pl. IV.

tenu le relief dans des conditions d'altitude analogues à ce qui existe aujourd'hui sur le globe.

Les plis couchés penniques se sont formés à de grandes profondeurs, comme le montrent, avant toute chose, les énormes épaisseurs que je dois leur attribuer pour satisfaire aux conditions géométriques du problème. Les nappes du Mont-Rose et du Saint-Bernard atteignent 8 et 10 kilomètres d'épaisseur, et cela suffit à montrer que le dôme tessinois nous révèle, au jour, des profondeurs dépassant tout ce qu'on a dit.

Il est clair que des plis couchés aussi épais ne sauraient résulter de glissements superficiels. L'étonnante régularité de leurs boucles, la rareté ou la subordination des grands décollements, la conservation habituelle des flancs renversés font également voir que la déformation s'est accomplie en un milieu confiné et très profond.

Le diastrophisme pennique n'est pas un phénomène étroitement limité dans le temps. Dans ce développement longtemps poursuivi, quelques phases principales peuvent être marquées. Les divers objets tectoniques, en marche vers l'extérieur des Alpes, luttèrent pour la possession de l'espace. Les premiers occupants devaient supporter la poussée des arrivants et ne s'en tiraient pas sans de graves déformations, rendues sensibles par mes coupes. On voit que les mouvements principaux des nappes VI et V sont postérieurs à ceux de la nappe IV, et que certains mouvements de la zone insubrienne sont plus jeunes encore. Nous avons donc le moyen de discerner quatre phases qui sont, en descendant le cours des âges :

1. *La phase bernardienne*, pendant laquelle la nappe du Saint-Bernard et ses grandes digitations forment un système de plis couchés montant vers l'extérieur des Alpes, avec plans axiaux faiblement inclinés sur l'horizon.

2. *La phase Dent-Blanche*. Dans sa marche vers l'avant, la nappe VI prend une grande ampleur. Sous elle, les digitations supérieures de la nappe IV subissent un amincissement très considérable ; leur matière, exprimée de vive force par ce laminage, flue vers l'avant et s'accumule sous de grandes épaisseurs dans des régions moins comprimées, où elle vient former l'éventail de Bagnes avec ses plis en retour. C'est, à une moindre échelle, un phénomène d'*encapuchonnement* semblable à celui que la nappe V déterminera à la phase suivante.

3. *La phase Mont-Rose.* Les plis frontaux de la nappe V s'encapuchonnent dans le flanc normal IV, et ainsi prennent naissance, sur des centaines de kilomètres de longueur et suivant le mécanisme que j'ai indiqué¹ le principal régime de plis en retour et le principal éventail des Alpes Occidentales. Le plus gros de ces plis en retour est celui de la Mischabel. Quand il s'est retourné, une partie des digitations supérieures de IV, précédemment laminées par VI, s'est invaginée avec lui dans la branche de Saas. Cela montre bien que la phase Dent-Blanche est antérieure à la phase Mont-Rose.

4. *La phase insubrienne.* Une portion de la zone insubrienne pénètre sous la région radicale des plis couchés. La zone pennique, comprimée entre la zone insubrienne qui avance et les massifs de l'infrastructure qui résistent, se rétrécit. Sa partie interne, la plus exposée, est vigoureusement déformée. Les racines, qui auparavant plongeaient doucement vers l'intérieur des Alpes, conformément aux conditions génétiques des plis couchés, sont redressées, puis renversées; en même temps, elles sont laminées, amincies et localement écrasées. Le rétrécissement de la zone pennique est compensé par un fort accroissement en hauteur; la région postérieure des nappes s'élève plus que la région antérieure, et les plis V et VI, jadis ascendants vers l'extérieur des Alpes, deviennent plongeants.

Le redressement et le renversement des racines sont des phénomènes secondaires: c'est l'attitude presque horizontale des plis couchés qui est le phénomène primitif.

Il y a, dans les Alpes Occidentales, au moins trois zones conformées en éventail. Ce sont, de dehors en dedans, l'éventail de Bagnes, l'éventail principal et l'éventail radical. Ils sont dus tous les trois à des poussées unilatérales, venues de l'intérieur des Alpes, et dont le maximum se trouvait à une certaine profondeur, ce qui explique les plis en retour et par suite les éventails eux-mêmes. Ces serrages profonds résultent, le premier, de l'avancée de la nappe VI, le second, de l'avancée de la nappe V, le troisième, de l'avancée tardive d'une partie de la zone insubrienne.

Cette généralisation de mes vues antérieures explique la formation

¹ Emile Argand. *Les nappes de recouvrement des Alpes Pennines et leurs prolongements structuraux.* Matér. Carte géol. Suisse, nouv. sér. XXXI, I, 1911. Voir aussi ces Procès-verbaux, séance du 17 mai 1911.

des éventails par le renouvellement périodique des surcompressions profondes et fournit, du même coup, le moyen de parfaire la chronologie des nappes, déjà ébauchée par moi en mars 1906.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE DU MERCREDI 6 MARS 1912,

à 3 heures, Salle Tissot, Palais de Rumine.

Présidence de M. E. WILCZEK, président.

Le procès-verbal de la dernière séance est adopté.

M. *Ch. Bretagne* est reçu comme membre effectif. M. le baron G. J. de *Fejévary* (Budapest), est présenté comme candidat par MM. Fr. Jaccard et Blanc.

Le président annonce la démission de M. Magnenat (Porrentruy). M. Auguste Vautier-Dufour est malheureusement empêché par ses nombreuses occupations et par la distance, d'assister aux séances du comité. Il donne sa démission, acceptée quoique à regrets.

M. Bühner, pharmacien à Clarens, est nommé membre du comité par l'assemblée.

Le rapport des vérificateurs des comptes est présenté par M. Perriraz.

Ce rapport est adopté par l'assemblée et décharge en est donnée avec remerciements au caissier et aux vérificateurs des comptes.

Le président attire l'attention de l'assemblée d'une part sur le déficit de l'exercice qui s'explique par quelques dépenses extraordinaires et par l'extension du Bulletin, preuve de l'activité scientifique de la société, d'autre part sur la diminution du fonds social.

Le comité s'efforcera de réaliser des économies. A titre de vœu il voudrait voir diminuer la longueur des résumés, présentés par les auteurs, pour les procès-verbaux. Après une longue discussion à laquelle prennent part MM. Lugeon, Félix, Jaccard, P.-L. Mercanton une commission est nommée (MM. Félix, Lugeon, Jaccard), qui présentera à bref délai un rapport en tenant compte des desiderata exprimés dans la discussion. (Limitation des procès-verbaux ou conservation du *statu quo* en faisant alors payer les auteurs.) M. Mercanton demande que la commission ait aussi à considérer l'augmentation de la cotisation des membres urbains. L'assemblée adopte, en outre, la proposition du comité de réunir en un seul fascicule les numéros du Bulletin de juin et septembre.

La société a reçu de la commission géologique suisse : la seconde édi-

tion de la carte géologique de la Suisse au 1/500.000^e qui a été publiée avec la collaboration de MM. Niethammer, Erni, Argand, Arbenz, et complétée par Albert Heim.

Communications scientifiques.

Suivant son usage M. P. L. Mercanton résume ses observations de l'enneigement des Alpes en 1911, observations qui seront publiées en détail dans l'*Annuaire du Club alpin suisse* pour 1912.

D'après les récits des touristes l'enneigement hivernal a été tardif et abondant, le déenneigement estival a été rapide et continu, cependant pas autant qu'on eût pu le croire, par défaut de pluies chaudes. M. J. Koenigsberger, professeur à l'Université de Fribourg-en-Brigau estime que deux faits dominent la situation, à savoir : a) report depuis une quinzaine d'années, du maximum des précipitations hivernales à la fin de l'hiver et au début du printemps. b) augmentation de la moyenne thermique en arrière-automne.

C'est bien ce que d'autres observateurs montrent¹.

Les sommets ont été plus tôt et plus découverts qu'en 1910. On a vu apparaître sur les glaciers des crevasses où l'on n'en voyait guère auparavant.

Les nivomètres ont fourni comme toujours les renseignements les plus précieux. Ils s'accordent à montrer un enneigement hivernal moindre qu'en 1910 et une forte dissipation estivale.

Le bilan qui soldait en gain pour 1910 solde en fort déficit pour 1911, à tel degré qu'il devient nécessaire d'attribuer à un autre facteur qu'à l'ablation l'abaissement du niveau du névé, dans ses hautes régions.

M. Mercanton n'hésite pas à admettre un tassement du névé, consécutif à ses accroissements de 1909 et 1910. Ce tassement correspond à la naissance d'une vague de déformation de l'appareil glaciaire, vague dont le sommet doit se trouver déjà en marche vers l'aval. Les mensurations de 1911, au glacier du Rhône, ont permis de constater la présence d'une telle vague vers 2500 m. On peut donc espérer voir bientôt les glaciers, du moins quelques-uns, s'allonger.

Ce tassement a eu pour effet d'accentuer énormément les rimaies anciennes et d'en créer de nouvelles à quelque distance au-dessus des pre-

¹ Cf. à ce propos aussi: J. Maurer. *Abnormale Wanderungen der temporären Schneegrenze im Schweizeralpengebiet*. Meteorol. Zeitsch. Fév. 1911. XXVIII. Heft 2, p. 77. (L'Editeur.)

nières ; M. Mercanton en a constaté plusieurs. Il a essayé d'en donner l'explication dans une précédente séance.

Les constatations nivométriques de 1911 ont accentué la nécessité d'avoir, à côté des échelles nivométriques de rocher, des balises mobiles avec le glacier. M. Mercanton a placé en novembre sur le glacier de Trient, près du nivomètre d'Ornex, la balise du type Hamberg qu'il a présentée à la société en octobre dernier.

Nivomètre d'Ornex. 3100 m.

Accumulation Hiver		Dissipation Été		Résidu Automne	
1905-1906	6	1906	9	1906	— 3
1906-1907	7	1907	7	1907	0
1907-1908	8.5	1908	8.5	1908	0
1908-1909	?	1909	?	1908	?
1909-1910	10	1910	7	1910	+ 3
1910-1911	7	1911	8.5	1911	— 1.5

Eiger. 3100 m.

Accumulation Hiver		Dissipation Été		Résidu Automne	
1906-1907	> 19	1907	> 18	1907	+ 1
1907-1908	> 18	1908	> 21	1908	— 3
1908-1909	17	1909	16.5	1909	+ 0.5
1909-1910	25.5	1910	19	1910	+ 6.5
1910-1911	16.5	1911	35.5	1911	— 19.5

Diablerets. 3000 m.

Accumulation Hiver		Dissipation Été		Résidu Automne	
1907-1908	> 9	1908	> 10	1908	— 1
1908-1909	> 10	1909	> 7.5	1909	+ 2
1909-1910	> 7.5	1910	> 0.5	1910	+ 7
1910-1911	> 0.5	1911	> 7	1911	— 6.5

M. P.-L. Mercanton offre à l'assemblée les prémisses des observations recueillies à la nouvelle station météorologique d'Ouchy, pendant le mois de février 1912, premier de l'établissement de ce poste.

Le besoin d'une installation météorologique sérieuse à Ouchy se faisait sentir depuis longtemps, le beau don de 10000 fr. fait, voici quelques années dans ce but par M. J.-J. Mercier a été malheureusement

employé de la manière la plus fâcheuse pour sa véritable destination et il n'a pas été possible de rien tirer descientifiquement utile des instruments logés en défi au bon sens dans une copie de monument grec. La municipalité de Lausanne actuelle, qui s'en rendait compte, n'a pas hésité à entrer dans les vues de M. Mercanton et à admettre son plan, aujourd'hui heureusement réalisé et sans grande dépense (300 fr. environ).

Le nouveau poste météorologique d'Ouchy est situé non loin du pavillon Mercier, dont les enregistreurs continuent d'ailleurs à satisfaire la curiosité du grand public. Il comprend une installation pluviométrique du type adopté dans les stations suisses et une guérite de fer, très ajourée et coiffée d'un toit en bois et éternite.

Cette guérite renferme : un grand thermomètre de station, pareil à celui du Champ-de-l'Air, un thermomètre à maxima, un thermomètre à minima, un hygromètre à cheveu.

Les observations sont faites aux mêmes heures qu'au Champ-de-l'Air par les agents du poste de police d'Ouchy, qui y mettent toute la bonne volonté désirable.

Le mois qui vient de s'écouler a été, bien entendu, un mois d'épreuve pour la nouvelle installation. Cependant elle a fonctionné assez sûrement pour qu'on puisse déjà tenter une comparaison entre les deux stations du Champ-de-l'Air et d'Ouchy, dont la différence d'altitude est d'environ 177 mètres.

Voici les moyennes obtenues :

Février 1912.

	Température	Humidité	Pluie (totale)
Ouchy	5,7	78 %	66mm
Champ-de-l'Air	4,5	74 %	79mm

On voit qu'Ouchy présente sur le Champ-de-l'Air un excès de température de 1,2° C. Ce chiffre est en accord avec le taux de décroissance de la température avec l'altitude mais pour le printemps (0,67° par 100 mètres) et non pour l'hiver.

L'humidité a été plus forte à Ouchy de 4 %; le voisinage immédiat du lac suffit à en rendre compte. Enfin on a recueilli à Ouchy 13mm d'eau de moins qu'au Champ-de-l'Air. Ce résultat est également conforme à ce que l'on sait de l'augmentation des précipitations avec l'altitude.

Remarquons en passant que la température moyenne du Champ-de-l'Air a été anormalement haute en février. Elle devait être + 1,6, elle a

été 4,5, soit de 2,9 plus élevée. Elle dépasse encore de 0,3 de degré la moyenne de mars. Quant aux précipitations, elles accusent un fort déficit, 27^{mm} soit 30 % environ de moins que la moyenne.

On peut espérer beaucoup du poste météorologique d'Ouchy, s'il est correctement utilisé. Il permettra dans peu d'années de donner du climat véritable de l'agglomération lausannoise une expression plus juste et aussi plus favorable que l'actuelle.

Enfin M. P.-L. Mercanton compare ces résultats avec les relevés que M. C. Bühler, pharmacien à Clarens lui a envoyé.

Nous subissons, dit M. C. Bühler, à Montreux, depuis huit mois, un excédent de température remarquable. Avril, mai et juin 1911 avaient des moyennes en dessous de la température normale. A partir de juillet l'excédent se manifeste :

	Température normale	1911
Juillet	19.2	21.3
Août	18.4	21.8
Septembre	15.3	17.5
Octobre	10.5	11.2
Novembre	5.7	8.0
Décembre	2.3	5.1
		1912
Janvier	1.1	3.4
Février	2.1	5.6

C'est un surplus de température de 2°⁴ en moyenne par mois, et pour l'hiver seul de 2°⁹.

Je constate, depuis 35 ans, un réchauffement de la température à la fin de décembre, un refroidissement marqué au commencement des mois de janvier et février. Il y a, cet hiver, une anomalie pour la fin de décembre. Par contre le refroidissement de la première pentade de février est remarquable et se manifeste déjà à partir du 28 janvier.

M. Emile Argand. — *Encore sur les phases de déformation des plis couchés de la zone pennique*¹. — A la phase Dent-Blanche², la

¹ Les formes structurales dont l'explication génétique est tentée ici sont dessinées dans Emile Argand : *Les nappes de recouvrement des Alpes occidentales*. Essai de carte structurale 1 : 500,000^e, avec trois planches de coupes. Matér. Carte géologique suisse, n. s., XXVII, carte spéciale n° 64, pl. I-IV. Berne 1911.

² Voir ces Procès-verbaux, séance du 21 février.

nappe VI a laminé et tronçonné en lentilles les digitations supérieures de la nappe IV. Appelons ces digitations IV'' et nommons IV' le reste de la nappe IV. L'ensemble $VI + IV'' + IV'$ était un système de plis largement couchés, dont les plans axiaux montaient doucement vers l'extérieur des Alpes. Je considère cette attitude comme normale, primitive et dominante pendant le proplissement (Vorfaltung) des plis couchés penniques. En avant de VI, IV'' se renflait pour former l'éventail de Bagnes. V était encore peu développé. Quand le maximum de l'effort tangentiel se déplaça vers le bas, ce fut la phase Mont Rose. Le proplissement de V devint plus rapide. Cette nappe s'encapuchonna sous une partie de IV'' et de IV' , ce dernier objet fournissant la matière du pli en retour Mischabel-Valsavaranche et de ses prolongements (éventail principal). L'amplitude du sous-charriage de V sous $IV'' + IV'$ est de 25 à 30 kilomètres. Le système inférieur $V + IV'$ se rétrécissait sous le système supérieur $VI + IV''$, qui devenait trop large pour son substratum et dut se replier sur lui-même. Ainsi prirent naissance, ou s'accrochèrent, les enroulements digités qui caractérisent la nappe VI (VI'' Dent-Blanche s. str., VI'' Mont-Mary, VI' Mont-Emilius). En même temps, une partie de IV'' se redoubla en s'invaginant dans le diverticule synclinal retourné qui sépare VI'' de VI' . Appelons IV''_0 cette portion déformée de IV'' . Le rétroplissement de IV' (Mischabel, etc.) détermina, dans le Mésozoïque situé en arrière, un énorme remous horizontal et rétrograde, qui s'invagina et maintint une partie de IV'' dans une région fort reculée du synclinal V-VI. Ce remous profond retroussa vers l'arrière les extrémités inférieures de VI'' , VI'' , VI' et la partie basse de IV''_0 , tandis que les parties supérieures de VI continuaient à avancer sous l'action du proplissement. Voilà pourquoi les plans axiaux de VI'' , VI'' et VI' sont devenus des surfaces dont la concavité regarde au S.-E., disposition que j'ai signalée en 1906. Le proplissement continuant dans les parties supérieures de VI, le haut du synclinal VI'' - VI'' , avec son contenu IV''_0 déjà tronçonné, invaginé et redoublé, se replia en zigzags compliqués et prit une allure de lanterne vénitienne écrasée, avec étirements, lentilles perdues et charnières multiples parfois ouvertes au S.-E. (Cima Bianca) et contenant, outre le substratum immédiat de VI, quelques fragments repliés de IV''_0 (Château des Dames).

Les charnières de ce type s'expliquent donc aisément, sans éventail autochtone et sans poussée au S.-E. Les plis IV'' et les lentilles qui en dérivent sont faits de Trias calcaréo-dolomitique, avec noyaux où domi-

nent les quartzites du Trias inférieur. Ils digitent le remplissage de schistes lustrés à pierre verte qui s'étend entre les nappes IV, V et VI (fenêtre de Châtillon-Zermatt, zone du Combin, etc.), et le divisent en étages tectoniques.

M. **Fr. Jaccard** présente une itacolomite qui lui a été remise, pour le musée géologique, par M. André Engel. D'après les renseignements fournis obligeamment par l'entremise de M. le Directeur de la section géologique du musée indien de Calcutta, cette itacolomite proviendrait de Kaliana, à quatre milles de Dadri, dans le Jhind (donc dans les environs de Delhi).

L'échantillon présenté (7,5 cm, de long sur 3,5 de large) est un grès rosé quartzeux, roche grenue, rugueuse au toucher qui ne contient que quelques rares paillettes de mica. Cette itacolomite semble ressembler comme texture à celle (du Brésil) décrite par M. L. Cayeux (1903, *Bul. soc. philomat*, Paris), sauf qu'elle n'a pas sa remarquable flexibilité.

Entre les grains de quartz qui s'enchevêtrent de façon à produire une véritable articulation, il y a une certaine proportion de pâte feldspathique qui n'entoure pas chaque grain de quartz, mais occupe les espaces entre chaque grain. C'est à la décomposition et au déplacement de cette pâte feldspathique qu'est due la flexibilité des spécimens décomposés (cf. Oldham. On flexible sandstone or Itacolomite, etc. *Rec. Geol. Surv. of India*, vol. XXII, p. 51, 1889) et non pas à la flexibilité des minéraux constituants du mica: cf. von *Eschwege. Poggendorf Annalen*, LVII, 100, 1817; LIX, 135, 1818).

Il existe un rapport entre la décomposition de la roche et sa flexibilité, connexion qui a été notée par Oldham pour le gisement de Kaliana, par von Eschwege pour le gisement du Brésil, par Tuomey (*Report of the geology of the South Caroline*, 4, Columbia, 1848), et que l'on peut noter aussi pour le morceau présenté ici.

L'ordre du jour est épuisé. M. **E. Wilczek**, notre président, s'adresse alors à notre cher collègue P.-L. Mercanton qui va partir prochainement pour le Groenland, accompagnant l'expédition suisse du Dr Quervain, et lui apporte les vœux et souhaits de réussite que formulent, pour ces hardis et valeureux explorateurs, la société vaudoise des sciences naturelles. M. Forel, empêché à son grand regret par la maladie d'être présent, a tenu de s'associer à ces vœux par un télégramme adressé à

son ami et collaborateur aimé P.-L. Mercanton. Par l'entremise du président il lui fait remettre deux fanions flammés aux couleurs verte et blanche, emblème du pays natal, que MM. Mercanton et de Quervain feront flotter le 1^{er} août sur les glaciers du Groenland.

M. P.-L. Mercanton dit en termes émus sa grande reconnaissance pour l'accueil chaleureux que la Société vaudoise des sciences naturelles a fait à ce projet d'exploration. M. de Quervain sera également reconnaissant des marques de sympathies de ses compatriotes vaudois à qui il doit le plus gros concours financier pour son expédition.

ASSEMBLÉE ORDINAIRE DU MERCREDI 20 MARS 1912,
à 8 ¹/₄ heures, Auditoire de botanique, Palais de Rumine.

Présidence de M. E. WILCZEK, président.

Le procès-verbal de la dernière séance est adopté.

M. le baron G.-J. de Fejérvary est reçu comme membre effectif. MM. Marius Grandjean (par MM. E. Wilczek et Maillefer) et Alfred Curchod (par MM. Dr Barbey et Wilczek) sont présentés comme candidats.

M. E. Wilczek, en rappelant l'invitation à participer au XIV^e congrès international d'anthropologie et d'archéologie qui aura lieu à Genève dans la première semaine de septembre 1912, expose à la société les questions générales proposées par le comité du congrès.

Il invite les membres qui auraient des communications à faire en ce congrès à s'inscrire sans retard auprès du secrétaire qui les transmettra à Genève.

Le président dépose en outre sur le bureau le programme d'excursion du VIII^e congrès international de Chimie appliquée qui sera ouvert à Washington le 4 septembre 1912.

Il lit enfin une lettre de remerciements de M. de Quervain pour les vœux formulés pour la réussite de son expédition et pour le fanion vaudois qui lui a été remis de la part de M. F.-A. Forel.

La société a reçu avec remerciements pour les auteurs les dons suivants :

M. A. Guébbard. — Sur les anses verticales multiformées horizontalement.

A propos de la décoration au champ levé ou par excision d'une poterie préhistorique provençale.

A propos des broches de bronze à collerettes et à disques mobiles.

MM. A. Guébard et E. Schmidt. — Encore un objet énigmatique.

MM. J. Pages-Albary, Dr G. Charvillat, H. Gardez, A. Guébard.

— Sur certains objets en terre cuite pouvant être interprétés comme hochets préhistoriques.

Communications scientifiques.

M. E. Wilczek fait un exposé captivant de l'activité de la Ligue suisse pour la Nature en vue de la création de notre Parc national suisse et de son agrandissement. Sa causerie est accompagnée d'une série de merveilleux clichés à projection.

M. E. Argand fait une communication sur *le rythme du proplissement pennique et le retour cyclique des encapuchonnements*¹.

A la phase insubrienne, lors du sous-charriage (Unterschubung) de l'unité homonyme vers l'extérieur des Alpes, les plis couchés penniques ont éprouvé les déformations suivantes :

1^o Renversement, amincissement, écrasement partiel des racines, formation de l'éventail radical (Sesia-Lanzo, etc.) par plissement en retour; rétrécissement du tréfonds de l'édifice pennique, réduit à 40 km. de largeur dans le Tessin, alors que les parties hautes du même objet s'étalent sur plus de 90 km. par le travers de Sion.

2^o Pendant l'acte de la déformation, le volume des plis couchés penniques reste pratiquement constant: le rétrécissement est donc compensé par une surrection qui affecte plus particulièrement les régions

¹ Voir les procès-verbaux des séances du 21 février et du 6 mars 1912, et consulter: Emile Argand. *Les nappes de recouvrement des Alpes Occidentales*. Essai de carte structurale au 1 : 500.000^e. Matér. Carte géol. Suisse, nouv. sér., liv. XXVII, carte spéciale n^o 64, pl. I.

Neuf coupes à travers les Alpes Occidentales. Ibidem, pl. II.

Coupes géologiques dans les Alpes Occidentales. Ibidem, pl. III.

Les grands plis couchés des Alpes Pennines. Ibid., pl. IV. Berne 1911.

Les nappes de recouvrement des Alpes Pennines et leurs prolongements structuraux. Matér. Carte géol. Suisse, nouv. sér., Liv. XXXI, Berne 1911. Ce dernier mémoire et mes travaux postérieurs servent de texte explicatif préliminaire aux quatre planches précitées.

postérieures de l'édifice, exposées en première ligne à l'effort insubrien. Le rétrécissement de la zone pennique et la surrection des carapaces sont deux phénomènes connexes, complémentaires et contemporains. Ils dérivent d'une même cause : l'effort tangentiel unilatéral. Ils se manifestent par un ensemble de déformations congénitales, dont mes coupes montrent le résultat final. Voici l'exposé abrégé de ces événements :

A. La cuillère de Bognanco, déjà préparée à la phase Mont-Rose par l'encapuchonnement de V dans IV, se rétrécit, se creuse et s'accentue par diminution du rayon de courbure au genou inférieur.

B. La voûte étroitement contournée, presque ogivale, qui relie les parties enracinées de III, IV, et V aux parties couchées des mêmes nappes, prend naissance. La surrection étant plus grande au côté interne qu'au côté externe du dispositif, les portions couchées deviennent en partie (III, Camughero IV, VI) ou en totalité plongeantes (V).

C. La région pennique interne surgit en une immense voûte surbaissée, visible sur toutes mes coupes transversales. C'est un grand exemple de surrection en voûte (*doming*) due à un effort tangentiel et non à des mouvements épirogéniques. L'exondation des carapaces est un phénomène orogénique. Cette voûte principale se poursuit, en long, du massif du Mont-Rose au massif Dora-Maira, en passant par le massif du Grand-Paradis et les régions mésozoïques intermédiaires. Les nappes aujourd'hui ruinées (VI et au-dessus) ont participé au phénomène en même temps que les nappes conservées, et leurs carapaces se sont conformées à la voûte. Au long des Alpes Lépontiennes, Pennines, Graies et Cottiennes, la ligne de culmination de la grande voûte était la dorsale suprême des nappes, le véritable *faîte structural des Alpes occidentales*, formant ligne de partage des eaux pour les carapaces en voie d'exondation. Son importance est donc capitale pour l'étude du drainage préglaciaire.

Le sous-charriage insubrien a déterminé la position interne du *faîte structural*, c'est-à-dire la dissymétrie tectonique des Alpes occidentales, d'où dérive la dissymétrie du drainage et du relief.

Les phases bernardienne, Dent-Blanche, Mont-Rose et insubrienne sont les événements les plus marquants du plissement pennique à son paroxysme tertiaire.

Au bord sud du bassin piémontais, les plis couchés penniques et notamment la nappe IV sont recouverts en discordance par des dépôts oligocènes, dont le terme inférieur est du Sannoisien d'après Rovereto

ou du Rupélien (Stampien) suivant Haug. La phase bernardienne est donc antérieure à cet Oligocène. Les deux phases suivantes le sont aussi, sans quoi ces terrains néonummulitiques n'auraient pas gardé leur allure tranquille. Il en est probablement de même pour le sous-charriage insubrien à son maximum d'intensité, mais bien des indices tendent à montrer que ce phénomène s'est continué à l'état de vie ralentie pendant le Néogène et peut-être plus tard.

Au cours des diverses phases, l'infrastructure hercynienne (en gris sur la carte) a résisté de son mieux à la lente et formidable poussée des masses penniques, accrue sur le tard de tout l'effort insubrien. Plus frangible que flexible, elle s'est disloquée suivant un style particulier. Sa partie interne, plus exposée à l'effort des nappes, a cassé suivant des surfaces obliques à l'horizon et ascendantes vers l'extérieur des Alpes. Beaucoup de ces surfaces sont devenues des plans de poussée (*thrust-planes*), séparant des coins en mouvement relatif. Ces coins ont inégalement joué vers le haut et l'avant. D'ordinaire ils sont terminés par un biseau tranchant et non par une charnière : ce ne sont pas des anticlinaux. Avant la rupture, la région destinée à devenir un coin se renfle vers le haut ; c'est un effet préliminaire de la tension interne incomplètement satisfaite, et le *thrust-plane* reste à l'état de *charriage latent*, en attendant qu'un nouveau cisaillement le déclanche. A en juger par le renflement hémicylindrique du massif des Aiguilles Rouges, un de ces charriages latents doit exister à son bord externe¹. Mes coupes en indiquent d'autres encore. Après la rupture, beaucoup de coins continuent de montrer, à leur face supérieure, le renflement préliminaire. Les coins avancent dans leur couverture sédimentaire et s'en entourent, en y déterminant des plis couchés : telle est l'origine de beaucoup de nappes helvétiques. C'est le proplissement pennique qui a déterminé la majeure partie du proplissement helvétique et qui, en se continuant, a aminci les racines de ces dernières nappes, par exemple en Valais.

Le pli couché du Pizzo Lucomagno s'est enfoncé, avec son enveloppe mésozoïque, sous le massif du Gothard, qui doit sa structure éventail à ce sous-charriage. En se moulant contre cet obstacle moins

¹ Le rayon de courbure des renflements est parfois plus petit dans la partie externe des coins que dans la partie interne, ce qui s'accorde avec la poussée unilatérale invoquée ici pour l'explication du phénomène.

déformable, le pli du Lucomagno s'est retroussé vers le haut (profil 16, en blanc à gauche en bas). Comme le phénomène avait son siège dans la partie la plus rétrécie de la zone pennique, il est naturel d'y voir le contre-coup du sous-charriage insubrien, dont la poussée s'est transmise vers le nord à travers le tréfonds des nappes simplio-tessinoises. Les plis couchés inférieurs se sont encapuchonnés dans l'infrastructure et ont achevé de lui imprimer une forme subcylindrique en grand. Certaines parties frontales de III et de IV, comprimées contre ce solide arrondi, s'y sont déformées (cuillère du Bortelhorn) et moulées (gneiss incurvé de Ganter-Gebidem, et Visperterminen).

Les phases Dent-Blanche, Mont-Rose et insubrienne sont manifestées par des *sous-charriages de plus en plus profonds* (voir les coupes). Le maximum de l'effort tangentiel s'est donc abaissé avec le temps. Ces trois sous-charriages rendent compte de la naissance des trois grands éventails avec leurs trois étages de plis en retour, uniquement au moyen de forces dirigées vers l'extérieur des Alpes. Le prétendu dualisme des poussées directes et des poussées rétrogrades s'évanouit : ceci dérive de celà. *Le rétroplissement par sous-charriage (Rückfaltung durch Unterschiebung) est une fonction normale des grandes chaînes en mouvement.* Cette notion groupe en une vue synthétique une foule de phénomènes dont le lien n'avait pas été vu, et permet de lever les contradictions apparentes qui avaient arrêté nos prédécesseurs. Le rétroplissement ne s'oppose plus à l'idée du proplissement unilatéral ; en s'y ramenant, il la fortifie et l'enrichit d'une moisson nouvelle. Les encapuchonnements révèlent la chronologie des nappes, le rythme de leurs mouvements et les cycles répétés de leurs déformations, qui se sont renouvelées avec des caractères semblables dans des unités différentes, et dont le maximum d'intensité s'est déplacé par degrés vers les profondeurs les plus grandes que la diagnose tectonique ait atteintes. Tout ce domaine devient accessible, grâce à la connaissance des formes véritables des grands plis couchés. En tectonique, l'embryologie sort de l'anatomie.

M. F. Jaccard présente de la part de M. **Nicati** la communication suivante :

M. le prof. F.-A. Forel, dans une note historique sur la lotte du Léman, émettait l'hypothèse de l'arrivée de ce poisson dans notre lac par le canal d'Entreroche et la Venoge. Or voici ce que rapporte Jacob

Constant de Rebecque dans son *Essai de la pharmacopée des Suisses*, (Lausanne, 1709). « La lotte n'a paru en notre lac Léman qu'environ 1680 où il est venu par le canal et a fort dépeuplé le lac d'autres poissons ». Les déductions de M. Forel sont donc confirmées par un contemporain de l'ouverture du canal.

ASSEMBLÉE ORDINAIRE DU MERCREDI 3 AVRIL 1912,
à 4 heures, Auditoire (sud) XVI, Palais de Rumine.

Présidence de M. E. WILCZEK, président.

Le procès-verbal de la dernière séance est adopté.

MM. Marius *Grandjean* et Alfred *Curchod* sont reçus comme membres effectifs.

La société reçoit avec remerciements pour leurs auteurs les dons suivants :

Zimmermann : *Die Adventiv-und Ruderalflora von Mannheim*, etc. 15 exemplaires de Leresche et Levier : *Deux excursions botaniques dans le nord de l'Espagne et le Portugal en 1878 et 1879*. Ces exemplaires, d'un ouvrage classique, sont donnés à la Société par M. Charles Gilliard, professeur, petit-neveu du premier des auteurs, et sont mis à la disposition des membres que cela intéresse.

Communications scientifiques.

M. **Moreillon**. — *Contribution à l'étude du foudroiement des arbres* (voir aux mémoires.)

M. **Emile Argand**. — *Sur le drainage des Alpes Occidentales et les influences tectoniques*¹. — Les énormes épaisseurs de nappes détruites qu'il faut restituer à la zone pennique entretiennent l'idée que le volume de matière exporté par l'érosion préglaciaire est incomparablement plus grand que celui dont le départ résulte de l'érosion fluviale et glaciaire du Quaternaire. La surface d'enveloppe des sommets actuels divise le volume manquant en deux régions : une région supérieure, très considérable, et une région inférieure, beaucoup moindre, qui est le

¹ Consulter : Emile Argand, Matér. Carte géol. Suisse, nouv. sér. livr. XXVII, carte spéciale n° 64, planche I, avec coupes, pl. II, III et IV, 1911.

volume des vallées. Il convient d'attribuer à l'érosion préglaciaire l'exportation de presque tout le volume supérieur ; à l'érosion quaternaire, celle d'une partie du volume inférieur. La disparité est évidente.

La naissance et l'évolution du drainage préglaciaire sur les carapaces penniques, ou sur celles qui les surmontaient, était un phénomène de la plus haute complexité, et pour le déchiffrer avec fruit, la connaissance de l'ancienne surface structurale des carapaces en voie d'exondation est indispensable. Mes coupes permettent de se faire une image approchée de cette surface.

L'émergence était lente et graduelle, et l'évolution du drainage embryonnaire se faisait suivant le type des « plaines côtières », nécessairement adapté à l'allure particulière des isohypses de la surface structurale. L'émergence des *rides* et des *bombements* précédait naturellement celle des *sillons* et des *ensellements*, et au total l'exondation réglait ses progrès sur la forme¹ des isohypses structurales. Aussi longtemps que les parties saillantes, convexes en long et en travers, étaient seules en train d'émerger, il s'agissait d'îles plus ou moins allongées, dont les formes extrêmes, unies par des transitions, étaient des dômes ou des guirlandes, suivant que le grand axe du réseau sub-elliptique des isohypses était plus court ou plus long. Les grands axes s'orientaient comme les Alpes naissantes.

Dômes et guirlandes s'accroissaient lentement à leur pourtour, en s'élargissant, ce qui conduisait à l'émergence des sillons synclinaux, et en s'allongeant, ce qui avait pour effet d'exonder les ensemlements sub-transversaux des carapaces.

En continuant de s'allonger, dômes et guirlandes finissaient par se rencontrer au « col » des isohypses de l'ensellement intermédiaire ; le nombre des îles diminuait, leur longueur augmentait, et leurs contours s'agrégeaient en rivages festonnés, avec chapelets de nœuds et de ventres consécutifs, les premiers répondant aux ensemlements, les seconds aux bombements axiaux. Dans le cas de deux bombements réunis par un ensellement, les isohypses structurales s'ordonnaient en lemniscates ; dans le cas d'une segmentation répétée, en chaînes de lemniscates confluentes. Les grands axes des lemniscates s'orientaient comme les Alpes ; leurs parties ventrues répondaient aux bombements et leur petit axe rétréci aux ensemlements transverses. Les surfaces asséchées par l'émer-

¹ Par suite de la déformation continuée, la forme des isohypses structurales variait un peu au cours de l'émergence.

sion des ensembles étaient concaves en long et convexes en travers ; elles présentaient, à la rencontre des deux maîtres profils, un « col des isohypses » qui était le centre des lemniscates.

Plus tard encore apparurent des *ombilics* structuraux, concaves en tous sens, et qui donnèrent lieu à des dépressions fermées, aussi longtemps que le drainage extérieur n'en eut pas réalisé la conquête. Le plus important d'entre eux se trouvait au-dessus de la vallée d'Aoste moyenne (coupes 10, 11 et 12) ; il était subtransversal et prolongeait, vers le N. N. W., l'ensemble compris entre les bombements axiaux du Mont Rose et du Grand Paradis. Il y avait aussi des ombilics à grand axe longitudinal.

A mesure que ces surfaces émergeaient, des traits conséquents s'y gravaient suivant les normales aux isohypses, et les premiers d'entre eux précédaient de peu les premiers traits subséquents, qui soulignaient à peu de chose près les isohypses structurales elles-mêmes. C'étaient les *traits embryonnaires* du drainage, et de leur interaction, le jeu des premières captures dérivait. Déformant le tout, l'effort tangentiel continu obligeait les formes structurales à se prononcer de plus en plus, en diminuant leur rayon de courbure. Par sa composante verticale, ascendante, la déformation accélérât la dégradation du relief, et maintenant les premiers centres d'exondation à l'état de rajeunissement prolongé, avec stases et saccades. A la périphérie fraîchement exondée, les cours conséquents s'allongeaient et le niveau de base s'éloignait. Des épisodes inverses s'intercalaient et retardaient l'érosion.

Quand tout fut émergé, le jeu des captures continua et amena peu à peu l'intégration du drainage en bassins moins nombreux et plus grands. Certains traits embryonnaires furent détruits, d'autres s'accrochèrent. On sent tout ce que la suite de l'évolution préglaciaire peut avoir comporté de cycles, d'interruptions, de recommencements et d'achèvements. Nous ne savons pas encore si les Alpes Occidentales ont été pénéplainées au Néogène, ni combien de fois. Quoi qu'il en soit, la complexité du phénomène a été grande, et l'on conçoit que les chances de survie ont été très variables pour les divers traits embryonnaires. Le rajeunissement déterminé par le soulèvement post-plaisancien a favorisé la survie du drainage alors existant, c'est-à-dire de quelques traits hérités de la période embryonnaire et oblitérés par des traits moins anciens.

Nous pouvons donc, en connaissant la surface structurale, nourrir l'espoir de retrouver un peu de cet héritage, même en ignorant une

partie des vicissitudes et des renouvellements à travers lesquels il nous a été transmis.

Toutes les formes tectoniques profondes que l'érosion nous montre ne se traduisaient pas à la surface structurale ; celle-ci était l'enveloppe des grandes formes souterraines, qui s'y reproduisaient avec une certaine atténuation des contrastes entre intumescences et dépressions. Les petites formes tectoniques de la sub-surface s'y traduisaient parfois, celles de la profondeur, pas du tout.

Le bombement axial tessinois est géminé et montre au moins deux culminations, réunies par un ensellement peu déprimé (coupes 10 bis et 12). Sauf déflexions localisées, les isohypses structurales s'ordonnaient en ellipses emboîtées, ou en lemniscates peu étranglés. Cette grande forme s'étendait du sud-ouest des Grisons à la région valdôtaine. Le modelé des nappes simplio-tessinoises reflète encore aujourd'hui cette conformation de l'ancienne surface. Dans la retombée orientale du bombement, les isohypses structurales tournaient leur convexité à l'est ; dans la retombée occidentale, à l'ouest. Dans la direction des grandes vallées subtransversales actuelles, une ordonnance analogue prévalait. Les vallées de Verzasca et de la Maggia inférieure sont transversales et dérivent pour une bonne part d'anciens traits conséquents. A l'est de ce groupe médian, la tendance dominante des vallées est de décrire des courbes convexes vers l'orient ; à l'ouest (cours intra-pennique de la Toce) c'est le contraire. Cette sub-symétrie, qui est approchée et imparfaite, n'en est pas moins réelle ; elle découle, sans la reproduire exactement, de celle des isohypses structurales afférentes aux deux retombées axiales. Ces formes creuses incurvées sont l'héritage d'anciens traits subséquents, partiellement oblitérés et compliqués de détails plus récents, mais encore reconnaissables. Par elles, les isohypses de l'ancienne surface sont grossièrement projetées, vingt kilomètres plus bas, à la surface actuelle. Ces isohypses étaient donc moins incurvées que celles des structures profondes situées à leur aplomb, ce qui manifeste une conformité imparfaite des emboitements. Les formes incurvées de l'est (Mesocco, etc.) sont, encore aujourd'hui, en grande partie subséquentes ; la Toce ne l'est pas. Les défauts de conformité structurale dans le sens vertical et les surimpositions qui en sont résultées contribuent à expliquer ces différences et beaucoup d'autres.

La surface structurale de ce qui est maintenant le versant valaisan des Alpes Pennines descendait doucement vers le nord. Sa forme, due à

l'écoulement contrarié des nappes, dépendait étroitement de la position des obstacles hercyniens. Sur le Valais central, l'écoulement des nappes était facile, en raison de l'abaissement de la barrière entre les massifs de l'Aar et du Mont-Blanc. Les isohypses structurales étaient donc convexes vers le nord. Plus à l'est, sur le futur bassin des deux Vièges, l'écoulement des nappes était gêné; les isohypses structurales se moulaient plus ou moins contre le promontoire arrondi que présente le massif de l'Aar au droit de Viège, et prenaient une forme concave vers le nord. Les isohypses présentaient donc une double courbure; elles étaient convexes dans l'ouest et concaves dans l'est des Alpes Pennines extérieures. Par suite, les traits embryonnaires conséquents divergeaient vers le nord dans la région occidentale, et convergeaient au nord dans la région orientale. Ils survivent, avec des adaptations et des remaniements divers, dans l'ordonnance des grandes vallées tributaires de la rive gauche du Rhône. De la vallée d'Isérables à celle de Ginanz, en passant par Nendaz, Hérens, Réchy, Anniviers et Turtmann, les formes creuses majeures sont divergentes; les vallées de St-Nicolas et de Saas sont convergentes.

M. Quarles van Ufford traite des *connaissances médicales et botaniques des Astèques*. Il résume quelques chapitres du livre de M. A. Gerste intitulé «La médecine et la botanique des anciens Mexicains» et présente quelques observations personnelles. M. Quarles parle des *temazcalli*, bains de vapeur encore en usage de nos jours et de quelques plantes utilisées en médecine populaire. Il montre combien, compliqués en apparence, les noms indigènes des plantes sont simples en réalité, chaque terme contribuant à la description de l'espèce. Certains termes communs dans les noms d'un groupe de plantes indiquent fréquemment un degré de parenté entre ces plantes ou simplement une même propriété.

Dans les noms indiens des villages nous retrouvons souvent les noms de plantes caractéristiques pour la région; ceci prouve que les Astèques avaient le sens de la géographie botanique.

L'arrivée des Espagnols arrêta complètement chez les Astèques le développement de la science botanique déjà si avancée à plusieurs points de vue; on ne peut que le regretter.

Professeur E. Bugnion. — *Le bruissement des Termites*. — Certains Termites (soldats) ont coutume, lorsqu'ils sont inquiets, de frapper

avec les mandibules (ou avec le menton) une série de petits coups sur la surface qui les porte, produisant ainsi une sorte de bruissement. Ce bruissement, vrai signal d'alarme, est perçu par les ouvriers qui réagissent aussitôt et prennent des mesures de précaution.

Quelques indications sur le bruissement des Termites fourrageurs (Hodotermes) se trouvent déjà dans les anciens ouvrages de Kœnig (1779) et de Smeathman (1781).

Sjöstedt (1900) a entendu le bruissement du Terme coupe-feuilles (Termes Lille borgi) dans les forêts du Camerun.

Escherich (1909) rapporte que, taillant un jour une termitière de *T. bellicosus*, au cours de son voyage en Abyssinie, il perçut un son qui, à chaque coup de pioche, répondait de l'intérieur. Les meules faites de bois agglutinés, étaient assez dures et desséchées pour pouvoir vibrer et transmettre le son à travers les parois.

Les observations de M. Bugnion ont porté sur *T. obscuriceps* de Ceylan.

Des termites de cette espèce ayant été attirés dans une caisse remplie de morceaux de bois, M. B. perçut un bruissement distinct qui provenait de l'intérieur de la caisse, lorsqu'on frappait à sa paroi, ou déjà si se tenant à un mètre de distance on parlait à haute voix.

Il suffit d'ailleurs pour « faire parler » les Termites de retirer d'une termitière une meule chargée de ces insectes et d'en mettre les fragments sur un plateau, recouverts d'une feuille de papier fort. Quelques soldats se tenant appliqués contre le papier, il suffit de frapper un petit coup à la surface pour entendre aussitôt le bruissement.

Prenant alors une loupe et soulevant un peu le bord de la feuille, on peut voir ces insectes, qui, tenant les mandibules légèrement écartées, frappent le papier de petits coups convulsifs.

Les Termites ont dans leurs tibias des organes chordotonaux, décrits par Fritz Müller et Stokes, qui vraisemblablement leur permettent de percevoir les vibrations. Il faut remarquer toutefois que, pour être entendus, les coups doivent être frappés sur une surface capable de vibrer lames de bois minces, feuilles sèches de consistance coriace, papier (fort).

ASSEMBLÉE ORDINAIRE DU MERCREDI 17 AVRIL 1912,
à 8 $\frac{1}{4}$ heures, Auditoire de botanique, Palais de Rumine.

Présidence de M. E. WILCZEK, président.

Le procès-verbal de la dernière séance est adopté.

Le président fait part à la société d'une circulaire de la Société royale de Botanique de Belgique qui invite la Société vaudoise des sciences naturelles à son jubilé qui aura lieu dans le courant de l'été 1912. La société a reçu du prince de Monaco les volumes 35 et 36 des Résultats des expéditions du prince de Monaco.

Communications scientifiques.

Aujourd'hui a eu lieu une éclipse de soleil qui a pu être observée dans d'excellentes conditions à Lausanne et dans presque tout le canton. M. E. Wilczek fait part à la société des observations calorimétriques prises durant l'éclipse par M. Bühler, pharmacien à Clarens.

Voici les chiffres obtenus :

10 h. 20	1,104 calories.
11 h. 05	1,106 »
11 h. 45	1,210 »
12 h. —	1,104 »
12 h. 15	1,035 »
12 h. 45	0,394 »
12 h. 56	0,031 »
1 h. 10	0,028 »
2 h. 13	1,006 »
2 h. 43	1,045 »

Les nuages ont empêché M. Bühler de faire de plus nombreuses observations.

M. Linder a relevé, à Lausanne, les températures ci-après :
(soleil, exposition Sud, altitude 500 m.).

11 h. 48	12°
11 h. 59	12°5
12 h. 15	12°75
12 h. 35	11°5

1 h.	12°5
1 h. 08	9°75
1 h. 23	9°5
1 h. 30	10°25
2 h. 04	13°
2 h. 47	15°75

L'écart maximum s'élève à 2°25. La baisse de la température a été perçue nettement d'ailleurs par les observateurs; la plupart éprouvaient une impression de froid.

M. Jomini a fait des observations identiques. Il a constaté un écart maximum de 2°2 à l'altitude de 560 mètres.

Le baromètre a, de son côté, présenté les fluctuations suivantes :

10 h. —	716
11 h. 50	715.1
1 h. 05	714.4
1 h. 25	714.7
1 h. 30	714.5

Il s'est maintenu à ce dernier chiffre jusqu'à la fin de l'éclipse, puis il est remonté à 715.7.

M. Fr. Jaccard a constaté que durant l'éclipse, la fumée de l'usine de Paudex a pris successivement trois ou quatre directions différentes. Le phénomène aurait donc eu quelque influence sur les courants aériens locaux.

En compagnie de M. Louis Bonjour, horticulteur à Chamblandes, M. Wilczek s'est rendu au Champ-de-l'Air pour observer les effets de l'éclipse sur les végétaux. Il a constaté, par exemple, que si les folioles du trèfle n'avaient pas pris encore la position de l'obscurité, elles avaient exécuté un mouvement ascendant indiquant nettement qu'elles percevaient la diminution d'intensité lumineuse du soleil.

M. Decoppet. — *Action du sulfure de carbone sur les vers blancs et sur la végétation de quelques plantes forestières.* — Le sulfure de carbone agit favorablement, le fait est certain, les insuccès signalés à maintes reprises, nous paraissent résulter d'une application irrationnelle : des doses de 40 à 50 grammes par mètre carré, réparties dans six trous d'infection, au minimum, diminuent sensiblement les pertes résultant de l'attaque des vers blancs. Dans nos derniers essais, le déchet des planches traitées n'était plus que du 1 au 2 %, alors qu'il atteignait

encore le 20 % au commencement de nos expériences et le 80 % dans les surfaces laissées hors traitement.

Le sulfure de carbone est non seulement un insecticide puissant, mais il joue encore dans le sol un rôle certain, en favorisant la végétation. *Cette influence n'est pas momentanée, elle est durable et se fait sentir quelques années encore après le traitement.*

Quant à la cause du surcroît de production des sols sulfurés, elle est certainement complexe : Cette action est évidente non seulement dans les terrains fatigués, mais dans tous les terrains et pour toutes les plantes cultivées. L'influence du sulfure de carbone s'exerce sur les agents de stérilisation du sol qui sont légion : insectes dans leurs différents états, arguillules, infusoires, maladies cryptogamiques, sécrétion des plantes, etc.; d'autre part, il s'agit peut-être d'une action du soufre, analogue à celle qu'on attribue au zinc, au bore, au manganèse, employés à petite dose, à titre d'engrais catolytiques? En définitive, l'influence du sulfure de carbone peut être comparée à celle d'un engrais énergétique, augmentant la récolte.

Nous en arrivons aux conclusions suivantes :

1^o Le traitement au sulfure de carbone, appliqué aux pépinières forestières, doit rester avant tout un traitement cultural : il ne saurait par conséquent tuer tous les vers blancs qui se trouvent dans le sol ; mais l'insecte est partiellement détruit, ce qui permet aux plants de reconstituer des racines et l'effet du sulfure aidant, l'absorption des substances assimilables du sol se trouve activée, ce qui se traduit par une beaucoup plus grande force de résistance des plants.

2^o Le sulfure sera injecté le plus uniformément possible dans le sol à doses de 40 à 50 grammes par mètre carré réparties dans 6-8 trous d'injection. On ne traitera pas les terrains fraîchement défoncés; de même, on attendra quelques jours pour labourer des surfaces qui viennent d'être sulfurées. On évitera de traiter les sols trop humides ou trop secs. En outre, les vapeurs dégagées par le sulfure descendant dans la terre, il ne faut guère injecter à plus de 15 cm. de profondeur.

Quant à la seconde question, ayant trait à la *survie larvaire* (das Ueberliegen) du hanneton constatée en 1911 dans les pépinières de Farzin, elle fera l'objet d'une prochaine communication.

M. Emile Argand. — *Le faite structural et le faite topographi-*

*que des Alpes Occidentales*¹. — Dans une note antérieure², j'ai marqué l'existence, le site, la continuité, l'origine et la fonction morphogénétique du *faîte structural*. La surrection de ce faîte résulte de l'effort tangentiel insubrien, à la phase homonyme. Le faîte structural présentait de grandes inflexions axiales, conformes à celles que montrent mes coupes en long. Il est donc naturel de penser que son émerision a commencé dans la région du bombement axial tessinois et s'est poursuivie par ceux du Grand-Paradis et des Alpes Cottiennes, pour s'achever par l'exondation des deux ensellements intermédiaires. A mesure de son émerision, il formait ligne de partage des eaux pour le drainage primordial des carapaces : à l'origine, le faîte topographique coïncidait avec le faîte structural, ou du moins avec les parties les plus récemment exondées de ce dernier. On doit, en effet, regarder l'émerision du faîte structural comme lente et graduelle, d'où il suit que la migration du faîte topographique a commencé avant que cette émerision fût achevée. Le faîte structural des carapaces était situé à peu près à l'aplomb du faîte de la grande voûte surbaissée que manifeste la nappe V et que montrent mes coupes transversales, ou s'en écartait peu vers l'extérieur des Alpes.

Le faîte topographique actuel, ou ligne de partage entre les deux versants principaux des Alpes occidentales (Rhône-Rhin et Pô), est situé partout à l'extérieur du faîte structural ; en d'autres termes, ce dernier est entièrement compris dans le bassin du Pô, comme on peut s'en assurer en rapprochant ma carte tectonique des coupes qui l'accompagnent.

Au long des Alpes Lépointiennes, Pennines, Graies et Cottiennes, *le faîte topographique a donc, en général, émigré vers l'extérieur de la chaîne*. C'est le résultat global et différentiel de l'érosion survenue depuis l'assèchement des carapaces ; il est attribuable, pour la majeure part, à la période *ancienne* de l'érosion préglaciaire, embrassant le premier cycle ou groupe de cycles, et comprenant, tout au début, la *phase primordiale*, dominée par l'influence de la surface originelle et

¹ Consulter : Emile Argand, *Les nappes de recouvrement des Alpes Occidentales*. Essai de carte structurale au 1 : 500 000^e Matér. Carte géol. Suisse, nouv. sér., Liv. XXVII, carte spéciale n° 64, planche I. Avec 33 coupes et 3 stéréogrammes, planches II, III et IV. Berne 1911.

² Ces procès-verbaux, séance du 20 mars 1912. La présente communication continue celle du 3 avril 1912, sur le drainage préglaciaire.

caractérisée par un riche développement de formes conséquentes presque toutes si éphémères, que seul le plus petit nombre a survécu aux causes puissantes de destruction et d'élimination qui ont prévalu dans la suite des temps préglaciaires.

Dans la lutte entre les deux drainages primordiaux et opposés que séparait le faite structural, c'est le drainage interne qui l'a emporté, en s'annexant, aux dépens du versant structural externe et du drainage correspondant, le territoire approximativement compris entre les deux faites, ou un peu plus. A certaines époques et en certaines régions, des épisodes inverses ont pu tenir en échec cette migration de la ligne de partage vers l'extérieur des Alpes, mais dans l'ensemble, la suprématie du drainage interne s'est affirmée sans souffrir trop d'amoindrissement, et a pour expression tangible la distance qui sépare les deux faites, mesurée normalement à la direction des Alpes.

Parmi les facteurs de cette prépondérance, on doit mentionner la conformation du versant structural interne, plus étroit, plus incliné que le versant structural externe, et présentant un niveau de base bien plus rapproché. La distribution des précipitations aux temps néogènes a dû jouer un rôle appréciable dans la lutte entre les deux versants, mais elle est si parfaitement inconnue, qu'on ne peut rien dire de plus. Le versant structural externe était plus large que son opposé, et sa pente moyenne était plus faible ; sa surface, compliquée de rides anticlinales, de sillons synclinaux, d'inflexions axiales et d'ombilics, était bien plus diversifiée que celle du versant structural interne, de sorte que l'évolution morphologique y a été, au début surtout, beaucoup plus complexe.

Les sinuosités alternativement saillantes et rentrantes que décrit le faite topographique au long des Alpes Occidentales montrent que sa migration vers l'extérieur a été fort inégale. Le drainage dont le bassin de la Doire Baltée est l'héritier s'est annexé de bonne heure un énorme morceau du versant structural externe. La vigueur de ce réseau a été telle que la ligne de partage actuelle décrit un saillant considérable : du Mont-Rose et de la Levanna au massif du Mont-Blanc, à travers toutes les zones intermédiaires. Cette emprise a été grandement facilitée par les dépressions structurales qui existent entre les massifs du Grand-Paradis et du Mont-Rose, tant dans le domaine du drainage interne captant que dans celui du drainage externe capté. Mes coupes nos 10, 11, 12 et 31 montrent la forme générale et le site de ces dépressions. La

ligne qui joint les points bas est subtransversale et passe plus près du massif du Grand-Paradis que de celui du Mont-Rose.

Sur le versant structural interne, le cours intra-alpin de la Chiusella est peu distant de l'ensellement, de sorte que je suis enclin à regarder ce tronç, aujourd'hui bien amoindri, comme un descendant du premier cours d'eau qui a conquis jadis la dépression ombilicale située en dehors du faite structural, et l'a drainée vers le côté interne des Alpes. L'abaissement du faite structural au col des isohypses de l'ensellement, en un point peu éloigné de l'extrémité NE. du massif du Grand-Paradis, a favorisé ce phénomène.

L'ombilic subtransversal qui prolonge l'ensellement au delà du faite a son grand axe dirigé à peu près NNW., de manière à passer par le groupe de la Tersiva et celui du Mont-Emilius, pour franchir la Doire un peu à l'orient d'Aoste et se continuer vers les abords du village de Valpelline. La gouttière de cet ombilic longe le lambeau de recouvrement du Mont-Emilius, ainsi que la partie SW. de ceux du Mont-Mary et de la Dent-Blanche. Aux environs de Valpelline, cet ombilic transversal conflue avec un grand ombilic longitudinal, étendu du fond de la Valpelline jusqu'aux approches de la Grande-Sassière ; les isohypses structurales de l'ombilic total dessinaient donc des courbes emboîtées, fermées et trilobées, avec un maximum de profondeur près de Valpelline ou un peu en aval de ce point. La branche NE. de l'ombilic n'était autre que l'enveloppe superficielle du « synclinal de Valpelline » ; sa pente menait au SW. et la Valpelline primordiale était un tronç conséquent, caractère qui continue de prévaloir dans la Valpelline d'aujourd'hui (coupes nos 26 à 29).

La résistance des roches vertes de l'ensellement de Lanzo a retardé la migration du faite et permis à l'Arc de conserver les schistes lustrés de la Haute-Maurienne. La longue masse de roches vertes dites du Viso a rendu un service analogue au Guil, qui a pu conserver les schistes lustrés peu résistants du Queyras, grâce au retard infligé à l'érosion régressive du Pellice et du Pô. Pendant ce temps, les branches supérieures de la Doire Ripaire et du Chisone, au nord, et celles de la Maira, au sud, parvenaient à contourner l'obstacle ; la Varaita le franchissait par érosion régressive. Ainsi s'expliquent les sinuosités rentrantes très marquées que déterminent, dans le trajet de la ligne de partage, les branches supérieures de l'Arc et du Guil. La résistance opposée à la migration du faite par le massif d'Ambin est clairement exprimée

par la sinuosité, également rentrante, que décrit la faite topographique sur son emplacement, et par la présence des branches subséquentes qui cherchent (Cenischia) ou parviennent (Doire Ripaire au bord SE. du massif) à le contourner.

On voit, par plusieurs de ces exemples, que la conformation de la surface structurale a guidé l'érosion préglaciaire à son début, après quoi les structures internes successivement mises au jour ont joué pendant longtemps, à une ou plusieurs reprises, un rôle analogue, en favorisant les ajustements subséquents déjà existants et en en faisant naître de nouveaux.

La continuation et les reprises du soulèvement y aidaient beaucoup. Les adaptations structurales du drainage, et notamment du drainage primordial, n'ont disparu qu'en partie, et pour le reste, ont laissé des traces assez nombreuses, alternativement oblitérées et ravivées au cours des cycles répétés et inégalement prolongés à travers lesquels elles nous sont parvenues.

La dissymétrie des deux versants morphologiques actuels des Alpes Occidentales découle de la dissymétrie des deux versants structuraux des carapaces, qui résulte elle-même du sous-charriage insubrien.

M. Maurice Lugeon communique quelques résultats tirés d'un mémoire en cours d'impression sur les Eaux thermales de Loèche (Valais), mémoire qui formera le volume XXXVIII (nouvelle série) des Matériaux pour la Carte géologique suisse.

En se basant sur la composition chimique des eaux et sur la radioactivité des boues selon les calculs du professeur Gockel, de Fribourg en Suisse, M. Lugeon croit pouvoir démontrer que le bassin d'absorption des eaux est dans le massif du Torrenthorn. L'eau se dirigerait en profondeur, tout d'abord du côté de la vallée du Rhône pour remonter vers le nord sous le massif du Wildstrubel et revenant vers le sud-est sortir thermale à Loèche. C'est le batholite granitique de Gastern, qui se prolonge en profondeur vers le sud-ouest, qui fournirait aux eaux leur radium, car les roches sédimentaires traversées sont à peu près inactives et le gypse triasique, qui minéralise l'eau pour la plus grande partie de ses sels, est inactif.

Le nombre des sources exploitées possède une remarquable constance de température depuis environ 150 ans, sauf deux sources, ce qui semblerait établir une lente migration des sources amont vers les sources aval. Pour les autres résultats, M. Lugeon renvoie à son mémoire.

ASSEMBLÉE ORDINAIRE DU MERCREDI 1^{er} MAI 1912,

à 4 heures, Auditoire de botanique, Palais de Rumine.

Présidence de M. E. WILCZEK, président.

Le procès-verbal de la dernière séance est adopté.

M. *Hofmänner*, licencié en sciences, est présenté comme candidat par MM. Henri Blanc et P. Murisier.

La société a reçu les dons suivants, avec remerciements pour leurs auteurs :

R. *Chodat*. Nouvelles recherches sur les ferments oxydants, Nos 4 et 5.

R. *Chodat* et A. *Monnier*. Recherches sur l'augmentation en poids des plantes.

A. *Sprecher*. Recherches sur la variabilité des sexes chez *Cannabis sativa* et *Rumex acetosa*.

L.-C. *Bollea*. Ferdinand Gabotto (Biographie).

Communications scientifiques.

Prof. E. *Bugnion*. *Observations sur les Termites de Ceylan. Différenciation des castes.* — Une idée assez généralement admise est que les Termites sont au sortir de l'œuf encore identiques. La différenciation des castes (soldats, ouvriers, individus sexués) se ferait au cours de la période larvaire, plus spécialement au moment des mues, par l'effet d'un régime approprié.

Grassi dit avoir observé plusieurs mues successives (quatre pour les asexués, cinq pour les sexués) chez les deux espèces européennes, *Leucotermes lucifugus* et *Calotermes flavicollis*. Le même auteur a émis l'hypothèse qu'il y aurait une relation entre les Trichonymphides (infusoires ciliés) contenus dans l'intestin postérieur et l'atrophie des glandes sexuelles. Les individus qui renferment des Trichonymphides subiraient une castration parasitaire : ce serait l'origine des ouvriers et des soldats. Les autres (futurs sexués) recevraient une nourriture particulière (salive) par l'effet de laquelle les Trichonymphides seraient chassés de l'intestin ; les glandes sexuelles pourraient en conséquence se développer librement.

Tout ingénieuse qu'elle paraisse, la théorie de Grassi n'est, d'après les observations personnelles de M. B., pas d'accord avec les faits.

Ayant placé sous le microscope des larves fraîchement écloses de l'*Eutermes singaporensis* var. *lacustris* (Voy. Revue Zoologique Suisse, 1912), il a pu se convaincre qu'une partie de ces insectes ont déjà au sortir de l'œuf une corne frontale bien distincte. Un tel appendice s'observant plus tard exclusivement chez les soldats (*nasuti* de Hagen), on a ainsi la preuve que la différenciation de la caste « soldats » est déjà effectuée chez l'embryon.

La distinction des futurs soldats est plus difficile à établir chez les *Termes*. On peut cependant, grâce à la structure des mandibules, reconnaître les jeunes larves au sortir de l'œuf. Ainsi chez les espèces singhalaises (*I. Redemanni*, *Obscuriceps*, *Horni*, etc.), l'ouvrier a des mandibules courtes, portant sur leur bord interne plusieurs dents asymétriques (semblables à celles de l'image), tandis que le soldat a, chez les espèces précitées, des mandibules allongées, courbées en forme de sabre, la droite sans trace de dents, la gauche avec une dent unique en arrière du milieu.

La différenciation de la caste « soldats » étant, comme il ressort des faits rapportés ci-dessus, indépendante du régime alimentaire, il faut nécessairement lui attribuer une autre origine.

L'idée de M. B est que la différenciation des castes remonte à une cause profonde (mode spécial de fécondation, action de chromosomes spéciaux ?) analogue à celle qui détermine le sexe et agissant déjà sur la nature de l'embryon.

M. E. Argand fait une communication sur la *segmentation tectonique des Alpes occidentales*. (Voir aux mémoires.)

L'on entend ensuite M. Rosselet qui présente au nom de M. Mailard et en son nom propre leurs observations sur l'éclipse de soleil du 17 avril 1912.

M. C. Dutoit présente une note fort intéressante de M. S. Aubert sur la congélation du lac de Joux pendant l'hiver 1911-1912. (Voir aux mémoires.)

ASSEMBLÉE ORDINAIRE DU MERCREDI 15 MAI 1912

à 8 1/4 h., Salle Tissot, Palais de Rumine.

Présidence de M. E. WILCZEK, président.

Le procès-verbal de la dernière séance est adopté.

M. *Hofmänner* est reçu membre effectif.

Sur la proposition de M. Faes, l'assemblée accepte par acclamation d'avoir la séance du 5 juin, à Corseaux, chez M. Cornu, aux fins de visiter les serres de M. Cornu, qui sont, paraît-il, de toute beauté en cette époque de l'année.

La Société a reçu, avec remerciement pour l'auteur, le don suivant :
M. *Ravaz*. Recherches sur le rognage de la vigne.

Communications scientifiques.

M. *Wilczek* lit une communication de Mme Bieler-Butticaz relative à l'éclipse de soleil du 17 avril dernier.

M. et Mme **Bieler-Butticaz** ont pu remarquer à Brigue (Valais), pendant une demi-heure environ, autour du maximum de l'éclipse, de grands nuages, colorés en rose, jaune, ou bleu-vert. Le phénomène ne se présentait pas comme un arc-en-ciel, mais un nuage était entièrement bleu-vert, plus foncé que le ciel sur lequel il se détachait ; un autre était rose vif, un autre jaune. Les nuages étaient assez peu épais pour qu'on puisse voir des parties de ciel bleu à travers ; ils étaient comme de grands voiles à trous. Les nuages changeaient de couleur en se déplaçant. Il est à remarquer que ce n'était pas seulement les bords des nuages qui étaient colorés, mais le nuage lui-même. Ces nuages paraissaient, pour les observateurs, être autour du soleil ; il n'y en avait pas alors qui leur cachât le soleil. Même des nuages placés apparemment pour les observateurs à un tiers de la distance du soleil aux montagnes environnantes, présentaient cette coloration.

M. E. Wilczek lit ensuite une communication de M. **Bührer** sur *les saints de glace*.

Nous vivons décidément dans une époque d'anomalies météorologiques extraordinaire. Cette année encore, après un hiver beaucoup trop chaud, nous avons eu un printemps trop froid, et depuis quelques jours, au mo-

ment mal famé des Saints de glace, nous subissons des températures estivales.

Le refroidissement périodique de mai auquel les dits saints ont donné une triste réputation, ne tombe pas sur les jours du calendrier qui leur sont dédiés, soit du 10 au 12 mai. En moyenne des vingt-cinq dernières années, ce refroidissement se manifeste chez nous dans la première semaine du mois, très souvent d'une façon peu sensible. Mais il y a de grands écarts. Tandis que la diminution de la température est quelquefois à peine sensible, ou n'atteint que 2 degrés environ, comme en 1888, 1889 et 1890, elle est très marquée dans d'autres années, par exemple :

1892 : du 1-7, température moyenne : 7°3.
 8-14 » » 12°6.
 Différence : 5°3.

1893 : du 1-6, température moyenne : 14°2.
 7-10 » » 9°9.
 Différence : 4°3.

1895 : du 13-15, température moyenne : 15°9.
 16-18 » » 6°7.
 Différence : 9°2.

1896 : du 18-20, température moyenne : 13°6.
 21-23, » » 8°2.
 Différence : 5°4.

1900 : du 10-14, température moyenne : 13°3.
 les 15 et 16 » » 8°5.
 Différence : 4°8.

1907 : les 1 et 2, température moyenne : 5°2.
 » 3 et 4, » » 13°5.
 Différence : 8°3.

1910 : du 8-12, température moyenne : 6°6.
 13-17, » » 15°1.
 Différence : 8°5.

Les minima, pendant ces périodes de refroidissement, descendent à 1 ou 2 degrés. Le 3 mai 1909 nous avons relevé 0°7 seulement. Le 23 mai 1908, de néfaste mémoire, il est tombé de la neige jusqu'au bord du lac.

Chacun sait que ces reculs de température en mai sont dus à des dépressions passant sur le centre du continent ou au versant sud des Alpes

et constituant des foyers d'appel de vents du nord. Cette année-ci, à la place d'un cyclone, nous avons vu s'établir sur ces mêmes contrées un anticyclone, auquel nous devons une forte élévation de température. En effet, tandis que la température moyenne des cinq premiers jours du mois est de 10°6, nous voyons les maxima s'élever à 22°8 le 10, à 23°0 le 11, à 28°7 le 12, à 28°6 le 13 et à 23°5 le 14.

Ces températures n'ont pas encore été constatées, dans la première moitié de mai, depuis l'existence du réseau météorologique suisse.

M. E. Argand fait ensuite un exposé des plus captivants sur *la morphogénie périglaciaire des Alpes occidentales*.

M. Wilczek, président, se fait l'interprète de l'assemblée pour demander à M. Argand l'insertion de son manuscrit dans le prochain *Bulletin*. Il sera fait droit à cette requête.

ASSEMBLÉE ORDINAIRE DU MERCREDI 5 JUIN 1912,

à 4 h., chez M. Cornu, à Corseaux, près Vevey.

Présidence de MM. E. WILCZEK, président, et FÉLIX CORNU.

La séance a lieu chez M. Cornu, dans sa villa Riant-Port (Corseaux, près Vevey); la bien nommée, car il est difficile de trouver sur tout le littoral de notre beau lac Léman refuge plus merveilleux, site plus enchanteur. Quant à l'accueil fait aux membres de la société, la modestie proverbiale de notre hôte nous interdit de trouver un terme pour le qualifier.

Il semblerait qu'à Riant-Port, sur un signe de notre cher collègue, les plantes de toutes les latitudes, de toutes les altitudes, de tous les climats se soient donné rendez-vous, non seulement pour y végéter, mais pour y prospérer. L'on passe des cactus aux nénuphars, des orchidées aux fougères tropicales, des iris aux rhododendrons en fleurs, des roses aux Centaureas, sans songer à pouvoir détailler les merveilleux arbres qui ombragent ce paradis terrestre.

Et l'on suit à regret le président, M. Wilczek, qui va nous annoncer que le procès-verbal de la dernière séance est adopté. Des applaudissements répétés soulignent les paroles de notre président lorsqu'il remercie chaleureusement M. Cornu, pour son accueil si cordial.

M. Paschoud est présenté comme candidat par MM. Félix Roux et Maillard.

Le comité a décidé que l'assemblée générale du mois de juin aurait

lieu à Vallorbe. Il y aura visite du tunnel de Frasne-Vallorbe, autorisée par la direction de l'entreprise. Le lendemain, 23, une course mycologique est organisée dans le Jura, à travers le Mont-d'Or.

Le président fait circuler la plaquette frappée en l'honneur du zoologiste E. van Beneden, membre honoraire de la société. Cette plaquette a été adressée à tous les souscripteurs du monument élevé à la mémoire de ce savant illustre. Il est décidé qu'elle sera déposée au médaillier cantonal.

Communications scientifiques.

La partie scientifique a lieu sous la présidence de M. F. Cornu. Il remercie la société d'avoir suivi son invitation quoique en regrettant que ses serres ne fussent plus aussi en fleurs qu'elles ne l'étaient il y a un mois.

M. le **D^r H. Faes** présente un résumé des études qu'il a entreprises sur le *développement du mildiou (Peronospora viticola)*. Il arrive à la conclusion que les zoospores contaminent les feuilles de la vigne par la face inférieure et non par la face supérieure comme on l'admettait jusqu'ici. Les expériences et observations faites ont été publiées in extenso dans la *Revue de viticulture* de Paris (numéros des 2, 9 et 16 novembre 1911), ainsi que dans la *Terre vaudoise* (année 1911).

M. le **D^r F. Porchet** relève la multiplicité des facteurs à considérer dans de semblables recherches. Il cite comme exemple l'état de réceptivité du cep qui doit varier avec la turgescence des tissus. On a montré en effet que les cépages les plus résistants au mildiou sont ceux dont le liquide cellulaire présente la concentration moléculaire la plus élevée.

Des expériences faites avec diverses variétés de pommes de terre conduisent à la même conclusion.

On pourrait donc espérer obtenir l'immunisation contre le mildiou des cépages peu résistants, si on réussissait à augmenter leur concentration cellulaire. Dans les périodes de sécheresse ce facteur joue fort probablement, car on observe alors non seulement un enrayement de la dissémination du cryptogame, mais un arrêt de la propagation du mycelium dans les tissus (exemple : fin juin 1914).

Malheureusement, la phytochimie ne nous donne pas le moyen de modifier pratiquement et à volonté la concentration cellulaire. Pour l'ins-

tant, seule la méthode physiologiste le permet; par hybridation en effet on peut obtenir des plants à haute concentration, résistant au mildiou (producteurs directs) mais qui à côté de cette précieuse qualité, présentent des défauts empêchant encore l'introduction de ces cépages dans nos vignobles.

M. J. Perriraz parle ensuite de l'influence de l'éclipse du 17 avril, sur les animaux, au Jardin des Plantes, à Paris.

Comme il est relativement difficile d'observer les reptiles, nous ne pouvons donner de renseignements précis.

Les oiseaux par contre manifestaient différemment suivant les espèces : la grue de Mandchourie criait, le caracara, rapace de l'Amérique du Nord, se montrait inquiet, par contre les coqs se sont mis à chanter, tandis que les poules se groupaient sur leur perchoir; les rapaces étonnés, tournaient la tête en tous sens et cherchait à fixer le soleil avec force battements de paupières. Les oiseaux aquatiques faisaient un bruit assourdissant jusqu'au plein de l'éclipse où pendant quelques instants succéda un silence quasi-complet; les marabouts dormaient profondément.

Chez les mammifères, les signes furent très divers, les singes étonnés se serraient les uns contre les autres en proie à la plus grande terreur; les hyènes se cachaient, les lions s'installaient pour dormir, la tête entre leurs pattes, les algazelles fuyaient, refusant le pain, les chèvres naines ne semblaient nullement impressionnées.

Les zèbres se couchent, tandis que l'hémione va et vient ne semblant nullement influencée. La chèvre Jhaval refuse toute nourriture comme les biches et les cerfs. La pauvre otarie étonnée, gesticule en proie à la plus grande anxiété. L'ours blanc se cache, les zèbres refusent la nourriture, les hippopotames dorment étendus sur les dalles.

D'une manière générale, tous ces animaux sont plus au moins influencés par l'éclipse et cherchent dans la direction du soleil. Ces observations ont été faites après examen des mêmes animaux, à la même heure, pendant plusieurs jours.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE DU SAMEDI 22 JUILLET 1912,

à Vallorbe, à 9 heures du matin.

Présidence de M. E. WILCZEK, président.

A 9 heures, l'assemblée générale est ouverte dans la salle du Casino, gracieusement mise à notre disposition par la Municipalité de Vallorbe.

Le président souhaite la bienvenue à tous.

Le procès-verbal de la dernière séance est adopté.

M. *Paschoud* est reçu membre effectif.

M. Dr *Schrumpf* est présenté par MM. Dr Guisan et Fr. Jaccard; M. *Combe*, vétérinaire et directeur des écoles à Vallorbe, par MM. Wilczek et Addor.

Sur la proposition du Comité MM. A. Tschirsch, professeur de pharmacognosie à Berne, Emile Boudier, pharmacien honoraire et mycologue, à Montmorency, et Edouard Hackel, professeur au gymnase à Attersee, sont nommés membres honoraires.

MM. P. Dutoit et Fr. Jaccard sont désignés pour représenter la Société à la session de la Société helvétique des Sciences naturelles, à Altorf.

Le président présente le rapport de la Commission du fonds Agassiz. La Commission constatant qu'il n'y a pas eu de travail présenté sur les sujets : Marène, Féra et Gravenche du Léman, et Spéléologie et Hydrologie du Jura vaudois, prendra très prochainement une décision concernant les sujets proposés au concours, ainsi que l'emploi des intérêts disponibles.

M. Porchet fait don à la bibliothèque de : *La statistique des vins suisses en 1910*.

La table annuelle de constante numérique de chimie et de physique a paru et sera déposée à la bibliothèque.

Communications scientifiques.

M. **Rougeot**, ingénieur à l'entreprise du tunnel du Frasn-Vallorbe, présente un exposé des plus captivants de la géologie du tunnel du Mont-d'Or. Il est très chaleureusement applaudi.

M. E. **Wilczek** présente ensuite une étude sur le *Polymorphisme du genre Equisetum*. — L'auteur fait passer un certain nombre de « variétés » de trois *Equisetum* indigènes. (*Eq. arvense*, *palustre* et *limo-*

sum). Le matériel exposé est amplement suffisant pour démontrer que chacune de ces espèces varie dans une très large mesure.

La plupart des formes morphologiquement distinctes de chaque espèce d'*Equisetum* a été nommée ; la division en races, variétés, formes et subformes a parfois même été poussée à l'extrême.

Le but de cette exhibition n'est pas de faire connaître ces formes, quant à leur nom ou leur morphologie. Nous voulons exposer les causes du polymorphisme.

La variabilité des êtres vivants est un fait que personne ne discute plus. Indiquons cependant que l'amplitude de la variation est très différente d'une « espèce », — ce terme étant pris dans le sens linnéen du mot —, à l'autre. A côté d'espèces extrêmement variables (*Rosa*, *Hieracium* par exemple), il en est d'autres qui ne varient pas ou guère. (Genres mono- ou oligotypes, *Secale-cereale*, etc.). Une espèce fixe peut être considérée comme ancienne, de même qu'un genre dont les espèces sont nettement tranchées, et ne présentent pas actuellement de formes intermédiaires. La variabilité est le facteur qui détermine la différenciation des espèces.

Dès qu'il s'agit d'interpréter les causes de la variabilité, les difficultés commencent. En dernière analyse toute « variation » doit être ramenée au protoplasma dont une des principales propriétés est précisément de pouvoir varier. Tantôt cette propriété se manifeste spontanément (*lusus*, mutation), tantôt elle ne se manifeste qu'en suite d'une excitation ; de nombreuses « variations » dûment constatées apparaissent comme réaction de l'organisme vis-à-vis du milieu.

Par analogie avec les désignations employées pour désigner les mouvements des plantes, on pourrait distinguer entre variations *autonomes* et variations *induites*, c'est-à-dire déclanchées par les facteurs cosmiques et édaphiques.

Dans de nombreux cas, l'expérience a nettement démontré auquel des deux types signalés une variation appartenait. Dans d'autres, infiniment plus nombreux, la preuve reste à faire.

Un autre point capital reste à déterminer, savoir si une variation autonome est héréditaire ou non. L'expérience seule peut décider. Et enfin, il faudrait encore rechercher dans chaque cas particulier, si les variations induites restent fixes, encore si les conditions du milieu changent.

Passant en revue ce que l'on sait sur les causes de la variation chez les *Equisetum*, l'auteur arrive aux constatations suivantes.

On ne sait rien de positif sur les variations spontanées. Les *Equisetum* se développent en deux tronçons fort distincts (tronçon gamétophyte et tronçon sporophyte) Tous les auteurs n'ont jusqu'ici considéré que le tronçon sporophyte, celui que le langage usuel désigne sous le nom de prêle. Personne n'est parti des spores et des prothalles ♂ et ♀ qui résultent de leur développement. A ce propos, l'auteur fait remarquer que les élatères des spores fonctionnent comme de véritables organes de préhension; ensuite de leurs mouvements hygroscopiques, les branches des élatères s'entrelacent; il en résulte que les spores restent rassemblées en glomérule et que les prothalles de sexe différent se trouvent mêlés les uns aux autres. Les essais ont toujours porté sur les rhizomes vivaces des *Equisetum* ou plutôt sur les axes photophiles de ceux-ci.

Dans ces conditions, il devient impossible de dire si une « variation » doit être ramenée aux cellules sexuelles ou aux cellules végétatives, cette variation pouvant rester à l'état latent ou être transmise directement par voie végétative (variations gemmaires). Il y a là une belle étude, malheureusement de longue haleine à faire.

Par contre, il est parfaitement logique de s'adresser aux rhizomes des *Equisetum* pour l'étude des variations que leurs axes photophiles peuvent présenter ensuite d'un changement de milieu ou des conditions de la vie.

Les traumatismes, les maladies parasitaires, la température de l'eau pour les espèces paludéennes, la nature physique du sol (perméabilité, échauffement, mobilité, etc.), le climat (races planitiales et alpines ou arctiques) jouent un rôle certain. Les *Equisetum* réagissent plus ou moins vis-à-vis d'un changement de l'un ou de l'autre de ces facteurs. Certaines de ces réactions ne sont pas héréditaires, par exemple celles dues aux traumatismes. Les *Equisetum limosum*, *palustre*, *ramosissimum*, etc., réagissent vis-à-vis d'une amputation de la tige par le développement de bourgeons axillaires souvent sporangifères; un rhizome d'*Equisetum palustre*, var. *multiramosum* cultivé à Pont-de-Nant auprès d'une source très froide a produit les tiges simples de la var. *tenue*; la couleur rouge-sang des tiges chlorophylliennes de divers *Equisetum* n'apparaît qu'en terrain fortement perméable et ensoleillé, etc.

D'autres variations semblent appartenir au groupe des mutations (*Equisetum limosum*) dont les tiges simples ou rameuses peuvent se trouver dans la même mare ou bien semblent héréditaires.

Par exemple *Equisetum variegatum* v. *caespitosum* n'a pas varié malgré tous les changements de station qui lui ont été imposées à Pont-de-Nant, etc., etc.

Il faut donc conclure que, dans la majorité des cas, les termes usités par les auteurs pour subdiviser les espèces d'*Equisetum* ne correspondent pas à la valeur physiologique et philogénétique que devrait représenter tout terme ayant trait à la hiérarchie des « variations » d'une espèce donnée.

C'est aux recherches d'ordre expérimental qu'il est réservé dans un avenir que nous souhaitons rapproché, d'apporter de la clarté.

M. le Prof. **P. Dutoit** fait une comparaison entre la répartition des gaz dans l'atmosphère et la répartition des sels en dissolution dans l'eau de mer à différentes profondeurs.

La théorie est la même dans les deux cas; elle indique que les grosses molécules doivent s'accumuler dans les régions inférieures et les petites molécules dominer dans les régions supérieures. Un calcul très simple permet du reste de prévoir quelle devrait être la composition de l'air aux diverses altitudes et de l'eau de mer aux différentes profondeurs.

L'observation ne semble pas confirmer, à première vue, les indications de la théorie. La composition de l'air est « sensiblement » constante entre le niveau de la mer et la hauteur de 15 000 mètres à laquelle on a pu prélever de l'air au moyen de ballons sonde. La composition de l'eau de mer varie avec la profondeur, mais d'une manière irrégulière, et l'on se rend bien compte que les conditions locales (courants marins, évaporation, apports de glace, etc.) sont les facteurs dominants de ces variations.

La raison de ces discordances entre le calcul et l'expérience réside, sans aucun doute, dans le fait que l'équilibre cinétique s'établit, dans les fluides, avec une lenteur extraordinaire. La loi de Stokes permet, en effet, d'évaluer la vitesse de chute d'une molécule gazeuse, ou en dissolution, sous l'action de la pesanteur.

Des observations indirectes ont prouvé qu'à partir d'une certaine altitude l'atmosphère doit être immobile, car les gaz légers (azote d'abord, puis hélium, hydrogène, nébulium, coronium, etc.) y sont accumulés, conformément aux prévisions de la théorie cinétique. A ce propos, le prof. Dutoit rend compte d'expériences communiquées par M. Ph. Guye à la dernière séance de l'Association des anciens élèves du laboratoire de chimie théorique de Genève, desquelles il ressort que lors

des maxima barométriques la densité de l'air est plus faible qu'en temps ordinaire. Cette constatation de Guye, dont l'intérêt considérable n'échappera à personne, est la première vérification physique directe du fait que les gaz légers de la haute atmosphère peuvent parvenir jusqu'à nous dans certaines conditions météorologiques.

De même que les hautes régions de l'atmosphère semblent immobiles, l'eau de certaines régions profondes des mers n'est agitée par aucun courant. Cela a été observé par plusieurs personnes. C'est donc dans ces régions que l'on aurait chance de vérifier la loi de répartition des sels en fonction de la hauteur. Des expériences de A. Gautier sur l'iode et l'arsenic contenus dans la Méditerranée et l'Océan Atlantique semblent indiquer une teneur assez constante, quelle que soit la profondeur : en ce qui concerne l'iode tout au moins.

Par contre il faut signaler que la présence de l'or dans l'eau de mer a été signalée seulement dans les mers profondes. Il n'en existe pas dans la mer du Nord et fort peu dans la Méditerranée, comme le professeur de Wilde l'a constaté.

La conclusion de cette étude est qu'il serait intéressant de doser les substances à gros poids moléculaires dans les grands fonds de l'Océan. Il doit s'y trouver de l'or en quantité appréciable. M. Dutoit ajoute qu'il a déjà proposé ces recherches il y a plusieurs années, mais qu'elles n'ont, semble-t-il, pas encore été faites ; aussi recommande-t-il aux naturalistes qui prélèvent des eaux profondes, pour y chercher la petite bête, d'en remettre des échantillons aux chimistes, qui y chercheront la grosse molécule.

Une collation gracieusement offerte par la Municipalité de Vallorbe interrompt la séance pendant quelques minutes.

Puis M. **Porchet** nous parle des variations, pendant la décade 1900-1909, de la composition de quinze vins vaudois provenant respectivement toujours de la même vigne.

Par des graphiques il montre entre autres que la disposition dite en *harmonica* des lignes *acidité* et *alcool* se vérifie presque rigoureusement ; que les variations d'*extrait* ne suivent pas celles de l'*alcool* mais bien celles de l'*acidité totale* ; que cette dernière influe également les variations de l'*extrait réduit* (extrait total moins sucre et acidité fine).

Enfin en collaboration avec M. F.-A. Forel, M. Porchet démontre que dans cette décade le degré alcoolique des vins dépend surtout des

sommes thermiques de 75 jours précédant la vendange. (Voir aux mémoires, n° 177.)

La séance est levée à midi précis ; l'on se rend au banquet qui a lieu aussi au Casino et qui réunit 35 participants. M. Linder, nommé major de table, salue les invités : MM. Rougeot, ingénieur ; Eperon, médecin de l'entreprise ; Jaquet et Roy, représentants de la Municipalité ; Combe, directeur des Ecoles ; Jaccard, d'Aigle, représentant de la Murithienne. Il regrette l'absence au milieu de nous de M. le syndic Emile Glardon, député, empêché par la maladie de prendre part à notre assemblée générale et lit plusieurs lettres et télégrammes, entre autres de MM. Camille Decoppet, conseiller d'Etat, de la Société de physique et d'histoire naturelle de Genève qui s'excusent de ne pouvoir assister à la réunion.

M. Jaquet, municipal, parle au nom des autorités municipales de Vallorbe ; M. Henri Jaccard apporte le salut cordial de la Murithienne. Puis M. Matthey présente une notice publiée par son père en 1882, l'art de découvrir les sources à l'aide de la baguette divinatoire. Il s'ensuit une discussion des plus intéressantes et qui montre que même les banquets les meilleurs ne peuvent arrêter les membres de la Société vaudoise des sciences naturelles dans la recherche... de l'eau de source.

Mais tout a une fin. Il faut se dépêcher, car la visite du tunnel est fixée à 3 heures. Tandis que le train emmène quinze membres dans les profondeurs de la montagne, sous la conduite de M. Rougeot, ingénieur, les autres visitent les divers chantiers de l'entreprise. Un cordial merci à la direction de l'entreprise du tunnel du Mont-d'Or qui nous a si bien conduits et reçus.

Le lendemain, dimanche, une dizaine de participants sous la conduite de MM. Martin, mycologue, rédacteur au *Journal de Genève*, Ador, pharmacien à Vallorbe, et E. Wilczek ont été herboriser dans la direction de Vaubillon pour rentrer par les Hôpitaux.

ASSEMBLÉE ORDINAIRE DU MERCREDI 3 JUILLET 1912

chez M. Meylan, Dr, à Lutry,
à 4 heures.

Présidence de M. FÉLIX.

La séance est ouverte à 4 heures. M. Wilczek, président, étant empêché d'assister à la séance s'est fait remplacer par M. Félix. M. Félix adresse à notre hôte les remerciements de l'assemblée pour son aimable hospitalité.

Le procès-verbal de la dernière séance est adopté.

MM. Dr^s *Schrumpf* et *Combe* sont reçus membres effectifs.

Les dons suivants sont reçus avec remerciements aux donateurs :

Emile Schær : Les télescopes en général et un télescope Carregran de 1 mètre de diamètre.

L. Ravaz et *G. Verge*. Les conditions du développement du mildiou de la vigne.

L. Ravaz. Taille hâtive ou tardive.

R. Gautier. Rapport sur le concours de réglage de chronomètres de l'année 1911. Observations faites pendant l'éclipse de soleil du 17 avril 1912 à l'Observatoire de Genève.

M. Félix annonce que le Comité de la Fondation Agassiz a mis au concours le sujet suivant : *Etude sur la distribution des diatomées d'une région bien délimitée de la Suisse romande*.

Un prix de 500 francs à décerner en 1914.

(Voir les conditions dans le Bulletin N^o 176).

Communications scientifiques

sous la présidence de M. le Dr MEYLAN.

M. le Dr **Meylan** remercie les membres de la Société d'avoir bien voulu accepter son hospitalité. Il rappelle en quelques mots l'histoire de Lutry en général, les restes de la présence des Romains retrouvés soit à Lutry, soit dans sa propriété.

Puis M. **Bugnion** fait une communication sur un diptère parasite (*Termitoxenia*) chez les Termites, qui paraîtra dans les *Annales de la Société entomologique de Belgique*.

M. **Maillefer** parle ensuite de *Nutation et tropisme*. (Voir aux mémoires. Bull. n^o 177.)

M. **Hofmänner** présente quelques notes préliminaires sur les *Nématodes libres du Léman*.

Ces notes sont le résumé des résultats de recherches faites sur la faune des *Nématodes libres du Léman* en vue d'un travail plus complet, commencé en automne passé sur la proposition de M. le professeur Blanc, à Lausanne.

Les résultats des recherches faites depuis quelques mois sont des plus encourageants parce qu'ils montrent, contrairement à ce que l'on pourrait supposer, une grande richesse dans la faune des Nématodes dont j'ai trouvé en plus des trois espèces (*Dorylaimus stagnalis*, *Trilobus gracilis* et *Mermis aquatilis*) déjà connues, 42 espèces nouvelles, représentant 18 genres et 7 familles (d'après Ed. Perrier), pour la faune du Léman. Pour deux espèces (une *Monohystera* et un *Ethmolaimus*) je n'ai pas trouvé de description, et je les considère comme espèces nouvelles.

Liste des espèces trouvées jusqu'à ce jour avec indication de leur distribution en profondeur :

Alaimus primitivus de Man } à toutes les profondeurs; nombreux.

» *spec. ?* } à des profondeurs dépassant 200 m.

Tripyla papillata Bütschli, fréquent jusqu'à 60 m.

» *filicaudata* de Man, à des profondeurs dépassant 200 m.

5 *Prismatolaimus intermedius* de Man, à toutes les profondeurs.

» *dolichurus* » jusqu'à 200 m.

Cylindrolaimus melancholicus de Man, à 20, 30, 250 et 280 m.

» *communis* » à 280 m.

Monohystera paludicola de Man, jusqu'à 80 m.

10 » *spec. nova.* à toutes les profondeurs.

» 4 *spec. ?* dont une est vivipare. Habitent le littoral.

Pour leur détermination définitive je récolte encore du matériel de comparaison et de contrôle.

15 *Rhabditis spec. ?* littoral, embouchure de rivières.

Trilobus gracilis Bastian } à toutes les profondeurs en

» *longicaudatus v. Linstow* } assez grand nombre.

Plectus tenuis Bastian jusqu'à 240 m. peu nombreux.

» *palustris* de Man littoral,

20 » *cirratus* Bastian » sur plantes aquatiques.

Ironus ignavus Bastian, nombreux à toutes les profondeurs.

..... Espèce caractéristique des grands fonds.

- Rhabdolaimus aquaticus de Man, littoral.
 Tylenchus gracilis Bastian à 140 m.
 » spec. ? à 130 m.
 25 » » ? Morges. Embouchure de la Morges.
 Dorylaimus stagnalis Dujardin, à toutes les profondeurs.
 » carteri Bastian, littoral, peu nombreux.
 » obtusicaudatus Bastian, un exemplaire à 160 m.
 » longicaudatus Bütschli littoral, plantes aquatiques.
 30 » macrolaimus de Man littoral.
 » superbus » à 20 m., littoral.
 » flavomaculatus von Linstow littoral, sables.
 Ethmolaimus spec. nov, 20 m. devant l'embouchure du Flon.
 Cyatholaimus spec. ? littoral.
 35 Mononchus macrostoma Bastian littoral, à 240-250 m.
 Chromadora bioculata Schulze littoral, plantes aquatiques.
 » spec. ? à 50 m. un exemplaire.
 Diplogaster rivalis Leydig littoral, espèce vivipare.

457 espèces de Mermithidae dont la détermination exigera de nouvelles récoltes de matériel, car pour ce genre on n'est jamais sûr si l'on a affaire à une forme adulte ou jeune, l'aspect extérieur se modifiant par des mues successives. Je les trouve à toutes les profondeurs en assez grand nombre. De même il me faudra du matériel de repérage pour les espèces dont la détermination est encore incertaine ou provisoire pour éviter autant que possible la création de nouveaux noms qui n'auraient qu'une valeur locale.

En résumant, nous pouvons juger du grand intérêt que présente l'étude des Nématodes libres de la faune littorale et profonde du Léman, soit par le grand nombre des espèces représentant cet ordre d'animaux, soit par les problèmes biologiques qu'ils suscitent.

Puis M. **Dusserre** donne les résultats de ses recherches sur l'*Influence des sels potassiques sur la résistance des plantes à la gelée.* (Voir Bulletin N° 176.)

ASSEMBLÉE ORDINAIRE DU MERCREDI 16 OCTOBRE 1912,

Salle Tissot, à 4 heures.

Présidence de M. E. WILCZEK, président.

M. E. Wilczek, président, ouvre la séance en souhaitant une cordiale bienvenue à tous les membres. Il rappelle la mémoire de nos membres décédés : Liardet, Samuel Cuénoud, ancien syndic, enfin celle de celui qui fut l'âme de notre société durant de si longues années, F.-A. Forel.

L'assemblée se lève pour honorer la mémoire de ceux qui ne sont plus.

MM. de Kehrman et von Weise sont présentés par MM. Pelet et P. Dutoit.

M. Arnold Reymond, appelé comme professeur de philosophie à l'Université de Neuchâtel, donne sa démission.

Le président annonce à la société le beau don de 500 fr. légué par notre regretté membre F.-A. Forel.

La famille de M. Liardet a fait don à la société de sa collection de Bulletins depuis 1877.

Il a été reçu avec remerciements aux donateurs les volumes suivants : de MM. Jean Burnat : Contribution à l'étude de la reconstitution des vignobles, II.

Marc et André Romieu : Lésions pathologiques sur des squelettes de l'âge du bronze.

le Colonel Lochmann : Cartes topographiques suisses.

B. Longo : Ancora sul Ficus carica.

H. Seeber : Beiträge zur geologie der Faulhorn-Gruppe (Westlicher Teil) u. der Männlichengruppe.

Walther Knoche : Tres notas sobre la Isla de Pascua.

La Société vaudoise a été invitée à se faire représenter le 19 octobre 1912 à l'assemblée annuelle à Neuveville de la Société jurassienne d'émulation ; du 25 au 30 mars 1913 au IX^{me} Congrès international de Zoologie, à Monaco.

Communications scientifiques.

M. Linder rend compte des observations qu'il a pu faire durant l'été sur *Chrysomya demandata* F. L'apparition de ce diptère a coïncidé avec les rares jours chauds et a eu lieu chaque fois entre 11 et

3 heures. Aux peu nombreuses données biologiques de la littérature, M. *Linder* a pu ajouter les constatations suivantes: la présence, sur de nombreuses mouches, d'un acarien ectoparasite, dont la détermination est encore à faire; la présence d'ectoparasites plus gros, non capturés, mais qui sont probablement les *Chelifer* cités par les auteurs; la pariaide est précédée de préambules au cours desquels la femelle tire hors de l'abdomen du mâle l'organe copulateur très long, enroulé en 2¹/₂ tours de spire et muni de crochets à son extrémité distale; la longue durée de la copula. Ces derniers phénomènes sont en relation avec la conformation particulière des organes mâle et femelle que M. *Linder* démontre au moyen de préparations, de dessins et de microphotographies. La saison peu favorable n'a pas permis l'observation de la ponte, par contre il y a eu dépôt de petites éclaboussures blanchâtres formées de corpuscules très petits animés de mouvements browniens et rappelant les *Psorospermies* des vers à soie.

M. le Dr **F. Porchet** donne quelques premières indications sur le degré de maturité du raisin au jour de la séance, soit le 16 octobre. On croit généralement que par suite des conditions météorologiques déplorables de l'été 1912 les phénomènes de maturation ne sont qu'à peine commencés dans la récolte sur souches. Les chiffres analytiques contredisent cette opinion que les apparences semblent justifier.

Le laboratoire de la station viticole a analysé aux dates ci-dessous des échantillons moyens de raisins provenant de quatre de ses vignes d'essais, parcelles non greffées. Les résultats sont les suivants :

	Vevey.		Epesses.		Morges.		Mont s. Rolle.	
	Sucre %	Ac. tot. ‰	Sucre %	Ac. tot. ‰	Sucre %	Ac. tot. ‰	Sucre %	Ac. tot. ‰
16 sept.	12.3	16.7	10.8	18.7	12.0	20.0	14.4	14.7
3 oct.	16.0	14.8	17.3	14.6	16.1	15.3	17.1	15.5
16 oct.	18.8	11.9	19.0	11.8	19.9	14.0	16.3	15.7

Ces chiffres montrent que la teneur en sucre du jus de raisin est beaucoup plus élevée qu'on ne le pense, puisqu'elle correspond, dans les quatre échantillons du 16 octobre, à un degré alcoolique allant de 9,6 % à 11,7 % après fermentation.

Ces chiffres sont égaux ou supérieurs à ceux constatés, pour ces quatre vignes, lors des vendanges 1911.

Par contre, l'acidité totale est encore extraordinairement élevée et c'est elle qui, par une erreur gustative, masque le sucre.

M. Porchet pense que ces premiers résultats seront confirmés par la statistique analytique des moutts vaudois : ceux-ci seront normalement sucrés mais présenteront par contre une acidité anormalement élevée, même si le temps très-propice de ce jour persiste. En cas contraire, l'acidité atteindra des chiffres non encore constatés, d'une façon si générale, dans notre vignoble.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE EXTRAORDINAIRE DU MERCREDI

30 OCTOBRE 1912

à 4 heures, Salle Tissot.

Présidence de M. E. WILCZEK, président,

La séance est ouverte à 4 heures. Le procès-verbal de la dernière séance est adopté.

MM. *Kehrmann* et *von Weise* sont reçus comme membres effectifs.

Le président annonce que la Commission permanente internationale d'Aéronautique tiendra à Paris, au Grand Palais des Champs-Élysées, les 4, 5 et 6 novembre 1912, à l'occasion de la IV^{me} Exposition internationale de Locomotion Aérienne, une session extraordinaire, dont l'ordre du jour sera entièrement consacré à l'étude de la « sécurité en aéroplane ». Les membres de la Société vaudoise des Sciences naturelles sont gracieusement invités à adhérer à cette session. Un certain nombre de bulletins d'adhésion sont distribués. On passe à l'ordre du jour.

La commission chargée d'étudier les causes de la diminution de la fortune de la Société et les moyens d'y remédier est composée de MM. M. Lugeon, Félix et Fr. Jaccard.

M. M. *Lugeon* présente le rapport qui a été adopté par le comité, et qui conclut qu'il est nécessaire de trouver de nouvelles sources de revenus, puisque l'on ne peut guère trouver de sources d'économies. Les propositions de la Commission sont les suivantes :

1. Les tirages à part des procès-verbaux sont entièrement à la charge des auteurs.
2. Toute plus-value de composition (surcharge) est supportée par la

Société jusqu'à concurrence de 20 fr. A partir de cette somme, l'auteur participe à cette dépense dans les proportions suivantes :

de Fr. 20 à Fr. 50 . . .	20 %
de » 50 à » 100 . . .	30 %
de » 100 à » 200 . . .	40 %
de » 200 au-dessus . . .	50 %

3. Les frais d'illustration sont supportés partiellement par les auteurs à partir de 50 fr. dans les proportions suivantes :

De Fr. 50 à Fr. 100	cette participation de l'auteur est de	20 %
» » 100 à » 200	» » »	30 %
» » 200 à » 500	» » »	40 %
» » 500 et au-dessus	» » »	50 %

4. Le nombre des tirages à part livrés gratuitement est réduit à 25 exemplaires.

5. Cinq ans de cotisation doivent être payées d'avance par les personnes qui impriment des thèses de doctorat ou autres travaux académiques, à moins que la personne fasse partie de la Société depuis trois ans au moins; dans ce dernier cas, l'impression de la thèse se fera aux conditions normales du bulletin.

Enfin les rapporteurs demandent que l'on examine la proposition qu'ils font relative à la création d'une *Commission de rédaction*.

Ces différentes propositions sont mises en discussion.

Une proposition de M. *Maillefer* de faire participer la Faculté des Sciences aux dépenses qu'entraîne le Bulletin, de faire du Bulletin un organe de la Société en même temps que de la Faculté des Sciences est repoussée à une forte majorité. Une proposition de M. *Porchet* tendant à maintenir le *statu quo*, en recommandant au comité d'équilibrer le budget, est également repoussée.

On passe ensuite au vote des propositions de la Commission sous chiffres 1 à 5, qui sont acceptées par l'assemblée, après une longue discussion, sous réserve des adjonctions et transformations suivantes :

L'article 4 prend la forme suivante : *La Société prend à sa charge le 50 % des frais de tirages à part des mémoires imprimés dans le Bulletin jusqu'à concurrence de 100 exemplaires. Passé 100 exemplaires les tirages à part sont entièrement à la charge de l'auteur.*

Il est ajouté : *par an* à l'article 3, dont la première phrase prend la

rédaction suivante: *Les frais d'illustration sont supportés partiellement par les auteurs, à partir de 50 fr. par an, etc., etc.*

Enfin l'assemblée renvoie au comité pour étude la proposition de la création d'une commission de rédaction, en le chargeant de faire des propositions à une prochaine assemblée générale.

Communications scientifiques.

M. E. Wilczek, en une très attachante causerie, examine ce qui se fait chez nous et ce que l'on peut faire en général pour éviter les empoisonnements par les champignons. Ses conclusions peuvent se résumer en deux mots : 1. Organisation de marchés aux champignons contrôlés officiellement; 2. Vulgarisation des espèces mortelles.

SÉANCE ORDINAIRE DUMERCREDI 6 NOVEMBRE 1912

à 4 heures. Salle Tissot, Palais de Rumine.

Présidence de M. E. WILCZEK, président.

Le procès-verbal de la dernière séance est adopté.

M. E. Wilczek, président, rend hommage à la mémoire d'un sociétaire décédé récemment à Lyon, M. le Dr Henri Dor. Le défunt, Vaudois d'origine et né à Vevey, était, comme on le sait, un oculiste réputé.

L'assemblée se lève en signe de deuil.

M. Weith, docteur, a donné sa démission.

La Société batave de philosophie expérimentale, à Rotterdam, a fait parvenir à la Société vaudoise le programme de son concours; il contient quarante et une questions susceptibles de mettre à l'épreuve la sagacité et le savoir de nombreux chercheurs et embrasse l'ensemble du domaine scientifique. Des médailles en or ou leur valeur intrinsèque seront décernées aux lauréats.

La société a reçu les dons suivants avec remerciements pour leurs auteurs :

Des héritiers de *Th. Durand*: *Conspectus Florae africae* ou énumération des plantes d'Afrique de Th. Durand. Vol. I. Dicotylédones et vol. V. Monocotylédones et Gymnospermes, de Th. Durand et H. Schinz.

Du *Prince Albert 1^{er} de Monaco* : Résultats des campagnes scientifiques : fascicule XXXVII : Mollusques provenant des campagnes de l'*Hirondelle* et de la *Princesse Alice* dans les mers du Nord, par MM. Ph. Dantzenberg et H. Fischer.

Communications scientifiques.

M. le professeur **Henri Blanc** communique les premiers résultats d'une étude qu'il a confiée à l'un de ses étudiants, M. Roszkowski, candidat au doctorat ès sciences naturelles, sur les Linnées de la faune profonde du lac Léman.

Ces petits Mollusques pulmonés ont été découverts par le professeur F.-A. Forel en 1869 ; ils furent alors déterminés par deux malacologistes bien connus, Brot et Clessin, qui, ne tenant compte que des caractères offerts par la coquille, en firent trois nouvelles espèces qu'ils nommèrent *Limnaea abyssicola* (Brot), *Limnaea profunda* (Clessin) et *Limnaea Forelii* (Clessin), ces espèces descendant, la première de la *Limnaea palustris*, la seconde de la *Limnaea stagnalis*, la troisième de la *Limnaea auricularia*, espèces plutôt communes dans la faune littorale de notre lac.

Avant de scruter l'anatomie de ces Mollusques vivant dans les grands fonds du Léman, afin de mieux connaître les modifications organiques provoquées par le milieu ambiant si spécial, il importait de vérifier cette première détermination. Or, en disséquant plusieurs de ces Gastéropodes, ce qui n'était pas chose facile, étant donné la petitesse de leur corps, l'auteur a pu se convaincre que les malacologistes Brot et Clessin avaient eu tort de créer trois nouvelles espèces. S'attachant plus particulièrement à l'étude de l'appareil génital hermaphrodite, il a pu constater que le réceptacle séminal appelé aussi bourse copulatrice, organe annexe de l'appareil génital, n'avait pas toujours la même structure. Celui de la *Limnaea profunda* et de la *Limnaea Forelii* a un court canal excréteur pareil à celui de *Limnaea ovata* vivant dans le lac, alors que ce même organe est chez la *Limnaea abyssicola* relié au vagin par un canal mesurant plusieurs millimètres de longueur, comme il l'est soit chez la *Limnaea palustris* vivant dans les mares situées dans le voisinage immédiat du lac, soit chez les *Limnaea stagnalis* et *auricularia* de la faune littorale du Léman.

M. Blanc insiste sur l'importance de cette différence anatomique, qui

autorise son élève à modifier la parenté établie par Brot et Clessin entre les espèces des Linnées littorales et celles des fonds du lac dont elles proviennent certainement. Ces dernières ne doivent plus être élevées à la dignité d'espèces ; la *Limnaea profunda* et la *Limnaea Forelii* ne sont que des variétés adaptées à un nouveau milieu de la *Limnaea ovata* et la *Limnaea abyssicola* n'est aussi qu'une variété de la *Limnaea palustris*.

Les faits nouveaux constatés par M. Roszkowski démontrent une fois de plus combien il faut être prudent quand on s'occupe de la détermination de certaines formes animales.

M. Perriraz présente quelques documents intéressant l'histoire romaine de la région de Vevey, mis au jour lors du creusage d'une cave sous l'immeuble de M. Gailloud, pharmacien, à la place Orientale, à Vevey. A côté d'une moitié d'un os frontal de bovidé, qu'on est en droit de prendre pour celui d'un *Bos brachyceros*, ainsi qu'une dent fort bien conservée appartenant probablement au même animal, et de quelques os, on a mis à jour aussi des briques pourvues d'un talon et qui devaient servir à la couverture d'un toit.

ASSEMBLÉE ORDINAIRE DU MERCREDI 20 NOVEMBRE 1912,

à 8 heures, Salle Tissot, Palais de Rumine.

Présidence de M. E. Wilczek, président.

Le procès-verbal de la dernière séance est adopté.

M. le Dr *Jacot-Guillarmod* est présenté par MM. Barbey et E. Wilczek.

Le don suivant a été déposé pour la bibliothèque avec remerciements pour l'auteur: Frédéric Reverdin: *Analyse des matières colorantes organiques*.

Puis on passe à l'ordre du jour. Il s'agit d'introduire dans nos règlements les propositions votées par l'assemblée générale extraordinaire du 30 octobre 1912, et subsidiairement de voir s'il y a lieu de changer la teneur de l'article 29.

Les propositions du Comité sont votées à l'unanimité. Les articles 23, 26, 27, 28, 29 et 30 des règlements prendront donc la teneur suivante :

III. BULLETIN.

Art. 25. La Société publie un Bulletin préparé par l'éditeur, sous la direction générale du Comité.

Ce Bulletin renferme les travaux des membres de la Société.

La Société peut, en outre, publier les travaux originaux et inédits de savants étrangers et des dissertations de doctorat ou des travaux de lauréats de l'Université de Lausanne.

Art. 26. Chaque auteur est responsable de ses écrits, et la rédaction d'un travail ne pourra être modifiée sans le consentement de l'auteur.

Art. 27. Tout ce qui concerne la forme du Bulletin, la disposition des matières, l'insertion, l'étendue des mémoires, le nombre et la valeur des planches, est décidé par le Comité sur préavis de l'éditeur.

Le recours à l'assemblée générale est réservé.

Art. 28. Les mémoires doivent être remis à l'éditeur en **copie lisible et sous forme définitive**, aussi bien pour le texte que pour les planches qui l'accompagnent. L'auteur reçoit en correction une épreuve au moins.

Art. 29. La publication des mémoires dans le Bulletin et les procès-verbaux se fait dans les conditions suivantes :

Dissertations de doctorat ou travaux de lauréats. Les dissertations de doctorats ou les travaux de lauréats bénéficient d'une subvention de 50 % de leur coût total, jusqu'à concurrence de 400 francs. Pour l'impression de ces travaux, il est demandé un dépôt préalable de 200 fr.

Toute personne désirant publier une dissertation dans le Bulletin, est tenue de verser une contribution extraordinaire de 50 fr., somme qui lui est créditée pour cinq années de cotisation, à moins que l'auteur de cette dissertation fasse partie de la Société depuis trois ans au moins; dans ce dernier cas, l'impression de la dissertation se fera aux conditions normales du Bulletin.

Corrections. Tous les frais de correction extraordinaires qui ne sont pas le fait de l'imprimeur ou du graveur, ainsi que les frais de re-composition et d'adjonction, sont à la charge de l'auteur.

Surcharges. Toute plus-value de composition (surcharge) est supportée par la Société jusqu'à concurrence de 20 fr. A partir de cette somme, l'auteur participe à cette dépense dans les proportions suivantes :

De Fr. 20.— à Fr. 50.—	20 %
» » 50.— à » 100.—	30 %
» » 100.— à » 200.—	40 %
» » 200.— au-dessus	50 %

Illustrations. Les frais d'illustration (planches en lithographie ou en phototypie, clichés de toute nature) sont supportés par le Bulletin jusqu'à concurrence de 50 fr. par an. A partir de cette somme, l'auteur participe à la dépense dans les proportions suivantes :

De Fr. 50.— à Fr. 100.—	20 %
» » 100.— à » 200.—	30 %
» « 200.— à » 500.—	40 %
» » 500.— au-dessus	50 %

Les planches et clichés publiés dans le Bulletin sont exécutés par des artistes choisis par le Comité sur préavis de l'éditeur. Le Comité pourra mettre à la charge des auteurs l'augmentation de prix qui résulterait de l'emploi d'autres artistes de leur choix.

Tirages à part. Sur leur demande, les auteurs peuvent obtenir un tirage à part de leurs mémoires imprimés dans le Bulletin ou dans les Procès-verbaux, dès que l'impression de ces travaux est terminée et sous les conditions suivantes :

a) Les tirages à part des Procès-verbaux sont entièrement à la charge des auteurs.

b) Les tirages à part des mémoires insérés dans le Bulletin sont à la charge de la Société dans la proportion de 50 % jusqu'à concurrence de 100 exemplaires, y compris le brochage et une couverture imprimée. Passé ce chiffre, ces tirages à part sont entièrement à la charge des auteurs.

c) Tout tirage à part du Bulletin de plus de 300 exemplaires nécessite une autorisation spéciale du Comité.

d) Tout tirage à part portera la suscription :

« Extrait du Bulletin.... Vol.... Année.... N°.... » Tout autre remaniement est à la charge des auteurs.

Art. 30. Le Bulletin est adressé gratuitement... etc.

Art. 31. Le prix d'abonnement pour les étrangers... etc., et ainsi de suite pour la numérotation des articles suivants.

Communications scientifiques.

M. Ernest Jaccard présente un *Calendrier perpétuel* de son invention. Cet instrument, breveté en Suisse sous le numéro 68 870, du 9 mars 1912, satisfait au desideratum suivant : *Mettre immédiatement sous les yeux, à volonté, le calendrier d'un mois quelconque de l'ère chrétienne, c'est-à-dire la correspondance pour tout ce mois entre quantités et noms des jours de la semaine; et ceci soit dans le calendrier Julien ou ancien style, soit dans le calendrier Grégorien ou nouveau style.*

Ce résultat s'obtient *uniformément dans chaque cas*, par la rotation des deux disques mobiles de l'instrument (disque inférieur et disque supérieur) par rapport au disque médian fixe. L'un des mouvements est relatif au siècle, l'autre au mois et à l'année; le premier s'obtient en appuyant sur une languette extérieure, le second en tournant un bouton central. Un seul mouvement est nécessaire tant qu'on reste dans le même siècle.

Cet instrument, tout en servant de *calendrier courant*, tient à disposition ce qui concerne le passé et ce qui concerne le futur, et facilite les recherches historiques de vérifications de dates.

M. E. Jaccard expose la genèse de son instrument et montre qu'il dérive de cette remarque évidente : *L'addition d'un nombre de jours multiple de sept à une date quelconque ramène le même nom de jour de la semaine.*

L'auteur donne ensuite des exemples d'emploi de l'instrument, et montre qu'il résout quatre problèmes généraux : la correspondance s'établissant entre *jour, quantième, mois et millésime*; trois de ces valeurs étant connues, on peut déterminer la quatrième, au moins dans certaines limites.

MM. Mercanton et Galli-Valerio. Après un court exposé sur la biologie des moustiques au Groenland, fait par M. Mercanton, M. Galli-Valerio donne la classification de quelques parasites rapportés par M. Mercanton. Il s'agit d'une *Culicine* : *Culicada nigripes*. Zett. et d'un *Simulium* : *S. vittatum*. Zett. pris sur l'homme, et de quelques exemplaires de *Chaetopsylla globiceps*. Tschb. pris sur *Canis lagopus*.

M. Maurice Lugeon présente à la Société deux publications dont il est l'auteur :

1. *Les sources thermales de Loèche-les-Bains* (matériaux pour la

carte géologique de la Suisse, nouv. série, livraison XXXVIII). Cette publication renferme les conclusions définitives de recherches dont la Société a été mise au courant. A l'aide des analyses chimiques et radio-actives, et des dispositions tectoniques locales, le cheminement des eaux souterraines est établi et peut être suivi à l'aide d'un stéréogramme.

2. *Etude géologique sur le projet de barrage du Haut-Rhône français à Génissiat près de Bellegarde* (Mémoires de la Société géologique de France, 4^e série, T. 2^e).

M. Lugeon, dans ce mémoire richement illustré, expose ses recherches relatives au projet qui consiste à créer un lac de 23 km. de long et une chute de 70 mètres. Les méthodes de sondage au diamant ou au rail éclissé sont décrites dans tous leurs détails. Une suite de calculs permet de déterminer approximativement la durée de vie du lac artificiel qui sera créé. Ce mémoire résume une série de rapports manuscrits et a été publié à la suite d'une conférence faite à Paris devant la Société géologique de France.

M. **Maurice Lugeon** a été invité, cet automne, par l'Association britannique pour l'avancement des sciences à son meeting annuel à Dundee. La réunion a été suivie par une excursion privée dans les Highlands écossais, en particulier dans la région des charriages calédoniens aux environs du Loch Assynt. Cette excursion était dirigée par MM. Peach et Horne, auteurs de travaux célèbres sur ces anciens territoires.

M. Lugeon a pu se convaincre qu'il n'y avait pas de différences essentielles entre ces charriages anté-dévonien et ceux des Alpes. Une collection aussi complète que possible, et constituée par de beaux échantillons, a été rapportée d'Ecosse et est donnée par M. Lugeon au Musée de Lausanne.

M. **Jules Cauderay**, électricien, nous parle de l'*Heure Décimale*.

Depuis environ 30 ans, notre pays est doté du système métrique décimal complet.

Toutefois, ainsi que dans tous les pays qui nous avoisinent, et même dans le monde entier, la mesure du temps, ou plus exactement la division de la journée sidérale est restée la même depuis les temps les plus reculés.

Si l'universalité du système actuel est un grand avantage, puisque dans le monde entier il est identique, et que toute la vie pour ainsi dire

est réglée d'après ce système, cela ne veut pas dire que le système soit parfait.

La génération qui se servait des anciennes unités de mesure savait quelle peine et quelle perte de temps les calculs fait avec les nombres complexes occasionnaient, sans compter les erreurs toujours faciles avec ce système.

Nous nous occuperons aujourd'hui spécialement de la division de la journée sidérale, sans rechercher les inconvénients bien connus du système actuel.

Déjà, lors de la Révolution française, la Convention avait décrété la division *décimale* du temps, mais comme pour bien d'autres choses de cette époque, on continua à se servir de l'ancien système qui se perpétua jusqu'à nos jours.

Outre la longueur des calculs et le temps perdu, un des graves inconvénients du système actuel réside dans le fait que les 24 heures du jour sidéral se divisent en deux groupes de 12 heures, et comme à notre époque les chemins de fer jouent un grand rôle, il se trouve que la lecture des horaires des trains se trouve grandement gênée par le fait qu'il est souvent impossible de savoir si les heures qu'on peut lire concernent les heures du jour ou de la nuit, du matin ou du soir.

Pour remédier à cet inconvénient, plusieurs administrations de chemins de fer des pays voisins ont déjà adopté le cadran de 24 heures, ce qui constitue un progrès. mais il y a encore des ombres au tableau, par exemple, un cadran de 24 heures est d'une lecture un peu difficile à distance, par le fait que les chiffres se trouvent très rapprochés, et qu'il est facile de se tromper d'une heure entière.

En outre, le système de la division de l'heure en 60 minutes retombe dans les nombres complexes, ainsi que la division de la minute en 60 secondes.

S'il est indiscutable que déjà plusieurs fois un système décimal de la division du temps ait été proposé, il m'a été impossible de savoir si une horloge de ce système ait été construite, et je me suis proposé d'en construire une.

Pour cela, j'ai divisé la journée sidérale en dix parties que je nommerai *heures décimales* pour les distinguer de l'heure actuelle, tout en laissant subsister une dénomination déjà utilisée.

Je divise l'heure décimale en 100 parties que j'appellerai *minutes centésimales*, pour les mêmes raisons indiquées ci-dessus.

Il en sera de même pour la division de la minute, et j'appellerai *seconde centésimale*, la centième partie de la minute centésimale.

Voici comment se présente la division de la journée sidérale avec chacun des deux systèmes.

Système actuel :

$$1 \text{ jour} = 2 \times 12 = 24 \text{ heures} \times 60 \text{ min.} = 1440' \times 60'' = 86400''$$

Système décimal :

$$1 = 10 \text{ heures, D.} \times 100 = 1000 \text{ min. cent.} \times 60 = 100000''.$$

$$1 \text{ heure décim.} = 2 \text{ h. } 24'.$$

$$1 \text{ minute cent.} = 1 \text{ m. } 24'' \frac{4}{10}.$$

$$1 \text{ seconde cent.} = 0 \text{ h. } 86\frac{4}{10} \text{ sec.}$$

Sur ces données, j'ai construit, ou plutôt transformé une de mes horloges électriques du système ordinaire en système à heure décimale.

Cette horloge fonctionne parfaitement, ainsi que peuvent s'en rendre compte les personnes présentes.

Si j'ai choisi une horloge électrique cela tient au fait qu'en ma qualité de constructeur d'appareils et horloges électriques, il m'était plus facile d'employer ce dernier système, mais cela ne veut pas dire que nos fabricants d'horlogerie rencontreront des difficultés à fabriquer des horloges ou des montres décimales.

La désignation de *midi* et de *minuit* subsisteront toujours avec leur valeur actuelle, mais à minuit il sera 10 heures ou 0 heure décimale, et à midi il sera 5 heures décimales.

Si je propose de conserver les mots de heure, minute et seconde, c'est afin de changer le moins possible aux habitudes prises, mais il faudra, au moins provisoirement, ajouter le qualificatif de *décimale* ou *centésimale* afin d'éviter des confusions.

Je ne me fais pas d'illusions, et je sais parfaitement que l'application de la division décimale de la journée sidérale au système décimal rencontrera beaucoup d'opposition, vu les difficultés rencontrées surtout au moment du changement, mais je reste persuadé que tôt ou tard, on sera obligé d'en venir là, et c'est pour hâter ce moment que j'ai fait ce travail, quoique personnellement je n'aie aucune chance de voir ce changement.

SÉANCE ORDINAIRE DU 4 DÉCEMBRE 1912

à 4 heures. Salle Tissot (Palais de Rumine).

Présidence de M. E. WILCZEK, président.

Le procès-verbal de la dernière séance est adopté.

M. *Jacot-Guillarmod* est reçu comme membre effectif.

A la suite de la communication de M. Ernest Jaccard au sujet du « Calendrier perpétuel » inventé par cet auteur, le président a reçu une lettre de M. Ernest Recordon, à Lutry, qui fait savoir à la société qu'il est aussi l'inventeur d'un calendrier semblable.

M. *Wilczek* annonce à la société que la proposition de M. Porchet tendant à acquérir de la Société helvétique des tirages à part des portraits des membres décédés, paraissant dans les Actes helvétiques, a été fort bien accueillie par le Comité central de l'Helvétique. Dorénavant, par l'organe de notre comité, chaque année les membres pourront se procurer des tirés à part des portraits parus dans les Actes de la Société helvétique.

L'assemblée vote des remerciements à M. Porchet pour son initiative.

Sur l'initiative de M. le professeur *Henri Blanc*, une circulaire sera envoyée prochainement par le comité aux sections de la Société helvétique des sciences naturelles en vue de provoquer des souscriptions pour l'érection au Palais de Rumine d'un médaillon reproduisant les traits du regretté *F.-A. Forel*.

Communications scientifiques.

M. **Aug. Nicati**, pharmacien, présente au nom du *Dr W. Nicati* à *Marseille*, l'observation suivante : On relate dans les ouvrages de mycologie deux variétés classiques d'intoxication par les champignons. 1^o L'hémolytique, par la *phalline* de l'*Ammanite phalloïdes* et 2^o la gastro-entérique par la *Muscarine* de l'*Amanita muscovia*. Mais les mêmes traités sont muets sur la symptomatologie d'autres formes cliniques d'intoxication qui pourraient servir d'indice aux recherches de la chimie. L'observation suivante contribuera à combler cette lacune.

Des champignons petits, blancs et pouvant être confondus avec certains mousserons avaient été essayés en faible quantité, soit crus, soit secs ou mélangés comme assaisonnement. Comme ils n'avaient jamais

provoqué aucun malaise on se décida en présence d'une récolte abondante à en apprêter des crôutes et deux personnes en mangèrent assez abondamment. Elles présentèrent toutes deux les mêmes symptômes, à savoir: Une demi-heure environ après l'ingestion, des bouffées de chaleur généralisées, tôt suivies d'une sudation profuse et d'une non moins abondante salivation. Et cela a duré ainsi 5 heures sans céphalée, ni troubles digestifs pour céder brusquement, faire place à un état de parfait bien être. — Ce symptôme est celui de l'empoisonnement par le Jaborandi et son alcaloïde la pilocarpine. La pilocarpine existerait-elle dans le champignon présenté? Et à son défaut quelle est la substance d'action identique contenue dans cette espèce?

Il est regrettable que les échantillons de champignons soient arrivés en mauvais état, car il a été impossible à M. le professeur *Wilczek* de déterminer l'espèce; on peut supposer cependant qu'il s'agit d'un entoloma.

M. Aug. Nicati pense que l'intoxication est due à la *Neurine* base ammoniacale dérivée de la triméthylamine. Cette dernière existe dans plusieurs végétaux: le *Chenopodium*, *Sorbus aneponte*, l'Ergot de seigle, les menthes; puis dans l'huile de foie de morue, les harengs à qui elle donne leur odeur particulière. Gulewitsch la signale aussi dans le cerveau et la bile.

Les propriétés physiologiques de la « Neurine » sont les mêmes que celles de la Pilocarpine et elle a été employée avant celle-ci pour amener des sudations profuses dans les angines diphtéritiques.

Voici donc un champignon qui sans être toxique peut amener des troubles plus ou moins graves; il faut donc être prudent pour l'admission d'espèces nouvelles au marché. Après une expérience de plusieurs années, M. Nicati est d'avis que seules les espèces bien connues comme qualités nutritives et d'une digestion facile doivent être autorisées. Les champignons se digèrent lentement et les meilleurs peuvent procurer des embarras gastriques suivant les aliments auxquels ils sont mélangés. Eviter de les noyer dans une grande quantité de liquide froid, la bière en particulier.

M. **Horwitz** fait une communication sur la variabilité des précipitations en Suisse (voir au bulletin n° 177).

Il nous entretient ensuite d'une particularité de l'écoulement du Rhin alpin (voir au bulletin n° 178).

Puis M. **Moreillon**, inspecteur forestier à Montcherand, présente la *var. australis Simonkai*, du *Quercus Robur* L.

En été 1912, mon attention fut attirée sur un chêne bordant la route de Montcherand à Sergey, dont les glands étaient fixés à des pédoncules presque pendants, beaucoup plus longs que ceux que je connaissais.

Sur cet arbre, haut d'environ 10 m., d'un diamètre de 20 centimètres à hauteur de poitrine et âgé d'une quarantaine d'années, j'ai récolté un certain nombre d'échantillons, de fin juillet à octobre.

J'en ai mesuré la longueur du pédoncule, pas trop raccourci après la floraison par suite de l'avortement des fleurs femelles, ainsi que des feuilles qui les appuyaient, pas trop déformées par les hannetons du mois de mai.

J'ai trouvé les dimensions suivantes, en centimètres.

feuilles	pédoncules	nombre glands	feuilles	pédoncules	nombre glands
9	14	2		Moyennes	
10	12	2	10,3	13,3	1,7
12	10	1 av.			
9	10	1		Minimum	
10	10	1	6	8	1
13	12	1			
12	16	2		Maximum	
10	13	2	14	30	3
9	13	1			
12	11	1			
12	12	2			
13	15	2			
10	14	3 av.		Extrêmes	Moyennes
9 mang.	17	2	feuilles	6-14 cm.	— 10,3
11	13	1	pédoncules	14-30 »	— 13,3
12	12	1	nombre glands	1 3 »	— 1,7
14	30	3			
7	10	2			
9	12	2			
13	17	3			
14	20	1	Un exemplaire avec pédoncule de 24 cm		
10	22	3	de long a été remis au prof. Dr C.		
10	8	2	Schröter, à Zurich.		

feuilles	pédoncules	nombre glands
9	9	9
6	10	1
7	8	1
9	9	2
12	12	1
7	14	3

Les feuilles sont dures, grandes et glabres, avec un pétiole court, généralement long de 5 millimètres.

Les pédoncules sont glabres, et de $\frac{1}{5}$ plus longs que la feuille qui l'appuie. Ils seraient encore plus longs, si, comme je l'ai déjà indiqué, les fleurs antérieures n'avaient pas avorté.

Les cupules sont généralement triangulaires, parfois hémisphériques, pubescentes — grisâtres, dont quelques écailles sont recouvertes d'une petite gibbosité, ouverte ou non.

Les glands, au moment de la maturité, étaient petits. Le 19 octobre 1912, j'en ai mesuré un de 16 mm. de long sur 10 mm. de large et qui paraissait être parmi les plus gros. Leur nombre varie de 1 à 3 par pédoncule.

Suivant Ascherson et Graebner (*Synopsis der Mitteleuropäischen Flora*), 1911, page 504, ce chêne appartient à la variété *australis* de Simonkai, qui est caractérisée par des pédoncules aussi longs ou plus longs que la feuille, pendants ou presque pendants. Ces Messieurs n'en indiquent pas la longueur.

Les synonymes de cette variété sont :

pour Ascherson et Graebner : *longepedunculata* Lasch., *hiemalis* Stev., *filipendula* Schloss., *fructipendula* Kit. ;

pour Schneider, (*Laubholzkunde*, 1904, p. 199) : *hiemalis* Beck.

Ce dernier donne comme longueur des pédoncules du *Quercus Robur* L., de 3 à 8 cm., exceptionnellement 15 cm.

Les herbiers Barbey, Burnat, Delessert à Genève, Wilzeck, Maillefer et de l'Université à Lausanne, ainsi que celui de l'École polytechnique à Zurich, ne contiennent aucun exemplaire semblable à celui que j'ai récolté. Dans l'herbier Barbey, un chêne récolté à Bex par Thomas, a un pédoncule de 9 cm. ; c'est le maximum pour les chênes suisses dans les herbiers précités.

Par contre, les herbiers Boissier et de Candolle possèdent chacun un

Quercus filipendula Janka, distribué par ce dernier, le 18 juillet 1867, provenant des forêts de Slavonie, dont les pédoncules mesurent 12 (Boissier) et 18 cm. (de Candolle).

Cette variété *australis* me paraît être nouvelle pour la Suisse, et l'un de ces échantillons a des pédoncules de 30 cm. de long, soit le maximum de ce qui a été mentionné à ce jour dans les flores sus-indiquées et suisses.

Comme c'est la première année que je remarque ce chêne, je ne puis affirmer d'une façon certaine si ces longueurs sont habituelles sur cet arbre, ou s'il faut l'attribuer à l'année très chaude de 1911, suivie d'un hiver très doux et d'un été pluvieux.

Je ne crois pas que ces facteurs, s'ils ont eu vraiment une influence, soient seuls, car à 200 m. de ce chêne, j'en ai remarqué un autre, dans les mêmes conditions, avec des pédoncules presque aussi longs.

Sur les feuilles vous avez pu remarquer des atteintes du « blanc ou oïdium du chêne » (oïdium quercinum Thüm.), que nous avons depuis 1908, ainsi que les ravages causés par les hannetons de mai 1912.

M. le président me ferait plaisir en voulant bien accepter un échantillon pour son herbier et un autre pour celui de l'Université.

M. **Moreillon** présente ensuite la communication suivante :

Le 22 septembre 1912, j'ai trouvé dans le parc de M. Arthur de Bonstetten, à Valeyres sous Rances (Vaud), le *Melampsorella caryophyllacearum* sur l'*Abies Pinsapo*.

C'est, sauf erreur, la première fois qu'il est mentionné en Suisse sur cette essence. Il a déjà été rencontré en Allemagne.

Ce champignon était précédemment connu sous le nom de *Accidium* latinum Alb. et Schwern., puis de *Melampsorella Cerastii* Pers.

M. **B. Galli-Valerio**, présente quelques fragments d'une squelette de l'homme, trouvés dans une gravière à Plamont (Orbe). Au nom aussi de M. *Bornand* il fait circuler des éprouvettes démontrant qu'il est possible de différencier par le procédé des précipitines, dans des champignons secs, l'*Agaricus muscarius* du *Boletus edulis*.

Au nom aussi de M^{me} *Rochaz* il donne un résumé des observations faites sur les moustiques en 1912, signalant surtout la présence dans le canton de Vaud d'*Anopheles nigripes*.

A la suite de la présentation par M. *Cauderay* d'une pendule à heure décimale, M. le professeur **Constant Dutoit** a reçu du Brassus

une lettre rappelant qu'une montre, construite pour le même système horaire, fut exposée à Paris, en 1867, par la maison Louis Audemars. L'initiative du fabricant vaudois eut assez peu de succès.

M. *Wilczek*, donne ensuite lecture d'une communication de M. *Bührer*, sur les tremblements de terre locaux dans la plaine du Rhône.

Il y a deux ans, j'ai signalé un tremblement de terre localisé sur les rives du lac Léman, entre Vevey et Villeneuve. C'était le 5 juin 1910, à minuit 20 min. du matin; un choc unique, vertical, assez fort (force V à VI de l'échelle Forel-Rossi), accompagné d'un bruit sourd, a réveillé un grand nombre de personnes endormies.

Un mouvement identique s'est produit dans la plaine du Rhône, les 8 et 10 novembre dernier. Un premier choc, unique, vertical, a été senti à Bex et environs à 8 h. 39 du matin. La secousse a été remarquée par la population entière; elle a ébranlé les vitres et le bruit souterrain qui l'accompagnait a fait croire à des écroulements de tonneaux dans les caves ou à des éboulements de murs. Les personnes vaquant à des occupations en plein air ont nettement perçu le choc.

Le surlendemain, dimanche 10 novembre, à 3 h. du matin, même mouvement sismique, avec les mêmes caractères que le premier, à la différence près qu'il s'est manifesté un peu plus au nord, à Ollon et ses environs immédiats. Un correspondant m'écrit qu'il avait l'impression d'être exactement au-dessus du point ébranlé.

Ces tremblements de terre peu étendus ont été attribués par quelques auteurs (*Jaegerlehner*, *Hörnes*) à l'effondrement de cavités existant dans un terrain contenant des matières solubles entraînées par les eaux d'infiltration. M. *de Montessus*, dans sa *Géographie séismologique* dit que les tremblements de terre de la Suisse tendent à montrer que le processus orogénique n'a pas entièrement cessé, ces séismes étant la manifestation matérielle tangible de la continuation des efforts tectoniques correspondants. C'est aussi le point de vue défendu par notre regretté collègue *F.-A. Forel*.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE DU MERCREDI 18 DÉCEMBRE 1912

à 3 heures, Salle Tissot, Palais de Rumine.

Présidence de M. WILCZEK, président.

Le procès-verbal de la dernière séance est adopté.

M. *Wilczek*, président sortant de charge, présente un rapport sur la marche de la Société pendant l'année 1912. Ce discours, plein d'une éloquente émotion, fut vivement applaudi.

M. *Wilczek* remet au bibliothécaire un don fait à la Société; c'est le livre de M. Buchanan : *Experimental Researches on the specific gravity and the displacement of some saline solutions*.

Puis on procède à l'élection d'un nouveau Comité. Pour remplacer MM. Mercanton et Félix, qui sortent de charge, M. *Mercanton* propose MM. Paul Dutoit et Morton. M. *Porchet* demande si l'on ne pourrait faire revenir M. Félix sur sa décision, mais M. *Wilczek* annonce que tous les efforts ont été vainement tentés pour rétenir M. Félix au Comité, et que sa résolution est irrévocable. D'autre part M. *Blanc* déclare que M. Morton ne peut accepter cette charge. M. Murisier est alors proposé par M. *Lador*. On vote au scrutin secret : MM. *Paul Dutoit* et *Murisier* sont nommés.

Il s'agit maintenant d'élire un président. M. Linder, présenté par M. Jaccard, ne peut accepter pour des raisons personnelles. M. Murisier refuse également. Le scrutin porte à la présidence M. *Paul Dutoit*, professeur de chimie-physique à l'Université.

M. *Perriraz* reste vérificateur des comptes, et l'assemblée lui adjoint par acclamations MM. *Cornu* et *Barbey*.

La cotisation annuelle et la finance d'entrée ne subissent pas de modifications.

L'ouverture de la première séance de chaque mois est fixée à 4 $\frac{1}{4}$ h., à la demande de M. *Mercanton*.

Le projet de budget suivant est proposé par M. *Wilczek* pour l'année 1913 :

PROJET DE BUDGET POUR L'ANNÉE 1913

Compte général.

RECETTES

COMPTES 1911	BUDGET 1912		
Fr. 55 —	Fr. 40 —	Contributions d'entrée	. Fr. 40 —
» 1992 —	» 1950 —	Contributions annuelles	. » 1950 —
» 150 —	» —	Contributions à vie . . .	» —
» 3180 75	» 3150 —	Intérêts des créances . . .	» 3150 —
» 2000 —	» 2000 —	Redevance de l'Etat . . .	» 2000 —
» 1269 30	—	Excédent des dépenses.	. » —
<hr/>			
Fr. 8647 05	Fr. 7140 —		Fr. 7140 —
<hr/>			<hr/>

DÉPENSES

Fr. 5781 65	Fr. 4600 —	Bulletin.	Fr. 4550 —
» 629 20	» 600 —	Achat de livres et abonnements	» 600 —
» 2236 20	» 1940 —	Frais d'administration :	
		Impôts	Fr. 390 —
		Annonces	» 120 —
		Adresse-Office	» 170 —
		Trait. du Secrét.	» 100 —
		» du Bibliothéc.	» 200 —
		» l'édit. du Bull.	» 250 —
		» Caissier.	» 200 —
		» Concierge.	» 80 —
		Dépenses div.	» 430 —
		Dernière annuité	
		Euler	» 50 —
			» 1990 —
<hr/>			<hr/>
Fr. 8647 05	Fr. 7140 —		Fr. 7140 —
<hr/>			<hr/>

Ce budget est adopté par l'assemblée.

Pour clore la partie administrative, M. le colonel *Lochmann* remercie, au nom de la Société tout entière, M. le professeur *Wilczek*, pour la belle activité qu'il a déployée et le grand dévouement qu'il n'a cessé de montrer pendant sa présidence. Il fait des vœux pour que l'année qui va commencer ne laisse pas de jouir d'une égale prospérité.

Communications scientifiques.

M. P. *Murisier* présente quelques résultats de recherches faites pendant ces trois dernières années sur l'influence de la lumière et de la chaleur sur la pigmentation cutanée des poissons, particulièrement en ce qui concerne le pigment mélanique.

Les observations ont porté sur des truites (*Trutta lacustris* L.) issues des mêmes parents, élevées depuis l'éclosion jusqu'à l'âge de neuf mois dans des conditions diverses d'éclairage et de température, sur des fonds noirs et blancs. La composition chimique de l'eau, sa teneur en oxygène étaient les mêmes pour tous les sujets en expérience, qui en outre recevaient une nourriture qualitativement et quantitativement égale.

Les résultats obtenus montrent qu'à haute température (18-20°) l'action des rayons lumineux, réfléchis par le fond blanc, produit non seulement une condensation permanente du pigment mélanique, mais un arrêt de la pigmentation cutanée. Au bout de neuf mois, on obtient deux variétés de truites : l'une très pâle à taches peu apparentes (fond blanc), l'autre sombre à taches noires fortement marquées (fond noir ou obscurité totale).

Cette différence de coloration porte sur le nombre des mélanophores et la quantité de pigment qu'ils ont élaboré. Elle n'est pas due à une action directe de la lumière ; sur fond blanc les truites aveugles deviennent noires. L'arrêt de la pigmentation résulte d'une inhibition de la fonction pigmentaire des mélanophores, inhibition produite par l'excitation nerveuse continue de ces éléments. Cette excitation d'origine rétinienne arrête non seulement l'élaboration du pigment dans les mélanophores déjà différenciés, mais encore empêche la différenciation des cellules conjonctives jeunes en cellules pigmentaires.

M. P. *Murisier* se réserve de publier l'étude détaillée de ce phénomène encore inconnu, mais assez intéressant pour que certains auteurs aient pressenti son existence et l'importance de son rôle dans les variations coloratives chez les Crustacés et les Poissons (*Keeble et Gamble 1902, van Rynberk 1906, von Frisch 1911*).

M. A. Rosselet : *Ionisation de l'atmosphère et radiation solaire.* —

L'auteur rappelle qu'en juillet 1909¹, il a communiqué à la Société vaudoise des Sciences naturelles un travail fait en collaboration avec le regretté professeur Henri Dufour, dont la conclusion était la suivante: La lumière émise par un arc voltaïque à électrode de charbon, détermine une diminution dans l'intensité de la décharge d'une plaque de laiton électrisée positivement ou négativement, lorsqu'elle passe au-dessus d'elle et sans qu'aucun effet photoélectrique puisse se produire; cette action de combinaison d'ions doit être recherchée surtout auprès des radiations infra-rouges. De nouvelles recherches ont montré que la lumière solaire comme celle du bec Auer produisait un effet semblable; ce sont plus spécialement ces dernières qui ont fait le sujet de la présente communication. Il est important de mentionner que le dispositif expérimental étant le même que celui employé précédemment la plaque de laiton électrisée se trouvait ainsi préservée de toute action photoélectrique.

Nous avons cherché tout d'abord à retrouver le phénomène précédemment observé avec la lampe à arc.

Potentiel initial = 148v8.

Détermination de la constante ² = 8v 3.

Rayonnement total :

8v3	4v7	4v2	Electricité positive.
4v2	2v1	2v1	Electricité négative.

Pour rechercher l'influence des radiations lumineuses sur la décharge de la plaque de laiton électrisée, nous avons placé devant le bec Auer :

1^o Une plaque de verre à travers laquelle le spectroscope ne permet de déceler que des radiations bleues et violettes ;

2^o Que des radiations rouges.

1^o Potentiel initial : 148v8.

Détermination de la constante = 8v3.

Avec radiations bleues et violettes :

8v3	8v3	8v3	Electricité positive.
8v3	8v3	8v3	Electricité négative.

2^o Potentiel initial = 148v8.

Détermination de la constante = 4v7.

¹ Dufour et Rosselet : Séance du 7 juillet 1909.

² Chute de Potentiel sans lumière en 3 minutes.

Avec radiations rouges :

4v7	4v7	4v7	Electricité positive.
4v7	4v7	4v7	Electricité négative.

Ces expériences maintes fois répétées paraissent donc autoriser la conclusion suivante : Si la lumière blanche, sans radiations ionisantes et ne produisant aucun effet photoélectrique, diminue l'intensité de la décharge d'un corps électrisé, les radiations lumineuses agissant seules n'ont aucune influence sur l'ionisation précédemment existante.

Si nous transportons ces expériences du laboratoire dans la Nature, il est intéressant de voir qu'elles paraissent rendre compte en partie de l'allure des courbes obtenues par Dorno, et traduisant la variation de l'ionisation atmosphérique. Un premier fait d'observation aisée est que l'ionisation est toujours plus grande la nuit que le jour, ce que l'on peut expliquer par l'absence de la lumière ; puis, si notre idée est exacte nous devons constater en outre une diminution de l'ionisation dès que le soleil se lève, ou d'une façon générale lorsque apparaît le jour et c'est encore ce que nous montrent les courbes de Dorno. Le minimum observé est obtenu en décembre, entre onze heures et midi, alors que dans les mois du printemps et de l'été, il est déjà réalisé entre 7 heures et 8 heures, cela nous fait pressentir une influence de la valeur de l'intensité du rayonnement solaire, comme de sa composition, sur la recombinaison des ions, et par là l'intérêt de recherches précises sur cet intéressant problème.

D'après une conversation que nous avons eue avec l'éminent spécialiste qu'est le professeur Gockel de Fribourg, il se pourrait que l'influence de la lumière solaire, par un temps clair et calme, alors que seraient réduits au minimum les différents facteurs de l'ionisation atmosphérique (brouillards et précipitations diverses) puisse expliquer les variations de cette dernière.

L'auteur mentionne encore le grand intérêt de recherches parallèles sur l'intensité des radiations infra-rouges, lumineuses, et ultra-violettes et de l'ionisation de l'atmosphère, rendues plus faciles et surtout plus comparatives depuis que le photomètre photoélectrique peut être utilisé pour les différents constituants de la lumière blanche.

MM. H. Faes et F. Porchet : *Etude sur la qualité et la production de quelques cépages rouges.* — La Station viticole de Lausanne possède, en-dessous de la ville, sur la pente méridionale du Crêt de

Montriond, une vigne dans laquelle elle introduit, depuis une quinzaine d'années, les variétés de cépages, à raisins blancs et à raisins rouges, qui semblent devoir prospérer sous notre climat et dans notre sol. Ces plants, taillés et cultivés selon le mode usuel employé dans le vignoble vaudois, proviennent essentiellement de Suisse, de France, d'Allemagne, d'Autriche, de Roumanie.

Une des principales recherches poursuivies par la Station viticole dans l'établissement de la collection de Montriond est l'obtention d'une vigne à raisins rouges convenant à nos conditions de sol et de climat. Nous avons bien les Pinots fins, *Salvagnin*, *Dôle*, *Cortailod*, qui, sur certains points de notre vignoble, donnent des produits d'une réelle qualité; mais leur maturation hâtive les expose beaucoup aux piqûres des insectes, des oiseaux; en outre, ils sont sensibles à la pourriture, et enfin la production de ces plants est généralement trop faible pour que la culture en soit rémunératrice.

D'autre part, la Mondeuse, le *Gros rouge*, qui résiste assez bien à la pourriture et au mildiou, donne de fortes récoltes, mais l'époque tardive de maturité de ce plant ne permet guère de pouvoir compter régulièrement sur la qualité du vin obtenu.

Chacun sait qu'il y aurait avantage à posséder dans notre vignoble un plant à raisins rouges, donnant un produit peut-être légèrement inférieur comme qualité à celui des Pinots cités précédemment, mais un plant qui, tout en venant plus rapidement à maturité, fournirait une production assez semblable comme quantité à celle donnée par le Gros rouge. Il nous faut en somme *un intermédiaire* entre les Pinots fins et le Gros rouge.

Les observations faites pendant la période 1908-1912 confirment la conclusion tirée de la première série d'expériences faites de 1902 à 1907, c'est-à-dire que le *Limberger* est un plant à raisins rouges qui présente réellement de l'intérêt pour nous. Nous avons là un intermédiaire alliant d'heureuse façon, à une quantité de récolte suffisante, une qualité très convenable.

Aux qualités du Limberger que nous signalons s'ajoute une résistance marquée de son raisin à la pourriture.

Nous basant sur les observations de la vigne d'essais de Montriond, nous pensons qu'il y aurait intérêt, pour nos viticulteurs aussi, à continuer la plantation du Limberger sur certains points du vignoble vau-

dois. D'après les expériences faites jusqu'ici, ce plant semble présenter une affinité fort convenable avec les différents porte-greffes.

Les détails concernant cette étude, quantité et qualité de récolte, avec chiffres d'analyse, ont été publiés dans la *Terre Vaudoise*, numéro du 14 décembre 1912.

M. Paul-L. Mercanton donne quelques renseignements qu'il a recueillis au Groenland sur les variations récentes des glaciers de ce continent.

Les mesures faites sur un effluent de l'inlandsis descendant dans une cluse latérale de la vallée d'Ekip Kugsuá ont décelé une crue récente de cet effluent. La vitesse d'écoulement dans l'axe du glacier était encore plus forte au front bombé du courant que plus haut, immédiatement au-dessus d'une chute de séracs. M. Mercanton a recueilli également divers témoignages matériels de cette crue.

L'Ekip Sermia, lui-même, à son aboutissement à la mer, paraissait stationnaire, avec une vitesse de l'ordre de 1 mètre par jour. Le vèlage était peu intense.

Les glaciers de cirque qui bordent le Blaesedal, près de Godhavn, dans l'île de Disko, sont en revanche en décrue notable depuis 1894.

M. Mercanton a refait en 1912 les déterminations sommaires du contour apparent du front de trois glaciers, cartographiés par Frode Pedersen, en 1897. Il a trouvé pour les glaciers :

	Front.	Bord.
Blaesedal NW	— 80 m.	— 30 m.
» SW	— 70 m.	— 40 m.
» E	— 40 m.	—

Ces valeurs grossières caractérisent avec certitude un recul important de ces petits appareils.

M. Mercanton a établi photogrammétriquement la position d'un lobe du glacier sud occidental, le plus voisin de Godhavn.

La déglaciation des montagnes qui supportent ces masses est corroborée par deux observations du Groenlandais Gerhard Kleist (*Kalâdlit nunâtâ sermia pivdlugo agdlagkat*, manuscrit, 1912).

De 1876 à 1884, il a vu, de Kitsigsuarsuk (Hunde Eiland) disparaître graduellement un champ de glace sur le Blaafjeld de Disko.

De 1884 à 1912, il a observé aussi, mais de Godhavn même, la regres-

sion d'un petit glacier, dont la langue descendait dans un ravin du Blaafjeld, en face de sa maison.

Conclusions. L'inlandsis présentait en 1912, au Nunap Kidlinga, dans l'Atasund, les symptômes d'une crue récente; les glaciers du sud de Disko sont en décrue depuis environ vingt ans.

M. **Mercanton** expose brièvement ses recherches récentes sur la grandeur du grain de l'inlandsis groenlandais. Il fait circuler des relevés par la méthode Forel-Mercanton qui montre que le grain de l'inlandsis, comme l'avait déjà trouvé de Drygalski, n'atteint guère des dimensions supérieures à celles d'un petit œuf de poule. Il est souvent notablement plus petit, même au front de vélage du glacier.

TABLE DES COMMUNICATIONS

inscrites aux procès-verbaux

22 juin 1912.

Polymorphisme du genre *Equisetum*, E. Wilczek. — Répartition des gaz et des sels, etc., P. Dutoit. — Variations de vins vaudois, Porchet.

3 juillet 1912.

Termitoxenia, E. Bugnion. — Nutation et tropisme, Maillefer. — Nématodes libres du Léman, Hofmänner. — Influence des sels potassiques, etc., Dusserre.

16 octobre 1912.

Chrysomysa demandata, Linder. — Vins de 1912, Porchet.

30 octobre 1912.

Empoisonnements par les champignons, E. Wilczek.

6 novembre 1912.

Lymnées de la faune profonde du Léman, Roszkowski. — Histoire romaine de Vevey, Perriraz.

20 novembre 1912.

Calendrier perpétuel, E. Jaccard. — Moustiques du Grønland, Mercanton et Galli-Valerio. — Sources thermales de Louèche. Barrage de Génissiat, M. Lugeon. — Echantillons de roches d'Ecosse, M. Lugeon. — Heure décimale, J. Cauderay.

4 décembre 1912.

Intoxication par les champignons, Nicati. — Variabilité des précipitations en Suisse. Ecoulement du Rhin alpin, Horwitz. — *Quercus robur*, var. *australis* Simonkai, Moreillon. — *Agaricus muscarius* et *Boletus edulis*; Moustiques en 1912, Galli-Valerio. — Tremblements de terre, Bühler.

18 décembre 1912.

Influence de la lumière sur la pigmentation cutanée des poissons, Murisier. — Ionisation de l'atmosphère, A. Rosselet — Etude sur la qualité et la production de quelques cépages rouges, Faes et Porchet. — Variations des glaciers du Grønland, P. L. Mercanton.

LIBRAIRIE F. ROUGE & C^{ie}, LAUSANNE

Dernières publications :

D^r A. SCHENK

LA SUISSE PRÉHISTORIQUE

Le Paléolithique et le Néolithique

Préface du D^r F.-A. FOREL

1 vol. grand in-8 de 630 pages, avec 170 figures dans le texte et 20 planches hors texte. — Broché, 18 fr. ; relié, 23 fr.

Esquisse d'une théorie générale de la rente

suivie d'une critique des principales opinions sur le même sujet, par
B. Samsonoff, Docteur en droit. In-8, 4 fr.

L'Analyse des vins par la volumétrie physico-chimique

par P. Dutoit, Professeur de chimie physique, et M. Duboux, Privat-docent de chimie à l'Université de Lausanne. In-8, 5 fr.

Traité du Droit civil comparé. — Les Successions

TOME V, par E. Roguin, Professeur de droit comparé à l'Université de Lausanne. In-8, 10 fr.

Nos dents et celles de nos enfants, par le D^r C. Zbinden.
In-18, 80 cent.

En cours de publication :

DICTIONNAIRE HISTORIQUE

GÉOGRAPHIQUE ET STATISTIQUE

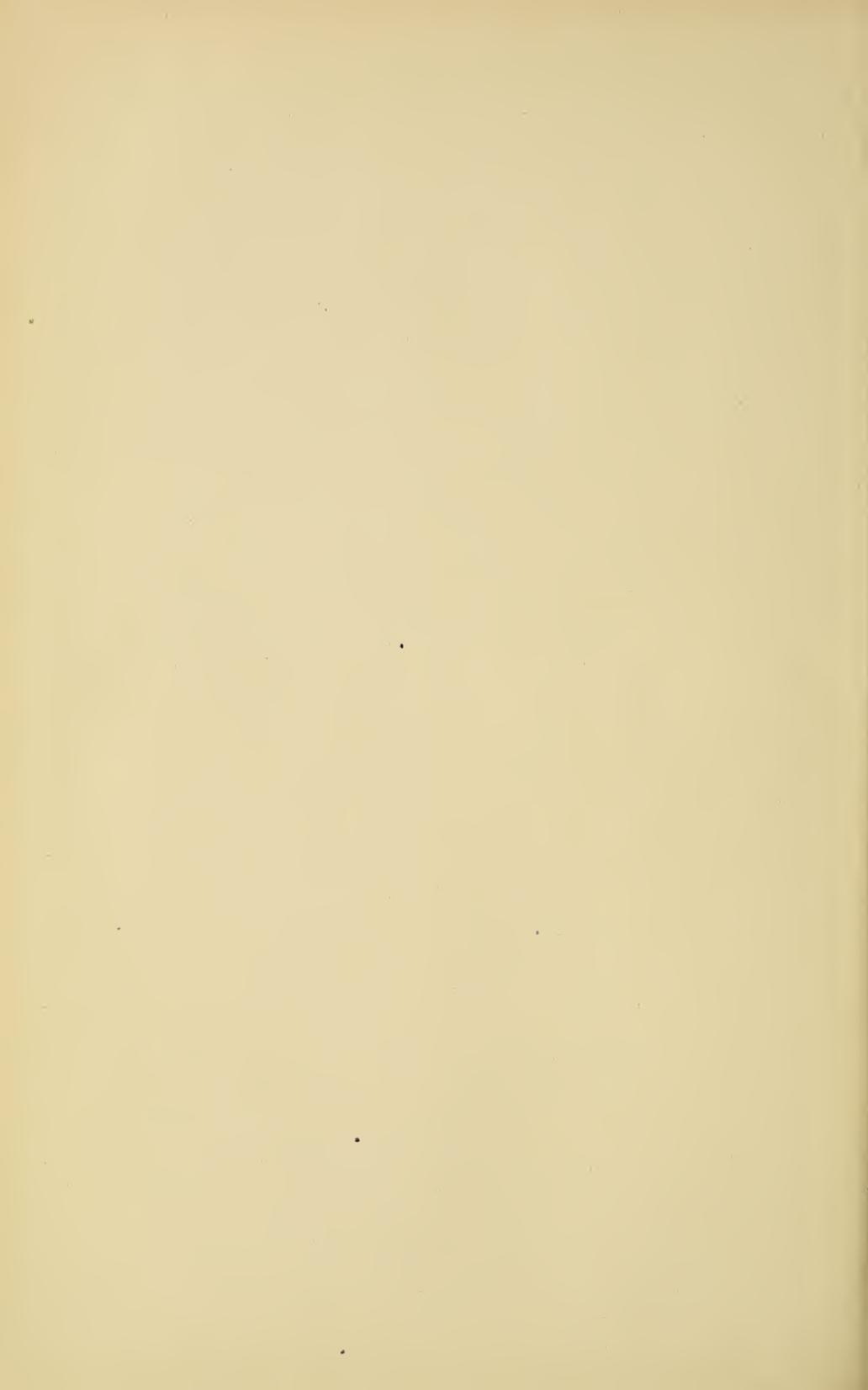
DU

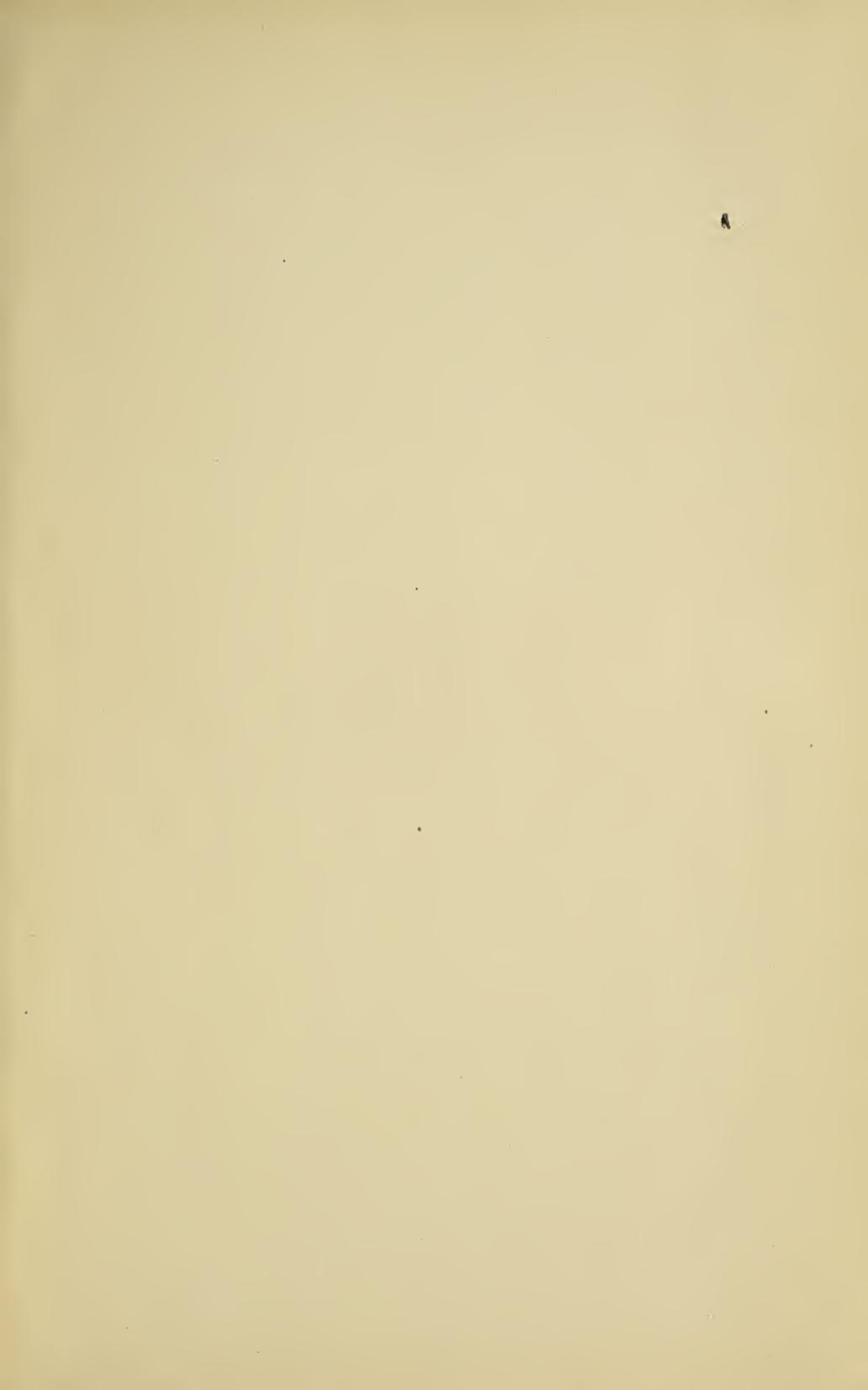
CANTON DE VAUD

Publié sous la direction de M. E. MOTTAZ

L'ouvrage formera 18 fascicules de 96 pages chacun. Prix de chaque fascicule, 2 fr. 50.

Les quatre premiers fascic., comprenant les articles A-CHATELARD, ont paru.









SMITHSONIAN INSTITUTION LIBRARIES



3 9088 01307 4364