

SÉANCE MENSUELLE DU 20 OCTOBRE 1942.

Présidence de M. C. CAMERMAN, vice-président.

M. E. MAILLIEUX, président en exercice, prie la Société d'excuser son absence.

La Société est informée que M. Ch.-L. Van Acker, ayant versé la somme de 1.125 francs pour rachat de ses cotisations, a acquis le titre de membre à vie.

Est proclamé membre effectif :

M. SERGE FONTAINAS, ingénieur civil des Mines, Binnenlaan, 100, à Waterschei; présenté par MM. F. Demanet et A. Renier.

Par suite de l'état de guerre, les vacances de 1942 se sont encore écoulées sans qu'il soit possible de tenir une session extraordinaire annuelle. Deux excursions d'une journée ont cependant eu lieu.

Le 12 septembre, la Société s'est rendue à Nevele et à Gand. Dans la matinée, elle a examiné, sous la conduite de M. R. Tavernier, les coupes mises à jour dans les travaux exécutés à Nevele pour l'élargissement du canal de Schipdonck; l'après-midi, elle a visité le laboratoire d'hydraulique de l'Université de Gand, sous l'aimable direction du professeur Tison, directeur de cet Institut.

Le 3 octobre, M. E. Dartevelle a conduit une excursion au remarquable gisement fossilifère d'âge lédien que constitue la carrière de Bambrugge-lez-Alost.

Dons et envois reçus :

De la part des auteurs :

9381 ... Ved W. C. Brøggers bortgang. Gravferd og minnemøte. Oslo, 1940, 106 pages.

9382 *De Beer, E.* Étude et essais des terres en laboratoire. Bruxelles, 1942, 34 pages, 25 figures et 1 planche.

- 9383 *Hoel, A.* Operations in Svalbard and East Greenland. Carried out by Norges Svalbard-og Ishavs-undersøkelser and earlier Norwegian expeditions. Oslo, 1939, 7 pages et 3 cartes.
- 9384 *Legrave, M.* Origine et formation des gisements d'or. Liège, 1942, 192 pages et 57 figures.
- 9385 *Oseen, C.-W.* Carl Wilhelm Scheele. Manuskript 1756-1777. Uppsala, 1942, 173 pages.

Communications des membres :

Le titre natronique,

par J. DELECOURT.

(Deuxième note) (*).

Lorsqu'il s'agit de comparer des eaux de provenances diverses et de concentrations fort différentes, qu'elles soient pluviales, marines, de bassins clos, fluviales ou souterraines, il devient intéressant de traduire les résultats d'analyses chimiques de telle sorte que les caractéristiques déterminant la dureté, l'alcalinité et la *natronicité* apparaissent indépendamment de la valeur du résidu sec.

Le but de cette deuxième note est de montrer à quels résultats imprévus on aboutit en procédant de la sorte.

I. — DU CARACTÈRE ANATRONIQUE DES EAUX MARINES CONTEMPORAINES.

Frank Wigglewoorth Clarke, dans un travail désormais classique ⁽¹⁾, a publié une série d'excellentes analyses d'eaux marines contemporaines. Le mode de transcription choisi est le pourcentage ionique.

(*) La première note est publiée dans le tome L (1940 et 1941) du *Bulletin*, pp. 152-166.

(1) FRANK W. CLARKE, The data of geochemistry, fourth edition (*U. S. Geol. Survey, Bull. 695, 1920, Government Printing Office, Washington*).

L'analyse des eaux de la Baltique, entre Oeland et Gothland, due à Schmidt, y est transcrite ainsi :

C 123 E ⁽²⁾.

Cl =	55,01
Br =	0,13
SO ⁴ =	8,00
CO ³ =	0,14
Na =	30,47
K =	0,96
Rb =	0,04
Ca =	1,67
Mg =	3,53
Fe, SiO ² , PO ⁴ =	0,05
<hr/>	
100,00	

Ce mode de notation exige de longs calculs pour permettre l'évaluation de la dureté calculée, du titre alcalimétrique et du titre natronique.

Le résidu sec ou, plus exactement, le total des matières anhydres dosées dans un litre d'eau s'élève à 7.215 mgr. dans le cas choisi ⁽³⁾.

Traduisons cette analyse en millivalences en négligeant Fe, SiO², PO⁴ ainsi que Rb en raison de très faibles pourcentages qu'ils atteignent. Nous obtenons :

m C 123 E ⁽⁴⁾.

m CO ³ =	0,34	m Ca =	6,03
m SO ⁴ =	12,03	m Mg =	21,23
m Cl =	111,80	m Na =	95,58
m Br =	0,12	m K =	1,77
<hr/>		<hr/>	
Σa =	124,29	Σb =	124,61

⁽²⁾ Les analyses de Clarke sont repérées par :

C, renvoyant à la quatrième édition de *The data of geochemistry*; 123, au numéro de la page;

E, à la lettre majuscule désignant l'analyse dans le tableau de la page 123.

Nous gagnons ainsi du temps et renvoyons le lecteur aux citations originales.

⁽³⁾ De la sorte la densité de l'eau n'intervient pas. Certaines analyses d'autres auteurs établissent la salinité par unité en poids du mélange, ce qui complique inutilement les calculs et prête, en outre, à confusion.

⁽⁴⁾ m C. 123 E. signifie : analyse C. 123 E. traduite en millivalences : m.

Le total des matières anhydres dissoutes *ou salinité* s'élève dans ce cas à 7.215 mgr. par litre de solution, ainsi que nous l'avons déjà dit.

Nous en tirons, par les calculs développés à la première note du titre natronique ⁽⁵⁾ :

$$\text{Th} = 136,30^\circ$$

$$\text{Ta} = 1,70^\circ$$

$$\text{Tn} = -72,85$$

Si nous captions par puits artésien une eau de composition semblable, nous la classerions comme provenant de la zone des eaux sursalées anatroniques ou des chlorures.

Elle est en effet très saline, anatronique, très chlorurée et fort dure. Elle possède en outre un titre alcalimétrique faible.

II. — DE L'UTILITÉ DE NOTATIONS NOUVELLES.

La salinité de l'eau de la Baltique est près de cinq fois plus faible que celle des eaux océaniques contemporaines. Pour comparer les eaux de la Baltique à d'autres eaux marines, supposons dans la pensée que nous puissions la diluer avec de l'eau distillée de telle sorte que le mélange ainsi réalisé contienne exactement en dissolution 50 millivalences acides balancées par 50 millivalences basiques par litre. Nous obtiendrons par l'analyse de cette eau ce que nous appellerons *une analyse en pourcentages de millivalences* ou plus simplement *une analyse spécifique*.

Nous réservons la majuscule M pour ces pourcentages ou *millivalences spécifiques*, alors que nous avons utilisé la minuscule m pour *les millivalences réelles* correspondant à la salinité propre des eaux.

L'analyse spécifique des eaux de la Baltique est dès lors :

M C 123 E ⁽⁶⁾.

$$\text{M CO}^3 = 0,14$$

$$\text{M SO}^4 = 4,84$$

$$\text{M Cl} = 44,97$$

$$\text{M Br} = 0,05$$

$$50,00$$

$$\text{M Ca} = 2,43$$

$$\text{M Mg} = 8,51$$

$$\text{M Na} = 38,35$$

$$\text{M K} = 0,71$$

$$50,00$$

⁽⁵⁾ J. DELECOURT, Le titre natronique (première note) (*Bull. Soc. belge Géol., Paléont. et Hydrol.*, t. L, 1940-1941, pp. 152-166).

⁽⁶⁾ MC. 123 E. désigne l'analyse spécifique traduite de l'analyse en millivalences : m C. 123 E.

Nous y ajoutons $S=7.215$ qui signifie que la salinité réelle de l'eau est de 7.215 mgr. par litre.

Appliquons maintenant cette méthode de notation à diverses analyses d'eaux marines classées par ordre de salinité croissante. Nous arrivons ainsi aux chiffres du tableau I. Nous y ajoutons une moyenne arithmétique de ces chiffres et la moyenne établie d'après celle de Dittmar obtenue à la suite de la croisière du Challenger (?).

TABLEAU I.
Analyses spécifiques d'eaux marines contemporaines.

N°	Repérage	M CO ³	M SO ⁴	M CL	M Br	M Ca	M Mg	M Na	Mk	S
1	Baltique MC 127 E	0,14	4,84	44,97	0,05	2,43	8,51	38,35	0,71	7.215
2	Mer Noire Q	0,44	4,51	44,99	0,06	2,03	8,84	38,27	0,86	20.000
3	Mer de Chine V	0,03	4,68	45,24	0,05	1,72	9,02	38,51	0,75	32.080
4	Atlantique C	0,17	4,76	45,00	0,07	1,83	8,87	38,51	0,79	32.420
5	Mer d'Irlande D	0,08	4,62	45,24	0,06	1,76	3,69	38,69	0,86	33.859
6	Golfe du Mexique G	0,33	4,56	45,05	0,06	1,77	8,66	38,76	0,81	35.490
7	Océan Indien W	0,05	4,70	45,20	0,05	1,67	8,85	38,83	0,65	36.100
8	Méditerranée N	0,19	4,76	44,98	0,07	1,78	8,81	38,60	0,81	38.789
9	Mer Rouge S	0,02	4,61	45,32	0,05	1,28	9,31	38,66	0,75	39.760
10	Canal de Suez R	0,01	4,63	45,31	0,05	1,51	8,77	39,25	0,47	51.030
11	Mer Rouge T	0,12	4,48	45,33	0,07	1,78	8,89	38,53	0,80	60.000
12	Moyenne 1 à 11	0,14	4,65	45,15	0,06	1,78	8,84	38,63	0,75	35.158
13	Moyenne de Dittmar A	0,20	4,64	45,09	0,07	1,73	8,98	38,47	0,82	35.000

Ces treize analyses spécifiques se ressemblent énormément et ne diffèrent en somme que par la salinité. Jules Cornet avait donc raison d'écrire : « La composition du contenu salin de l'eau des océans est régie par une loi remarquable : le rapport entre les divers constituants est toujours et partout le même, quel que soit le degré de concentration de l'eau » (8).

(7) *Challenger Rept, Physics and Chemistry*, vol. I, 1884, p. 203.

(8) JULES CORNET, *Géologie*, t. III, 1921, p. 41.

Mais nous pouvons maintenant ajouter qu'il en est de même pour les eaux de toutes les mers en communication avec l'océan, soit directement comme la Méditerranée et la mer d'Irlande, soit par l'intermédiaire d'une mer connectée directement ou indirectement à l'océan⁽⁹⁾. Ce dernier cas est notamment celui de la mer Noire.

Cherchons maintenant, au moyen d'analyses spécifiques, à établir les caractères de dureté, d'alcalinité et de natronicité.

III. — LES TITRES SPÉCIFIQUES.

L'analyse MC 123 E pourrait se rapporter à une eau qui aurait exactement 50 millivalences acides et 50 millivalences basiques. Pareille eau aurait une dureté totale calculée :

$$TH = 5 M Ca + 5 M Mg.$$

Son titre alcalimétrique serait

$$TA = 5 M CO^3.$$

Son titre natronique résulterait de l'équation

$$TN = 5 M Na + 5 M K - 5 M Cl - 5 M Br.$$

Nous avons réservé les notations Th, Ta et Tn pour les eaux à leur salinité réelle de 7.215 mgr./litre correspondant à 124,29 millivalences acides, balancées presque exactement dans l'exemple choisi par 124,61 millivalences basiques.

Les notations TH, TA et TN se rapporteront, au contraire, aux titres spécifiques de l'eau à la concentration de 50 millivalences acides balancées par 50 millivalences basiques.

Une analyse spécifique d'eau marine est donc caractérisée par

$$M CO^3 + M SO^4 + M Cl + M Br = 50 \quad I$$

et

$$M Ca + M Mg + M Na + M K = 50 \quad II$$

Les titres spécifiques des eaux qu'elle représente seront :

Dureté spécifique :

$$TH = 5 M Ca + 5 M Mg \quad III$$

Titre alcalimétrique spécifique :

$$TA = 5 M CO^3 \quad IV$$

(9) Il convient néanmoins de remarquer que M Ca a des valeurs comprises entre 1,28 et 2,43. Mais M Ca + M Mg est pratiquement constant ainsi que nous le verrons plus loin.

Titre natronique spécifique :

$$\text{TN} = 5 \text{ M Na} + 5 \text{ M K} - 5 \text{ M Cl} - 5 \text{ M Br} \quad \text{V}$$

De plus nous appellerons *titre halogénique spécifique*, que nous noterons TC, celui qui résulte des millivalences halogènes : chlore, brome, iode. Mais comme l'iode figure à l'état de trace, nous écrirons simplement

$$\text{TC} = 5 \text{ M Cl} + 5 \text{ M Br} \quad \text{VI}$$

Nous aurons par la suite à apprécier fréquemment la valeur du Tébé (TB). Ce titre spécifique est défini par

$$\text{TB} = 5 \text{ M Ca} - 5 \text{ M CO}^3 - 5 \text{ M SO}^4 \quad \text{VII}$$

Si TB est positif, il mesure en somme la part de la dureté spécifique qui revient aux composés halogéniques du calcium ou, plus simplement, au chlorure de calcium. Enfin, *la sulfatation spécifique* d'une eau pourra être spécifiquement exprimée par

$$\text{T SO}^4 = 5 \text{ M SO}^4 \quad \text{VIII}$$

On déduit facilement de ce qui précède des égalités de contrôle pour les analyses spécifiques. Ce sont :

$$\text{TC} + \text{TH} + \text{TN} = 250 \quad \text{IX}$$

$$\text{TN} + \text{TB} + 5 \text{ M Mg} = 0 \quad \text{X}$$

$$\text{TA} + \text{T SO}^4 + \text{TC} = 250 \quad \text{XI}$$

$$\text{TC} - \text{TB} + 5 \text{ M Ca} = 250 \quad \text{XII}$$

Ces déductions paraissent à première vue enfantines. Elles proviennent seulement d'un changement d'unités qui consiste en somme à substituer cinq degrés hydrotimétriques à un milli-équivalent. Mais la première note sur le titre natronique nous a déjà appris à connaître l'utilité de ce critère établi d'après le même changement de notation. La deuxième partie de cette étude va par la suite nous conduire à de bien curieuses observations s'appuyant notamment sur la notion du Tébé.

Notons en passant qu'il est facile d'établir les valeurs limites des titres spécifiques. D'où les relations :

$$0 \leq \text{TH} \leq + 250$$

$$0 \leq \text{TC} \leq + 250$$

$$0 \leq \text{TA} \leq + 250$$

$$0 \leq \text{T SO}^4 \leq + 250$$

$$-250 \leq \text{TN} \leq + 250$$

$$-250 \leq \text{TB} \leq + 250$$

Les quatre premiers titres, toujours positifs, valent donc de 0 à 250 degrés égaux aux degrés hydrotimétriques français alors que le titre natronique spécifique et le Tébé varient entre -250 et +250 de ces degrés.

IV. — LES TITRES SPÉCIFIQUES DES EAUX MARINES CONTEMPORAINES.

Utilisons les analyses spécifiques 1 à 13 à la détermination des titres spécifiques. Vérifions nos résultats par les relations de contrôle IX à XII. Nous obtenons :

TABLEAU II.

Titres spécifiques des eaux marines contemporaines.

N°	Repérage	TC	TH	TN	TA	TB	TSO ⁴
14	Baltique MC 127 E	225,10	54,70	-29,80	0,70	-12,75	24,20
15	Mer Noire Q	225,25	54,35	-29,60	2,20	-14,60	22,55
16	Mer de Chine V	226,45	53,70	-30,15	0,15	-14,95	23,40
17	Atlantique C	225,35	53,50	-28,85	0,85	-15,50	23,80
18	Mer d'Irlande D	226,50	52,25	-28,75	0,40	-14,70	23,10
19	Golfe du Mexique G	225,55	52,15	-27,70	1,65	-15,60	22,80
20	Océan Indien W	226,25	52,60	-28,85	0,25	-15,40	23,50
21	Méditerranée N	225,25	52,95	-28,20	0,95	-15,85	23,80
22	Mer Rouge S	226,85	52,95	-29,85	0,10	-16,70	23,05
23	Canal de Suez R	226,80	51,40	-28,20	0,05	-15,65	23,15
24	Mer Rouge T	227,00	53,35	-30,35	0,60	-14,10	22,40
25	Moyenne de 14 à 24	226,05	53,10	-29,15	0,70	-15,05	23,25
26	Moyenne de Dittmar A	225,80	53,55	-29,35	1,00	-15,55	23,20

Ces déterminations dérivent d'analyses de Dittmar, Schloesing, Thorpe, Norton, Schmidt, Steiger, Kolotoff et Naterer. Elles montrent tout d'abord la conscience professionnelle de ces chimistes réputés et l'exactitude des transcriptions de Clarke.

Elles caractérisent, d'autre part, dans des limites étroites les eaux marines contemporaines par leurs titres spécifiques.

Ces eaux possèdent :

- 1° Un titre halogénique très élevé et fort voisin de 226°;
- 2° Une dureté spécifique ne s'écartant assez sensiblement de 53° que dans des cas exceptionnels (Baltique, mer Noire et canal de Suez);
- 3° Un titre natronique spécifique toujours voisin de —29°;
- 4° Un titre alcalimétrique toujours extrêmement faible, mais assez variable pour des raisons que nous préciserons plus loin;
- 5° Un TSO⁴ toujours voisin de 23° ⁽¹⁰⁾;
- 6° Un Tébé toujours voisin de —15°.

Les eaux marines contemporaines sont donc non seulement anatroniques et sursalées mais elles possèdent des titres spécifiques pratiquement constants. Elles sont en outre fort peu carbonatées. *Elles correspondent toutes à des eaux sursalées anatroniques* ou de la zone des chlorures, mais dont le Tébé serait encore négatif.

V. — LA CONCENTRATION DES EAUX MARINES EN MARAIS-SALANT.

Les caractères de constance de la composition chimique des eaux marines contemporaines sont vérifiés par les analyses 1 à 11 et par les données sur les titres spécifiques numérotées 14 à 24. Dans ces limites, la salinité varie de 7.215 à 60.000 mgr. par litre d'eau analysée.

Usiglio a donné en 1849 des analyses se rapportant :

1° A l'eau marine prélevée devant Sète à quelques kilomètres de la côte et à un mètre de profondeur.

2° A l'eau mère des concentrations obtenues par évaporation dans l'air sec lorsque les densités étaient de 25, 30 et 35° Baumé.

On peut établir l'analyse spécifique des eaux de la Méditerranée d'après les chiffres d'Usiglio.

On obtient :

N° 27.			
M CO ³	= 0,18	M Ca	≅ 1,72
M SO ⁴	= 4,73	M Mg	= 8,43
M Cl	= 44,67	M Na	= 39,32
M Br	= 0,42	M K	= 0,53
	50,00		50,00
TC	= 225,45	TA	= 0,90
TH	= 50,75	TSO ⁴	= 23,65
TN	= —26,20	TB	= —15,95

(10) Le faible TSO⁴ de la mer Noire est une conséquence de la réduction en sulfures d'une partie des sulfates par des actions bacté-

Eu égard aux méthodes analytiques utilisées, il y a presque un siècle, ces résultats sont remarquablement exacts. Signalons toutefois une erreur importante dans le dosage du brome qui est d'ailleurs sans influence sur la somme $M\text{ Cl} + M\text{ Br}$ conduisant à l'expression du titre halogénique bien voisin de sa moyenne de 226°. Tous les autres titres spécifiques déduits de l'analyse paraissent exacts sauf la dureté spécifique qui est trop faible ⁽¹⁾.

Le calcul nous conduit aux chiffres du tableau III.

TABLEAU III.

Titres spécifiques des eaux concentrées de la Méditerranée d'après Usiglio.

N°	Degrés Baumé	Salinité	TC	TH	TN	TA	TB	TSO ⁴
27	Eau naturelle	38.626	225,45	50,75	-26,20	0,90	-15,95	23,65
28	25°	333.289	232,30	44,80	-27,10	0,00	-16,40	17,70
29	30°	426.200	206,10	115,40	-71,50	0,00	-43,90	43,90
30	35°	522.930	199,20	160,25	-109,45	0,00	-50,80	50,80

Ces chiffres sont pleins d'intérêt; ils montrent que la concentration des eaux marines ne modifie sensiblement les titres spécifiques qu'à partir de 25° Baumé, correspondant à une salinité 333.289 par litre.

Pour être plus précis, nous pourrions dire :

1° Qu'entre les salinités de 7.215 et de 154.898, correspondant à 14° Baumé et au dépôt des seuls oxydes de fer et carbonate du calcium, les titres spécifiques des eaux marines contemporaines naturelles ou concentrées restent pratiquement constants;

2° Qu'entre les salinités de 154.898 et 333.289, caractérisées par les densités Baumé variant entre 14 et 25°, les titres spécifiques varient faiblement, sauf le TSO⁴, en raison de la précipitation d'une partie du sulfate de calcium;

3° Qu'après 25° Baumé ces titres varient considérablement.

riennes bien connues. Les millivalences m S ou les millivalences M S devraient figurer ici parmi les acides. Le dosage du soufre des sulfures n'est pas donné par l'analyste.

⁽¹⁾ Cette dureté trop faible est peut-être imputable à la formation de calcaire par voie chimique constatée depuis très longtemps aux environs du delta du Rhône.

Nos lois de la constance des titres spécifiques des eaux océaniques contemporaines restent donc :

1° Complètement applicables pour des salinités comprises entre 7 gr. et 155 gr. par litre;

2° Approximativement applicables à quelques degrés près entre les salinités comprises entre 155 et 333 gr./litre, la première précédant de peu les premières précipitations de sulfate de chaux et la seconde annonçant la précipitation du chlorure de sodium.

Nous notons que pour les plus fortes concentrations les eaux deviennent :

- 1° De plus en plus spécifiquement dures;
- 2° De moins en moins spécifiquement halogéniques;
- 3° De plus en plus spécifiquement anatroniques;
- 4° De plus en plus spécifiquement sulfatées.

Nous remarquons en outre qu'entre les concentrations de 7 gr. à 523 gr. par litre, *le TB des eaux ne cesse d'être négatif*, ne croissant sensiblement en valeur absolue qu'à partir de la concentration de 333 gr. par litre.

Dans les limites déjà très étendues de nos expériences, *les eaux marines contemporaines possèdent donc toujours un Tébé négatif et sont toujours anatroniques.*

VI. — L'ANALYSE TYPE DES EAUX MARINES CONTEMPORAINES.

Entre les salinités comprises entre 7 gr. et 155 gr. par litre, l'eau marine contemporaine peut être caractérisée avec une approximation très suffisante par l'analyse spécifique type.

N° 31.

M CO ³ = 0,20	M Ca = 1,80
M SO ⁴ = 4,60	M Mg = 8,80
M Cl = 45,10	M Na = 38,60
M Br = 0,10	M K = 0,80
<hr style="width: 20%; margin: 0 auto;"/>	<hr style="width: 20%; margin: 0 auto;"/>
50,00	50,00

A cette analyse correspondent en effet les titres spécifiques :

TC = 226	TA = 1
TH = 53	TB = -15
TN = -29	T ³ SO ⁴ = 23

L'analyse ionique spécifique d'une eau marine de ce type à

100 millivalences dont 50 acides et 50 basiques deviendrait en milligrammes par litre :

N° 31.			
CO ³⁻⁻	=	6,00	
SO ⁴⁻⁻	=	220,80	
Cl ⁻	=	1.601,05	
Br ⁻	=	8,00	
		1.835,85	
			1.060,60

Salinité spécifique : $1.835,85 + 1.060,60 = 2.896,45$ mgr./litre.

Millivalence moyenne : $2.896,45 : 50 = 57,93$.

Il y aurait lieu d'ajouter, pour obtenir le résidu sec anhydre, le poids de tous les éléments que l'on trouve à l'état de traces dans les eaux océaniques. Nous ne tiendrons pas compte de ces traces dans les calculs qui suivront.

A la concentration de $12 \times 2.896,45$, correspondant à peu près à la salinité moyenne des eaux marines contemporaines, nous obtenons l'analyse *en millivalences* suivante :

N° 32.			
m CO ³	=	2,40	
m SO ⁴	=	55,20	
m Cl	=	541,20	
m Br	=	1,20	
		600,00	
			600,00

à laquelle correspondent :

$$\text{Th} = 636^\circ$$

$$\text{Ta} = 12^\circ$$

$$\text{Tn} = -348^\circ$$

et salinité $12 \times 2.896,45 = 34.757,40$ mgr./litre.

Le groupement des éléments du *résidu sec* est facilité par les notions du titre natronique et du Tébé.

Le TB étant négatif, il serait peu raisonnable d'admettre que le *résidu sec* contient du chlorure de calcium. Les expériences d'Usiglio montrent d'ailleurs que tous les sels calciques précipitent à l'état de carbonate et de sulfate et que cette précipitation une fois faite, les eaux mères ne contiennent plus de calcium en traces appréciables. L'*anatronicité* de l'eau ne peut donc se traduire qu'en sels anatroniques magnésiens. D'autre part, il serait peu logique d'admettre dans le groupement des

sels natroniques Na^2CO^3 , K^2CO^3 , SO^4Na^2 et SO^4K^2 car ceux-ci réagiraient pendant l'ébullition sur des sels anatroniques. Enfin Usiglio a déterminé la succession des dépôts dus à la concentration des eaux : CaCO^3 , puis CaSO^4 , puis ensemble NaCl , MgCl^2 , MgSO^4 et enfin, après 35° Baumé, la formation des sels double ou triple. Dans le cas qui nous occupe, en portant la totalité de l'anatronicité sur le chlorure de magnésium, nous obtenons :

N° 34.

CaCO^3	=	120,00
CaSO^4	=	1.305,60
NaCl	=	27.097,20
MgSO^4	=	2.160,00
MgCl^2	=	3.306,00 (sel anatronique)
KCl	=	625,80
KBr	=	142,80

34.757,40 mgr./litre

Ce groupement n'a de signification que si le résidu sec est obtenu par *ébullition*. Il reproduit néanmoins assez exactement les chiffres obtenus par Usiglio évaluant le poids de certains sels déposés par *évaporation* avant 35° Baumé.

	N° 34.	Usiglio,
CaCO^3 . . .	120,00	117,20
CaSO^4 . . .	1.305,60	1.399,04
NaCl . . .	27.097,20	27.107,40

VII. — DE LA CLASSIFICATION DES EAUX D'APRÈS LES TITRES SPÉCIFIQUES : TA, TC ET TSO⁴.

Nous venons d'examiner les eaux marines contemporaines et nous avons pu conclure que leur composition chimique *spécifique* est pratiquement constante entre des limites de salinité déjà très étendues.

Examinons comment nous pouvons appliquer les notations nouvelles aux eaux continentales superficielles ou souterraines. En réalité les millivalences spécifiques M Ca , M Mg , M Na , M K , M CO^3 , M SO^4 , M Cl subsistent. Mais il n'est généralement plus nécessaire de tenir compte des millivalences spécifiques M Br qui s'annulent pratiquement. Par contre, pour les eaux superficielles, il devient souvent utile d'introduire dans

les calculs les nitrates et par conséquent les millivalences spécifiques MNO^3 .

Dans ces conditions, les équations déterminant les caractéristiques spécifiques des eaux continentales sont :

$$M CO^3 + M SO^4 + M Cl + M NO^3 = 50$$

$$M Ca + M Mg + M Na + M K = 50$$

$$TH = 5 M Ca + 5 M Mg$$

$$TA = 5 M CO^3$$

$$TN = 5 M Na + 5 M K - 5 M Cl$$

$$TC = 5 M Cl$$

$$TB = 5 M Ca - 5 M CO^3 - 5 M SO^4 - 5 M NO^3$$

$$T SO^4 = 5 M SO^4$$

On en tire

$$TA + TC + T SO^4 + 5 M NO^3 = 250$$

XIII

L'équation XIII s'applique aussi bien aux eaux marines qu'aux eaux continentales. Dans le premier cas $5 M NO^3$ s'annule pratiquement et TC devient $5 M Cl + 5 M Br$. Dans le second c'est $5 M Br$ qui est pratiquement nul. De toute façon $5 M NO^3$ est de valeur relativement faible vis-à-vis du total $TA + TC + T SO^4$.

Ce total est donc toujours assez voisin de 250.

Une eau quelconque continentale de surface ou souterraine, marine, de mer intérieure, de lac à émissaire ou à bassin fermé, pourra dès lors être classée d'après l'importance relative des titres TA, TC et $T SO^4$ dont la somme est voisine de 250°.

Nous appellerons *eaux chlorurées* celles pour lesquelles TC est égal ou supérieur à 125°. Enfin les *eaux carbonatées* ou, plus exactement, *bicarbonatées* auront un TA égal ou supérieur à 125°.

Si aucun de ces caractères n'apparaît dans l'analyse spécifique d'une eau, c'est-à-dire si TA, TC et $T SO^4$ sont tous inférieurs à 125°, nous dirons que l'eau est *mixte* et nous la caractériserons mieux encore en indiquant le plus élevé de ces titres. Nous aurons ainsi défini une *mixte chlorurée* par les conditions

$$T SO^4 < TA < TC < 125^\circ \quad \text{ou} \quad TA < T SO^4 < TC < 125^\circ.$$

De ces notions, nous déduisons que *l'eau marine contemporaine est une eau chlorurée anatronique dont le Tébé est négatif.*

VIII. — DU CARACTÈRE NATRONIQUE DES EFFLUENTS CONTINENTAUX.

Le travail de Clarke fournit 162 analyses d'eaux de rivières ou de lacs à émissaire de l'Amérique du Nord. Parmi celles-ci 161 sont natroniques. Sur 104 eaux européennes examinées dans la même étude, quatre seulement sont anatroniques.

On pourrait étendre les recherches à d'autres analyses d'eau de rivière et de fleuve et renforcer l'opinion qui résulte de ces premières constatations.

Nous en concluons que l'ensemble des fleuves amène à l'océan une masse aqueuse, un effluent, de caractère natronique.

Sir John Murray, se basant sur les résultats de 19 analyses plus ou moins complètes d'eaux courantes, européennes pour la plupart, avait dès 1889 donné une première estimation de l'effluent continental moyen. Nous en donnons l'analyse spécifique d'après les transcriptions en pourcentages ioniques de Clarke. On trouve ainsi :

N° 35. — MC. 115 G.

M CO ³	= 41,80	M Ca	= 32,06
M SO ⁴	= 5,20	M Mg	= 12,14
M Cl	= 1,58	M Na	= 4,73
M NO ³	= 1,42	M K	= 1,07
	<hr/>		<hr/>
	50,00		50,00
TH	= 221,00	TA	= 209,00
TC	= 7,90	TB	= -81,80
TN	= 21,10	TSO ⁴	= 26,00

Clarke a fait beaucoup mieux. Utilisant les résultats des analyses publiées dans *The data of Geochemistry* et les données de Dole et Stabler relatives à la quantité de matières dissoutes par voie chimique par unité de surface d'un bassin alimentaire, il est parvenu en somme à faire intervenir les différentes eaux au prorata du débit qu'elles apportent à l'effluent.

Les données de Clarke traduites en pourcentage de millivalences et les titres spécifiques qui en résultent apparaissent aux tableaux IV et V.

TABLEAU IV.
Analyses spécifiques d'effluents continentaux.

N°	Repérage	M CO ³	M SO ⁴	M Cl	M NO ³	M Ca	M Mg	M Na	M K
36	Amérique du Nord MC115 A ⁽¹²⁾	33,53	9,61	6,31	0,55	27,76	11,64	9,30	1,30
37	Amérique du Sud	B 37,65	6,40	5,63	0,32	33,07	7,54	7,64	1,75
38	Europe	C 39,37	7,36	2,86	0,41	35,87	6,06	5,88	2,19
39	Asie	D 36,83	8,19	4,51	0,47	32,03	8,60	7,84	1,53
40	Afrique	E 37,88	6,27	5,53	0,32	32,84	7,72	7,36	2,08
41	Moyenne de Clarke	F 36,64	7,91	5,01	0,44	31,68	8,82	7,82	1,68
42	Moyenne de 37 à 40	37,93	7,06	4,63	0,38	33,45	7,48	7,18	1,89

TABLEAU V.
Titres spécifiques des effluents continentaux.

N°	Repérage	Th	TC	TN	TA	TB	TSO ⁴
43	Amérique du Nord MC115 A	197,00	31,55	21,45	167,65	-79,65	48,05
44	Amérique du Sud	B 203,05	28,15	18,80	188,25	-56,50	32,00
45	Europe	C 209,65	14,30	26,05	196,85	-56,35	36,80
46	Asie	D 203,15	22,55	24,30	184,15	-67,30	40,95
47	Afrique	E 202,80	27,65	19,55	189,40	-58,15	31,35
48	Moyenne de Clarke	F 202,50	25,05	22,45	183,20	-66,55	39,55
49	Moyenne de 44 à 47	204,65	23,15	22,20	189,65	-59,60	35,30

Certes, ces différents chiffres présentent des variations beaucoup plus considérables que ceux établis avec les mêmes nota-

(12) Le balancement de l'analyse 36, MC. 115 A laisse à désirer, vraisemblablement en raison d'une erreur de transcription qui s'est reproduite dans les éditions successives de *The data of geochemistry*. C'est pourquoi nous établissons la moyenne 42, qui ne tient pas compte de l'analyse 36, et la mettons en regard de celle de Clarke.

tions pour les eaux marines contemporaines. Ils montrent néanmoins :

1° Que les effluents de chaque continent fournissent des eaux franchement carbonatées puisque

$$167,65 \leq TA \leq 196,85$$

2° Que ces eaux sont natroniques puisque TN est toujours positif :

$$18,80 \leq TN \leq 26,05$$

3° Que la dureté spécifique des eaux de ces effluents ne s'écarte pas beaucoup de 203°.

A l'opposé des eaux marines contemporaines, qui sont chlorurées et anatroniques, les effluents continentaux apportent à l'océan des eaux carbonatés natroniques; somme toute, *les effluents continentaux considérés dans leur ensemble déversent dans l'océan, des eaux dont le mélange présente tous les caractères des eaux bicarbonatées artésiennes captées au début de la zone des échanges de bases.*

Ces eaux sont en outre caractérisées par une dureté spécifique supérieure au titre alcalimétrique spécifique.

Enfin, toutes ces eaux possèdent un TSO⁴ supérieur au titre natronique, ce qui, en somme, permet d'attribuer la natronicité aux sulfates de sodium et de potassium, sans qu'il soit nécessaire de faire figurer les bicarbonates de soude et de potassium dans les éléments du résidu sec.

IX. — L'ANALYSE TYPE DE L'EFFLUENT CONTINENTAL MOYEN CONTEMPORAIN.

Des tableaux IV et V, on déduit, en tenant compte de la moyenne de Clarke, une analyse spécifique type en chiffres arrondis de l'effluent continental moyen. On obtient ainsi :

N° 50.	
M CO ³ = 37,00	M Ca = 32,60
M SO ⁴ = 7,60	M Mg = 8,00
M Cl = 5,00	M Na = 7,60
M NO ³ = 0,40	M K = 1,80
50,00	50,00
TH = 203°00	TA = 185°00
TC = 25°00	TB = -62°00
TN = 22°00	TSO ⁴ = 38°00

L'analyse ionique spécifique correspondant à ces chiffres donne en milligrammes par litre :

CO^{3--}	= 1.110,00	Ca^{++}	= 652,00
SO^{4--}	= 364,80	Mg^{++}	= 96,00
Cl^-	= 177,50	Na^+	= 174,80
NO^{3-}	= 24,80	K^+	= 70,20
	<hr/>		<hr/>
	1.677,10		993,00

Salinité spécifique : $S = 1.677,10 + 993,00 = 2.670,10$.

Millivalence moyenne : $2.670,10 : 50 = 53,40$.

La salinité réelle de l'effluent moyen est inconnue, nous ne connaissons que la salinité spécifique. Il semble que cette salinité réelle est inférieure à 200 mgr./litre.

Nous ne pouvons donc pas grouper les éléments du résidu sec, puisqu'il nous est inconnu, mais nous pouvons raisonner, symboliquement, dirons-nous, sur l'analyse spécifique et les valeurs ioniques qu'elle traduit en supposant que tous les corps dosés sont solubles dans l'eau à la concentration de 2.670,10 mgr./litre. Ceci serait vrai pour le résidu réel, mais ne l'est plus nécessairement pour la salinité spécifique, certaines limites de solubilité étant dépassées ⁽¹³⁾.

Nous obtenons sous cette réserve :

N° 51.

Ca SO^4	= 244,80	
CO CO^3	= 1.450,00	
Mg CO^3	= 336,00	
Na Cl	= 292,50	
$\text{SO}^4 \text{ Na}^2$	= 184,60	} sels natroniques
$\text{SO}^4 \text{ K}^2$	= 121,80	
$\text{NO}^3 \text{ K}$	= 40,40	

Salinité spécifique . . . 2.670,10

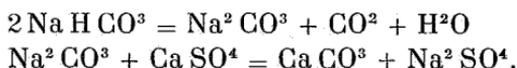
Millivalence moyenne . 2.670,10 : 50 = 53,40.

(13) A la salinité spécifique, l'eau ne pourrait dissoudre, à l'état de bicarbonate, 1.450 mgr. de Ca CO^3 et 336 mgr. de Mg CO^3 . Mais nous raisonnons symboliquement parce que nous ignorons le résidu sec réel de l'effluent continental. A la salinité réelle inférieure à 200 mgr./litre, les limites de solubilité de Ca CO^3 et Mg CO^3 dissous à l'état de bicarbonates ne sont pas atteintes, et ces sels restent en dissolution.

Cette analyse interprétée est beaucoup moins conventionnelle qu'on pourrait le croire. En effet :

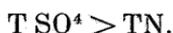
1° L'eau étant natronique, il serait peu logique de supposer que le *résidu sec* contient des sels anatroniques : chlorure de magnésium et moins encore chlorure de calcium, puisque le Tébé est négatif;

2° Les sels natroniques apparaissent ici principalement sous la forme de sulfates. Il serait mal venu de les apprécier en bicarbonates, car pendant l'ébullition destinée à produire le résidu sec il se produirait les réactions synthétisées par



S'il y avait du bicarbonate de soude en solution dans l'eau, il serait transformé, pendant l'ébullition conduisant au résidu sec, en sulfate, au détriment du sulfate de calcium.

La réserve de SO^4 contenue dans le sulfate de calcium est suffisante pour que la transformation en sulfate de sodium soit complète, parce que l'eau est aussi caractérisée par



Les caractéristiques spécifiques des eaux marines contemporaines et de l'effluent continental moyen nous sont maintenant bien connues, ce qui va nous permettre d'aborder de nouveaux problèmes.

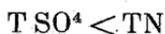
X. — LA CONCENTRATION DES EAUX NATRONIQUES EN BASSIN GLOS.

Les analyses spécifiques des différents effluents continentaux examinés et les moyennes qui en résultent font toutes apparaître la condition $\text{T SO}^4 > \text{TN}$, dans laquelle TN est positif, puisque ces effluents sont natroniques.

Dans ce cas, après avoir attribué toute la *natronicité* aux sulfates de sodium et de potassium, il reste encore un excès d'équivalents SO^4 que l'on peut attribuer au calcium.

Mais si une eau natronique possède un T SO^4 inférieur au titre natronique, nous devons en inférer que du sodium ou du potassium sont combinés non seulement à l'état de chlorure et de sulfate, mais encore aux radicaux CO^3-- et NO^3-- .

La condition



implique donc quand l'eau est natronique et TN par conséquent positif, qu'elle contient non seulement du chlorure et du sulfate

de sodium et de potassium, mais encore des nitrates et bicarbonates de ces métaux. Pour que l'eau contienne *certainement* des bicarbonates alcalins il faut que

$$5 M SO^4 + 5 M NO^3 < TN.$$

Cette expression peut s'écrire

$$5 M CO^3 + 5 M SO^4 + 5 M Cl + 5 M NO^3 < 5 M Na + 5 M K - 5 M Cl + 5 M Cl + 5 M CO^3,$$

ou encore

$$250 < 5 M Na + 5 M K + 5 M CO^3,$$

ou

$$5 M Ca + 5 M Mg + 5 M Na + 5 M K < 5 M Na + 5 M K + 5 M CO^3,$$

qui se réduit à

$$5 M Ca + 5 M Mg < 5 M CO^3,$$

ou enfin à

$$TH < TA.$$

Dès lors, si des eaux natroniques se concentrent dans un bassin clos, deux cas peuvent se présenter :

1° Si $TA > TH$ il y aura *certainement* à concentration suffisante dépôt de carbonates alcalins et formation d'un *lac natron*;

2° Si $TA < TH$ il y aura au contraire, à concentration suffisante, dépôt de sulfates alcalins et formations d'un *lac à mirabilite*, sans qu'à concentration plus élevée encore *il doive* y avoir dépôt de carbonates alcalins. Nous allons examiner les deux cas en utilisant des exemples numériques. Faisons remarquer auparavant que si l'effluent continental *moyen* est caractérisé par $TA < TH$ il n'en existe pas moins dans tous les continents des fleuves dont les eaux sont caractérisées par l'inégalité $TA > TH$.

XI. — LA GENÈSE DES LACS NATRONS.

La traduction *en millivalences* de l'analyse des eaux du Nil Blanc près de Khartoum (m C 105 B) est la suivante :

N° 52.

m CO ³ = 2,49	m Ca = 0,61	Th = 5°25
m SO ⁴ = 0,01	m Mg = 0,44	Ta = 12°45
m Cl = 0,21	m Na = 1,34	Tn = 7°10
m NO ³ = 0,01	m K = 0,30	

$$S = 174 \text{ mgr./litre}$$

$$\Sigma a = 2,72$$

$$\Sigma b = 2,69$$

Nous vérifions sans peine que l'eau est natronique et que la dureté totale est inférieure au titre alcalimétrique.

Cette eau ne diffère guère d'une eau artésienne captée dans la zone des eaux douces sodiques. Elle ressemble aussi à une eau natronique douce acide ⁽¹⁴⁾.

Les éléments de l'analyse ne nous permettent pas de préciser l'origine de l'eau, car nous ignorons la valeur du titre agressif. Nous ne pouvons donc connaître si les sels natroniques sont produits par des échanges de bases avec des corps à fonctions zéolitiques ou par l'altération de silicates décomposables ⁽¹⁴⁾.

Établissons donc sans idées préconçues à cet égard l'analyse spécifique de notre eau. Nous obtenons :

N° 53. — MC. 105 B.

M CO ³	= 45,78	M Ca	= 11,33
M SO ⁴	= 0,18	M Mg	= 8,18
M Cl	= 3,86	M Na	= 24,91
M NO ³	= 0,18	M K	= 5,58
	<hr/>		<hr/>
	50,00		50,00
TH	= 97°55	TA	= 228°70
TC	= 19°30	TB	= -230°70
TN	= 133°15	TSO ⁴	= 0°90

L'analyse ionique correspondante se traduit par :

N° 54.

CO ³⁻⁻	= 1.373,40	Ca ⁺⁺	= 226,60
SO ⁴⁻⁻	= 8,64	Mg ⁺⁺	= 98,16
Cl ⁻	= 137,03	Na ⁺	= 572,93
NO ³⁻	= 11,16	K ⁺	= 217,62
	<hr/>		<hr/>
	1.530,23		1.115,31

Salinité spécifique : 1.530,23 + 1.115,31 = 2.645,5 mgr./litre.

⁽¹⁴⁾ *Le titre natronique*, première note, pp. 162 et 163.

Le groupement des éléments du résidu sec à la *salinité spécifique* nous donne sous les réserves déjà formulées :

N° 55.

Ca CO ³	=	566,50	
Mg CO ³	=	343,56	
Na Cl	=	225,81	
Na ² CO ³	=	1.106,11	} sels natroniques
Na ² SO ⁴	=	12,78	
K ² CO ³	=	372,60	
NO ³ K	=	18,18	

2.645,54 mgr./litre

Le groupement des sels contenus dans *l'eau* et non dans le *résidu sec*, n'aurait aucune signification. Nous ignorons en effet comment se font les combinaisons dans une solution déjà aussi complexe. Il faudrait en outre faire la part de l'ionisation, de l'hydrolyse de certains sels et aboutir à des équilibres chimiques variables avec la température et la pression. Ceci dit, supposons que l'eau étudiée alimente seule un lac de bassin clos. Elle va s'y concentrer.

A une concentration suffisante presque tous les bicarbonates des cations Ca et Mg vont précipiter à l'état de carbonates simples ou doubles. Nous aurons alors :

N° 56.

Précipité :

M CO ³	=	19,51	M Ca	=	11,33
			M Mg	=	8,18
	————	19,51			————
					19,51

En solution

M CO ³	=	26,27	M Ca	=	traces
M SO ³	=	0,18	M Mg	=	traces
M Cl	=	3,86	M Na	=	24,91
M NO ³	=	0,18	M K	=	5,58
	————	30,49			————
					30,49
	————	50,00			————
					50,00

Il y aura donc précipitation de 752,56 mgr. de dolomie ⁽¹⁵⁾ et de 157,50 mgr. de calcaire ou, plus simplement, de 910,06 mgr. de calcaire magnésien pour 100 équivalents (50 acides, 50 basiques) contenus dans l'eau d'alimentation. Mais nous obtiendrons la composition de l'eau du lac de l'analyse spécifique n° 56 en multipliant les différentes estimations des millivalences spécifiques en solution par 50,00 : 30,49.

D'où :

N° 57.	
M CO ³ = 43,08	M Ca = traces
M SO ⁴ = 0,30	M Mg = traces
M Cl = 6,33	M Na = 40,85
M NO ³ = 0,29	M K = 9,15
—————	—————
50,00	50,00
TH = 0,00	TA = 215,40
TC = 31,65	TB = -216,90
TN = 218,35	TSO ⁴ = 1,50

Supposons maintenant la concentration à un stade plus avancé. Le bicarbonate de sodium de l'eau, moins soluble et plus abondant que le chlorure de sodium, doit déposer avant lui dans le cas examiné. Mais le *dépôt* ne sera pas composé de bicarbonate de soude, parce qu'à la température élevée des régions à forte évaporation, ce bicarbonate sera transformé en carbonates plus ou moins hydratés. Il y aura donc dépôt sur le fond du lac ou efflorescence sur ses bords de carbonates divers :

Trona : $\text{Na HCO}^3 \cdot \text{Na}^2 \text{CO}^3 2 \text{H}^2\text{O}$.

Natron : $\text{Na}^2 \text{CO}^3 10 \text{H}^2\text{O}$.

Thermonatrite : $\text{Na}^2 \text{CO}^3 \text{H}^2\text{O}$.

Mais en saison humide ou en périodes humides, les eaux d'alimentation atteindront à nouveau le lac. Elles y conduiront des limons, des vases qui se mélangeront au calcaire magnésien à nouveau précipité avec formation éventuelle de composés rares tels que :

Pieressonite : $\text{Na}^2 \text{CO}^3 \text{Ca CO}^3 2 \text{H}^2\text{O}$.

Gaylussite : $\text{Na}^2 \text{CO}^3 \text{Ca CO}^3 5 \text{H}^2\text{O}$.

Puis une nouvelle saison ou période sèche succédera, au cours

⁽¹⁵⁾ Ou d'un carbonate double de calcium et de magnésium n'ayant pas nécessairement les propriétés minéralogiques de la dolomite, tout au moins au moment de son dépôt.

de laquelle s'effectueront de nouveaux dépôts de carbonates de sodium, jusqu'au moment où la concentration sera suffisante pour que le chlorure ou le sulfate de sodium déposent dans un ordre qui dépendra du rapport pondéral de leurs constituants dans l'eau d'alimentation. Dans le cas présent il est clair que le chlorure précipitera avant le sulfate.

A partir du moment où le chlorure de sodium déposera en saison sèche, ce ne sera plus du carbonate pur qui cristallisera sur le fond du lac, mais un mélange de carbonates et de chlorure auquel viendront ensuite s'ajouter, toujours dans le cas présent, un peu de sulfate de soude.

Enfin, sous l'influence de concentrations plus élevées encore les sels de potassium et *les nitrates* pourront cristalliser si l'alimentation du lac vient à s'annuler pratiquement pendant de longues périodes.

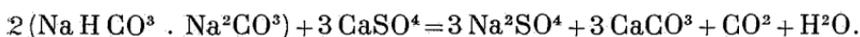
Pour que les sels de potassium et les nitrates puissent cristalliser, il faut en outre que les eaux mères ne trouvent pas le moyen d'émigrer dans le sous-sol.

Remarquons, d'autre part, que gypse ou anhydride ne peuvent déposer sur le fond d'un lac natron.

En effet, même si du sulfate de calcium est maintenu en équilibre chimique dans les eaux d'alimentation, il sera repris dans le lac suivant les réactions



ou



Il y aura dépôt de carbonate de calcium et formation de sulfate de sodium.

Il existe donc des gisements salins exempts de gypse et d'anhydrite.

Le remplissage normal d'un lac natron s'effectue dans l'ordre suivant :

- 1° Calcaires, calcaires magnésiens et dolomie;
- 2° Carbonates, chlorure et sulfate de sodium, purs ou en mélange suivant l'importance relative des millivalences CO^3 , Cl et SO^4 de l'eau d'alimentation.
- 3° Sels de potassium et nitrates en mélange avec les précédents.

Il ne peut exister de sels de magnésium dans le dépôt comprenant les sels potassiques.

Pour que ces dépôts contiennent aussi du sulfate ou du chlo-

rure de magnésium (sel anatronique) il faut en effet que l'eau d'alimentation soit caractérisée par

$$M \text{ Mg} > M \text{ CO}^3.$$

Or la condition régissant la formation d'un lac natron est

$$\text{TH} < \text{TA}$$

ou

$$5 M \text{ Mg} + 5 M \text{ Ca} < 5 M \text{ CO}^3.$$

Ces deux conditions sont incompatibles.

Les divers stades de concentration sont déterminés par des conditions climatiques extrêmement arides et une évaporation intense. Mais ils sont dominés par la composition chimique de l'eau d'alimentation vérifiant l'inégalité $\text{TH} < \text{TA}$.

XII. — LA GENÈSE DES LACS A MIRABILITE.

Examinons maintenant le second cas, celui où $\text{TA} < \text{TH}$. Prenons comme exemple numérique l'analyse de l'eau de la rivière Laramie à 20 miles en amont de Laramie (Wyoming). Nous obtenons :

N° 58. — MC. 80 G.

M CO ³ = 20,25	M Ca = 23,37
M SO ⁴ = 24,22	M Ma = 13,18
M Cl = 5,52	M Na = 11,89
	M K = 1,56
50,00	50,00

S = 429 mgr./litre.

TH = 182,75	TA = 101,30
TC = 27,60	PB = -105,55
TN = 39,65	TSO ⁴ = 121,10

Ces résultats définissent *une mixte sulfatée natronique* puisque $\text{TC} < \text{TA} < \text{T SO}^4 < 125^\circ$. La condition $\text{TH} > \text{TA}$ est facile à vérifier.

L'analyse ionique spécifique est, dans ces conditions :

CO ³⁻⁻ = 607,80	Ca ⁺⁺ = 467,40
SO ⁴⁻⁻ = 1.162,56	Mg ⁺⁺ = 158,16
Cl ⁻ = 195,96	Na ⁺ = 273,47
	K ⁺ = 60,84
1.966,32	959,87

Salinité spécifique : $1.966,32 + 959,87 = 2.926,19$.

Millivalence moyenne : $2.926,19 : 50 = 58,52$.

Cherchons maintenant la composition du résidu sec à la salinité spécifique.

TH est supérieur à TA; donc le résidu doit contenir des sels calciques ou magnésiens autres que les carbonates. Nous ne pouvons admettre la présence de chlorure de magnésium, puisque les eaux sont natroniques, moins encore celle du chlorure de calcium, puisque le TB est négatif; donc le résidu sec contiendra du sulfate de calcium.

Nous avons déjà signalé pourquoi la natronicité doit être évaluée en sulfates.

Dès lors le groupement des éléments du résidu sec spécifique devient :

N° 59.

Ca SO ⁴	=	1.107,72
Ca CO ³	=	354,00
Mg CO ³	=	553,56
Na Cl	=	231,66
K Cl	=	116,22
Na ² SO ⁴	=	563,03 (sel natronique)

2.926,19

Si un lac de bassin clos reçoit uniquement une eau semblable, il est facile de comprendre qu'à concentration croissante se déposeront d'abord les carbonates de calcium et de magnésium, peut-être partiellement sous forme de dolomie (15).

Puis le sulfate de calcium précipitera presque entièrement sur le fond du lac. A ce moment, nous aurons à peu près :

Précipité :

N° 60.

M CO ³	=	20,26	M Ca	=	23,37
M SO ⁴	=	16,29	M Mg	=	13,18
		<hr/> 36,55			<hr/> 36,55

En solution :

M CO ³	=	traces	M Ca	=	traces
M SO ⁴	=	7,93	M Mg	=	traces
M Cl	=	5,52	M Na	=	11,89
		<hr/> 13,45	M K	=	1,56
		<hr/> 50,00			<hr/> 13,45
					<hr/> 50,00

Il y aura donc dépôt par litre d'eau à la composition spéci-

fique de 907,56 mgr. de calcaires magnésiens et de magnésite qui seront recouverts d'une couche de gypse correspondant à 1.107,72 mgr. de sulfate anhydre de calcium.

A ce moment l'eau du lac aura une composition spécifique obtenue en multipliant par 50: 13,45 les chiffres des matières en solution établies par l'analyse n° 60. On aura ainsi :

N° 61.

M CO ³ = traces	M Ca = traces
M SO ⁴ = 29,48	M Mg = traces
M Cl = 20,52	M Na = 44,20
	M K = 5,80
50,00	50,00
TH = 0,00	TA = 0,00
TC = 102,60	TB = -147,40
TN = 147,40	TSO ⁴ = 147,40

Si la concentration devient plus forte, il est facile de démontrer, dans le cas qui nous occupe, que le sulfate de sodium cristallisera avant le chlorure de sodium. Mais comme ce sulfate a une solubilité très variable et d'autant plus élevée que la température est forte, c'est en saison froide que les premiers dépôts de mirabilite ($\text{Na}^2\text{SO}^4\cdot 10\text{H}^2\text{O}$) atteindront le fond du lac (¹⁶).

A la saison ou à la période humide suivante, ils seront partiellement redissous et recouverts par une couche de limon, vase, de calcaires magnésiens, de magnésite et de gypse.

Puis inlassablement les mêmes phénomènes se produiront jusqu'au moment où le chlorure sodique précipitera, d'abord avec le sulfate, puis seul. Enfin, après dépôt des sels sodiques, il est probable que les sels potassiques se déposeront à l'état de sylvinite, puis de sylvite (K Cl).

XIII. — LA CONCENTRATION DE L'EFFLUENT CONTINENTAL MOYEN.

Reprenons l'analyse spécifique de l'effluent continental moyen (n° 50). Mais pour éviter toute discussion au sujet de la solubilité de certains sels, supposons qu'elle se rapporte à une

(¹⁶) Suivant M. A. Grabau, la solubilité de la mirabilite ou sel de Glauber, serait de 12,2 gr. dans 100 gr. d'eau à 0° et de 184 gr. dans 100 gr. d'eau à 30° C. AMADEUS W. GRABAU, *Principles of salt deposition*, 1920, Me Graw-Hill Book Company, New-York & London, p. 36.

eau ayant une salinité dix fois inférieure à la salinité spécifique. Son analyse *en millivalences* deviendra :

N° 62.

m CO ³ = 3,70	m Ca = 3,26	Th = 20°3
m SO ⁴ = 0,76	m Mg = 0,80	Ta = 18°5
m Cl = 0,50	m Na = 0,76	Tn = 2°2
m NO ⁴ = 0,04	m K = 0,18	
—	—	S = 267 mgr./litre
Σa = 5,00	Σb = 5,00	

D'après ce que nous avons vu, comme

$$\begin{aligned} Tn &> 0 \\ Th &> Ta \end{aligned}$$

la concentration de cette eau amènera la formation d'un lac à mirabilite.

Si la salure de l'eau marine était due uniquement à l'apport d'effluents continentaux, l'océan contemporain serait un lac à mirabilite en formation. Ses eaux seraient natroniques. Ce raisonnement par l'absurde montre que les eaux de l'océan ont dû être caractérisées à des époques révolues par une composition chimique différente de celle des eaux marines contemporaines. Ces océans révolus possédaient une réserve d'anatronie supérieure à ce qu'elle est aujourd'hui.

XIV. — LES EFFETS DE L'EFFLUENT CONTINENTAL SUR LA COMPOSITION DES EAUX MARINES.

Actuellement les eaux océaniques à la composition moyenne établie par l'analyse type n° 32 reçoivent des eaux continentales caractérisées par l'analyse spécifique n° 50.

Le niveau des océans reste sensiblement constant sous cet apport, le cycle de l'eau étant pratiquement en équilibre (17).

Cherchons à évaluer ce que sera la composition chimique d'un litre d'eau océanique quand elle aura, par exemple, reçu des effluents continentaux 100 millivalences acides et 100 millivalences basiques de plus qu'elle n'en contient aujourd'hui.

(17) Cette affirmation est en désaccord apparent avec les théories eustatiques, mais il ne faut pas perdre de vue que nous raisonnons sur des *titres spécifiques*, donc indépendants de la salinité réelle.

Chaque litre d'eau marine aura donc alors reçu, outre les éléments qu'elle contient actuellement :

$$\begin{aligned} 2 \times 37 &= 74,00 \text{ millivalences } \text{CO}^3 \\ 2 \times 7,6 &= 15,20 \text{ millivalences } \text{SO}^4 \text{ et ainsi de suite} \\ 2 \times 5 &= 10,00 \text{ millivalences } \text{Cl.} \end{aligned}$$

Un litre d'eau océanique contiendra par conséquent à l'état dissous et aura précipité des sels dont le total sera donné par :

$\begin{aligned} m \text{ CO}^3 &= 2,40 + 74,00 = 76,40 \\ m \text{ SO}^4 &= 55,20 + 15,20 = 70,40 \\ m \text{ Cl} &= 541,20 + 10,00 = 551,20 \\ m \text{ Br} &= 1,20 + 0,00 = 1,20 \\ m \text{ NO}^4 &= 0,00 + 0,80 = 0,80 \end{aligned}$	$\begin{aligned} m \text{ Ca} &= 21,60 + 65,20 = 86,80 \\ m \text{ Mg} &= 105,60 + 16,00 = 121,60 \\ m \text{ Na} &= 463,20 + 15,20 = 478,40 \\ m \text{ K} &= 9,60 + 3,60 = 13,20 \end{aligned}$
$\Sigma a = 700,00$	$\Sigma b = 700,00$

Nous pouvons écrire plus commodément :

N° 63.	
$\begin{aligned} m \text{ CO}^3 &= 76,40 \\ m \text{ SO}^4 &= 70,40 \\ m \text{ Cl} &= 552,00 \\ m \text{ Br} &= 1,20 \end{aligned}$	$\begin{aligned} m \text{ Ca} &= 86,80 \\ m \text{ Mg} &= 121,60 \\ m \text{ Na} &= 478,40 \\ m \text{ K} &= 13,20 \end{aligned}$
$\Sigma a = 700,00$	$\Sigma b = 700,00$

Il reste entendu que cette analyse en millivalences comprend l'ensemble des *matières dissoutes* dans l'eau, *en suspension* dans celle-ci ou déjà *précipitées*.

Car il est bien clair que le titre alcalimétrique de l'eau marine additionnée de deux cents équivalents apportés par les eaux continentales n'a aucune raison d'augmenter dans les proportions que renseignent les millivalences CO^3 aux équations 50 et 63, soit de 2,40 à 76,40. Des estimations assez concordantes fixent en effet entre 121 et 191 mgr./litre la quantité maximum de carbonate de calcium soluble à l'état de bicarbonate dans l'eau océanique à la salinité d'environ 35.000 mgr./litre.

Ces chiffres correspondent à des valeurs de $m \text{ CO}^3$ comprises entre 2,42 et 3,92. Or nous savons que la plupart des eaux marines ne sont pas saturées de $\text{Ca}(\text{HCO}^3)^2$ et en outre qu'à l'époque actuelle les dépôts de carbonate de calcium dans les mers par voie chimique sont rares. On cite comme curiosités

géologiques pareils dépôts en face du delta du Rhône et près des Florida Keys (18).

Nous pouvons donc nous demander ce que deviennent les immenses quantités de bicarbonates de calcium et de magnésium apportées à l'océan par les effluents continentaux, puisque l'eau océanique, tout au moins actuellement, n'en est pas saturée et que les dépôts de calcaire par voie chimique sont exceptionnels. La seule explication raisonnable de ce phénomène, à première vue paradoxal, est *qu'à l'époque actuelle les organismes vivant en mer fixent tous les carbonates de calcium et de magnésium que les fleuves apportent à l'état de bicarbonates*. Ils fixent en outre actuellement une très petite quantité de carbonates alcalino-terreux qui a été apportée à l'océan à des époques révolues (19).

Nous en tirons comme conclusion que 200 millivalences apportées par l'effluent continental à un litre d'eau océanique ont pour résultat :

1° La fixation de 74 millivalences CO_3 combinées à un nombre égal de millivalences $\text{Ca} + \text{Mg}$, à l'état de carbonates, par des êtres organisés.

2° Une augmentation de la salinité par litre d'eau marine traduite par :

N° 64.

m SO_4	= 15,20
m Cl	= 10,00
m NO_3	= 0,80

$$\Sigma a = 26,00$$

m (Ca + Mg)	= 7,20
m Na	= 15,20
m K	= 3,60

$$\Sigma b = 26,00$$

Dès lors, lorsque l'eau marine aura reçu par litre 200 millivalences (100 acides, 100 basiques) de plus qu'elle n'en contient

(18) L'analyse spécifique n° 6 des eaux du golfe du Mexique, se rapporte précisément à un échantillon prélevé à la hauteur de Loggerhead Key en Floride. Elle est remarquable par l'importance relative de ses millivalences spécifiques M CO_3 . Le titre alcalimétrique de l'eau à sa concentration réelle est le plus élevé connu : $\text{Ta} = 20,10^\circ$.

(19) Un éminent géologue belge écrivait en 1921 : « L'énorme quantité de chaux que les eaux douces apportent à la mer à l'état de bicarbonate y passe à l'état de sulfate, puis est refixée sous forme de carbonate dans le squelette des êtres vivants ». Je suis convaincu que cette explication n'est pas raisonnable et que l'ami défunt qui l'a reproduite a eu le seul souci d'apporter des éléments contradictoires à un débat alors sans issue.

actuellement, elle aura une composition qui pourra s'exprimer en *millivalences* par

N° 65.

m CO ³ =	2,40	m (Ca + Mg) =	134,40
m SO ⁴ =	70,40	m Na =	478,40
m Cl =	552,00	m K =	13,20
m Br =	1,20		
	<hr/>		<hr/>
Σa =	626,00	Σb =	626,00

Cette analyse se traduit *spécifiquement* par :

N° 66.

M CO ³ =	0,19	M (Ca + Mg) =	10,74
M SO ⁴ =	5,62	M Na =	38,21
M Cl =	44,09	M K =	1,05
M Br =	0,10		
	<hr/>		<hr/>
	50,00		50,00
TH =	53°70	TA =	0°95
TC =	220°95	TB =	?
TN =	-24°65	TSO ⁴ =	28°10

**XV. — VARIATIONS DE LA COMPOSITION CHIMIQUE
DES EAUX OCÉANIQUES EN FONCTION DU TEMPS.**

Par la méthode que nous venons d'exposer, nous pouvons établir la composition approximative des eaux marines à des périodes déterminées par l'apport de 100, 200, 300, etc. millivalences acides d'origine continentale. Nous pouvons de même apprécier la composition spécifique des eaux marines à l'époque où l'effluent continental avait apporté à l'océan : 100, 200 et 300 millivalences acides en moins qu'à l'océan contemporain.

Ces calculs sont assez longs; aussi n'en donnerons-nous que les résultats. D'où le tableau VI qui donne les analyses spécifiques des eaux en des temps déterminés par différents apports des effluents continentaux. L'indication +200 définit une eau marine qui aurait reçu 200 millivalences acides, soit au total 400 millivalences acides et basiques continentales en plus que l'eau contemporaine. L'indication -100 définit l'eau marine des temps révolus à l'époque où elle avait reçu 100 millivalences basiques et 100 millivalences acides *en moins* que l'eau océanique contemporaine. La salinité des eaux est établie au moyen

de la millivalence moyenne de l'analyse 33. Nous posons ainsi $E=57,93$.

TABLEAU VI.

Analyses spécifiques des eaux marines à diverses époques.

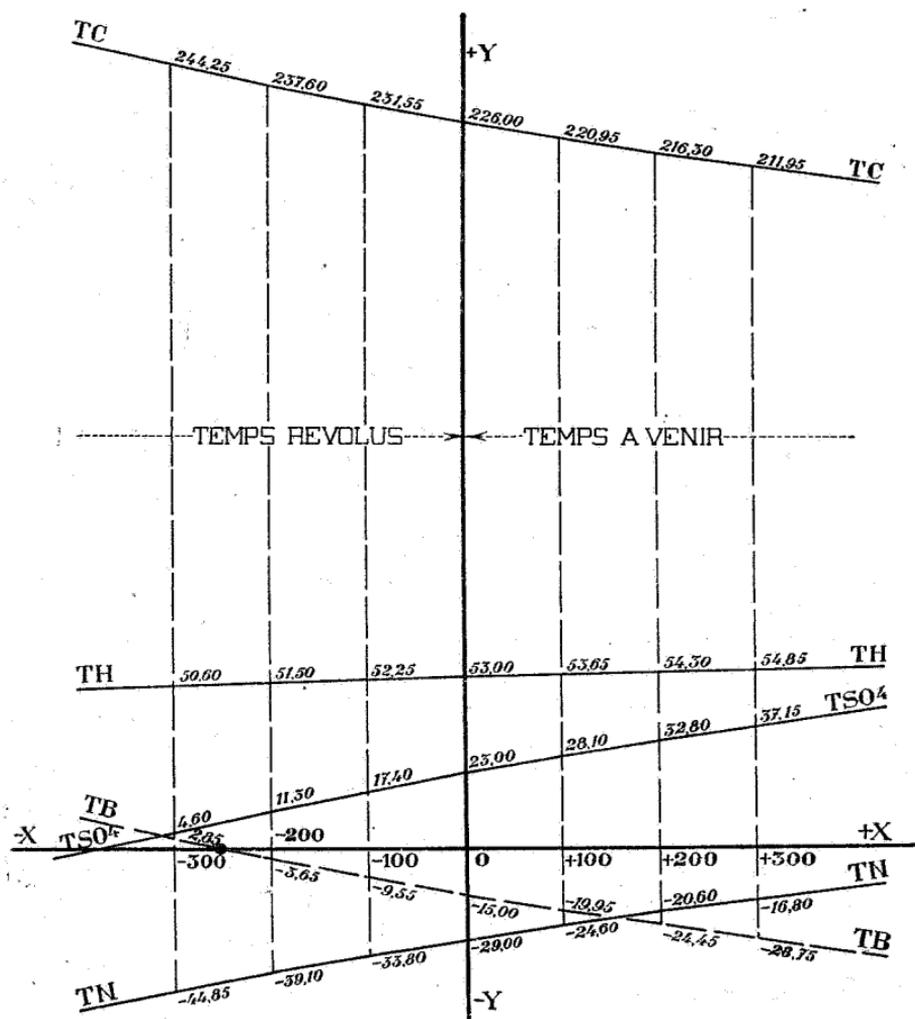
		Σa	M CO ³	M SO ⁴	M Cl	M Br	M (Ca+Mg)	M (Na+K)
Eaux révolues	- 300	522	0,23	0,92	48,74	0,11	10,12	39,88
	- 200	548	0,22	2,26	47,41	0,11	10,30	39,70
	- 100	574	0,21	3,48	46,20	0,11	10,45	39,55
Eau contemporaine		600	0,20	4,60	45,10	0,10	10,60	39,40
Eaux à venir	+ 100	626	0,19	5,62	44,09	0,10	10,73	39,27
	+ 200	652	0,18	6,56	43,16	0,10	10,86	39,14
	+ 300	678	0,18	7,43	42,30	0,09	10,97	39,03
	+ 1000	860	0,14	12,05	37,74	0,07	11,58	38,42

TABLEAU VII.

Titres spécifiques des eaux marines à diverses époques ⁽²⁰⁾.

	S	TC	TH	TN	TA	TSO ⁴
- 300	30.238	244,25	50,60	-44,85	1,15	4,60
- 200	31.745	237,60	51,50	-39,10	1,10	11,30
- 100	33.251	231,55	52,25	-33,80	1,05	17,40
Époque actuelle	34.757	226,00	53,00	-29,00	1,00	23,00
+ 100	36.264	220,95	53,65	-24,60	0,95	28,10
+ 200	37.770	216,30	54,30	-20,60	0,90	32,80
+ 300	39.275	211,95	54,85	-16,80	0,90	37,15
+ 1000	49.819	189,05	57,90	+ 3,05	0,70	60,25

⁽²⁰⁾ Les titres sont donnés en degrés et centièmes de degrés hydrométrique, en vue de vérification par les formules IX et XI.



XVI. — LE TÉBÉ DES OCÉANS REVOLUS.

Le Tébé des eaux océaniques a pour expression :

$$TB = 5 M Ca - 5 M CO^3 - 5 M SO^4.$$

Mais dans le tableau VI nous n'avons pas essayé de séparer les millivalences spécifiques $M Ca$ des millivalences spécifiques $M Mg$. Nous nous sommes donc borné à évaluer le mieux que nous pouvions le total $M (Ca + Mg)$, ce qui nous a permis d'établir les diverses valeurs de la dureté spécifique totale des océans révolus ou à venir.

Pour déterminer le tébé, il nous est pourtant indispensable de connaître $M Ca$. Il convient donc de faire une nouvelle

hypothèse, mais je reconnais bien volontiers qu'elle est gratuite ⁽²¹⁾.

Admettons donc, faute de mieux et quitte à y revenir lors de vérifications numériques, que le rapport M Ca : M Mg reste pratiquement constant dans les limites relativement restreintes de notre diagramme.

L'analyse n° 31 nous permet d'écrire que l'eau océanique contemporaine est caractérisée par

$$M Ca = 0,17 M (Ca + Mg)$$

ou

$$M Ca = 0,034 TH.$$

Dès lors les valeurs de TH nous donneront celles de M Ca et nous pourrons déterminer avec la même facilité les tébés des eaux révolues et ceux des eaux à venir.

Nous trouvons ainsi :

Eaux révolues.

	— 300	— 200	— 100
TB	+ 2,85°	— 3,65°	— 9,55°

Eaux contemporaines.

$$TB = -15$$

Eaux à venir.

	+ 100	+ 200	+ 300	+ 1.000
TB	— 19,95	— 24,45	— 28,75	— 51,10

Si donc nos hypothèses se vérifient par des applications numériques trop longues à développer dans cette note déjà beaucoup trop étendue, nous pourrions dire :

Le TB des eaux océaniques révolues s'est annulé vers le temps — 260. Il était auparavant positif.

Ainsi donc les eaux marines n'auraient contenu en des temps révolus que des chlorures de sodium, de magnésium et de calcium ainsi que des bromures.

Chlorures et bromures seraient propres aux eaux océaniques révolues, sulfates et bicarbonates seraient d'origine différente

(21) Elle l'est beaucoup moins pourtant que celle qui a servi de base aux calculs de Joly et de Clarke pour établir l'âge de l'Océan. Ces derniers estiment, en effet, que l'effluent continental a toujours, en tout temps, amené à l'Océan une quantité constante de chlorure de sodium.

et apportés en majeure partie par les effluents continentaux. Ces derniers auraient, d'autre part, renvoyé à l'océan une partie du sel cyclique qu'ils en auraient reçu et du chlorure de sodium apporté par les sources, emprunté lui-même à l'eau connée dans des formations géologiques plus anciennes.

XVII. — LA SALINITÉ DES OCÉANS RÉVOLUS.

Quelle était la salinité des eaux océaniques révolues ?

Remarquons d'abord que le tableau VII nous indique seulement des *salinités moyennes*. Celle de l'océan contemporain est bien voisine de 35.000 mais le tableau I nous indique des salinités atteignant 60.000. Natérier en a même relevé s'élevant jusqu'à 68.540 mgr. dans la mer Rouge mais au voisinage du canal de Suez et des lacs amers, il est vrai. Il est donc possible que des mers révolues aient pu posséder des eaux d'une salinité supérieure à la *moyenne* des eaux océaniques contemporaines.

Le tableau VII nous montre que la *salinité moyenne* des eaux océaniques augmente avec le temps. Les eaux révolues auraient donc possédé une salinité *moyenne* inférieure à celle des eaux de nos jours. Mais en raisonnant ainsi, nous supposons que tous les sels des océans révolus se trouvent encore dans l'océan contemporain. Il n'en est nullement ainsi. Le chlorure de sodium des eaux continentales provient en partie du sel cyclique enlevé aux océans révolus et à l'océan contemporain. Si les effluents continentaux ont toujours renvoyé une partie de ce sel cyclique aux océans dont il provenait, une autre partie s'est confinée dans les bassins sans écoulement. L'étendue de ces bassins clos représente actuellement 20 % de la surface des continents. Elle a dû être beaucoup plus considérable à certaines époques géologiques, notamment au cours des dépôts permo-triasiques et miocènes. Les océans révolus ont donc perdu une partie appréciable de leur salinité par le fait du cycle du sel.

D'autre part, l'eau marine s'est connée dans tous les dépôts sédimentaires marins au cours de leur formation. Les sels enlevés de la sorte à l'Océan ne lui seront rendus totalement que lorsque la dessalure des massifs exondés sera complète. Elle est loin de l'être actuellement. En outre des mers ont été séparées de l'Océan. Les sels qu'elles ont de par la sorte soustraits, se retrouvent en masse énorme dans les gisements salins d'origine marine.

Dès lors, il serait imprudent de prétendre que la *salinité moyenne* des océans révolus était inférieure à 35.000 mgr. par

litre. Il le serait plus encore d'affirmer que la salinité propre à certaines méditerranées des temps révolus a toujours été plus faible que 35.000 mgr. par litre.

Il est donc normal que nous retrouvions dans les dépôts où elles ont été enfermées depuis leur sédimentation des eaux révolues : connées, vétériques ou fossiles d'une salinité fort supérieure à la salinité *moyenne* des eaux océaniques contemporaines.

CONCLUSIONS.

Ainsi donc si nos hypothèses sont saines, des eaux marines révolues ont été caractérisées par un titre halogénique spécifique voisin de 250° et un tébé positif. Ces eaux contenaient presque exclusivement des chlorures de sodium, de magnésium, de calcium *et des traces de chlorure de potassium*.

Mais pour prouver que nos hypothèses sont saines, nous aurons à examiner semblables eaux dans les formations où elles se sont connées pendant la sédimentation et où elles ont jusqu'à nos jours conservé leurs caractères spécifiques.

Dans le même but et pour prévoir la composition des eaux océaniques à venir, nous examinerons le cas de lacs reliquats prématurément vieillis par un appoint d'eaux continentales proportionnellement supérieur à celui reçu de nos jours par l'océan.

Mais encore faudra-t-il que nous apprenions à distinguer un lac reliquat d'un lac n'ayant reçu que des eaux continentales. C'est en étudiant à la faveur des notions de titre natronique et du Tébé les lacs de bassin clos que nous y parviendrons.

Nous venons dans cette note d'établir la genèse des lacs natrons et des lacs à mirabilite. Nous aurons à examiner les cas complexes des lacs chlorurés et des lacs magnésiens.

En possession de ces données nombreuses, nous pourrions étudier en détail les variations de la composition chimique des eaux des courants souterrains depuis leur entrée dans le sol jusqu'à leur contact avec les eaux connées, vétériques ou fossiles d'origine marine ou lacustre.

Les eaux errantes *flottent* souvent sur les eaux fossiles plus denses. Mais les fractures tectoniques ou l'œuvre humaine peuvent rompre un équilibre ancien et amener ainsi au jour pour un temps généralement limité ces eaux connées d'océans et de lacs de bassins clos d'époques révolues. Le sens des courants peut alors être détourné de sa direction primitive. L'étude des *courants inversés* devra aussi être entreprise un jour.

Mais ce programme étendu ne pourra être examiné sérieusement que quand auront pu être concrétisées à la faveur d'expériences de laboratoire, les réactions chimiques qui s'opèrent entre dissolutions de sels natroniques et de sels anatroniques. Ces réactions quand elles sont incomplètes conduisent à des équilibres chimiques, ce qui n'est pas fait pour simplifier les recherches.

Enfin, les produits naturels solides résultant de la concentration des eaux contemporaines ou révolues, marines ou lacustres devront être étudiés toujours par l'examen des titres natroniques et du Tébé de leurs solutions. Nos conceptions sur la genèse des gîtes salins se trouveront ainsi éclaircies, mais considérablement modifiées.

Saint-Ghislain, 20 octobre 1942.

Indices de mouvements tectoniques récents en Campine. Leur utilisation pour le tracé superficiel de la faille de Rotem,

par ANDRÉ GROSJEAN.

L'Administration des Ponts et Chaussées a fait exécuter, en avril et mai 1942, une série de petits sondages, sur la rive gauche de la Meuse, entre les villages de Rotem et de Vucht. Comme l'indique le croquis ci-joint (fig. 1), ces sondages sont disposés sur trois alignements approximativement perpendiculaires à la direction de la vallée : le premier (sondages n^{os} 1 à 7), qui est le plus septentrional, se trouve à la hauteur de Dilsen; le deuxième (sondages n^{os} 8 à 15) passe par Stokkem et Lanklaar; le troisième (sondages n^{os} 16 à 23), qui est le plus méridional, passe par Leut et Eisdén.

Plus de la moitié de ces puits n'ont pas même atteint la base de l'épaisse nappe de gravier qui s'étend sous les dépôts sablo-limoneux de la plaine alluviale de la Meuse. Onze d'entre eux (sondages n^{os} 4, 5, 9, 10, 11, 12, 13, 13*bis*, 14, 15 et 20) ont cependant pénétré de quelques mètres dans le substratum, constitué de sables, en général très quartzueux, avec couches de lignite et lentilles argileuses. Il s'agit, selon toute vraisemblance, des dépôts boldériens à facies continental sur lesquels M. F. Halet a déjà appelé l'attention ⁽¹⁾.

(1) F. HALET, Le Néogène et l'Oligocène entre Hasselt et Genck [*Bull. Soc. belge de Géol., de Paléont. et d'Hydrog.*, t. XLVI (1936), pp. 194-199, pl. IV].

Ainsi se trouve confirmée, pour autant que de besoin, une importante rectification aux tracés de la Carte géologique à l'échelle du 1/40.000 : ce tronçon de la vallée de la Meuse n'entame pas les formations oligocènes de l'étage rupélien ⁽²⁾.

Quoi qu'il en soit de cette précision apportée à la connaissance du sous-sol, l'intérêt des récents sondages paraît résider surtout dans les données qu'ils ont fournies au sujet de la base des formations fluviales de la Meuse.

Le tableau suivant résume les constatations faites à cet égard :

du sondage	BASE DES CAILLOUTIS DE LA MEUSE	
	atteinte à la cote :	non atteinte à la cote :
<i>Profil septentrional :</i>		
1	—	22,90
2	—	24,20
3	—	25,20
4	28,25	—
5	28,75	—
6	—	31,30
6bis	—	31,70
7	—	37,20
<i>Profil médian :</i>		
8	—	16,70
9	26,20	—
10	25,25	—
11	21,50	—
12	25,60	—
13	30,80	—
13bis	31,50	—
14	29,60	—
15	28,25	—
<i>Profil méridional :</i>		
16	—	28,80
16bis	—	27,40
17	—	30,10
18	—	29,30
19	—	29,20
20	28,00	—
21	—	29,10
22	—	35,10
23	—	39,10

(2) Cette rectification apparaît déjà sur la coupe des formations tertiaires de la Campine suivant le parallèle 65.760 N de la carte topographique, publiée par M. F. HALET en 1925 [*Ibid.*, t. XXXIII (1923), pl. VI].

Dans le profil médian — le seul pour lequel on dispose d'un nombre suffisant d'observations positives — on note des écarts d'altitude relativement importants. La figure 2, dessinée d'après M. F. Halet, en donne une image où ces dénivellations sont mises en évidence par une forte exagération des hauteurs (échelle des hauteurs = échelle des longueurs $\times 100$).

En l'absence de données plus nombreuses, il est difficile de dégager la signification des variations apparaissant entre le sondage n° 15 et le sondage n° 9 (montée de la cote +28 à la cote +31,50, puis descente jusqu'à la cote +21,50, suivie d'un relèvement jusqu'à la cote +26,20). Ces variations, qui se produisent de part et d'autre de la cote moyenne +26,50, peu différente des niveaux observés dans les deux autres profils,

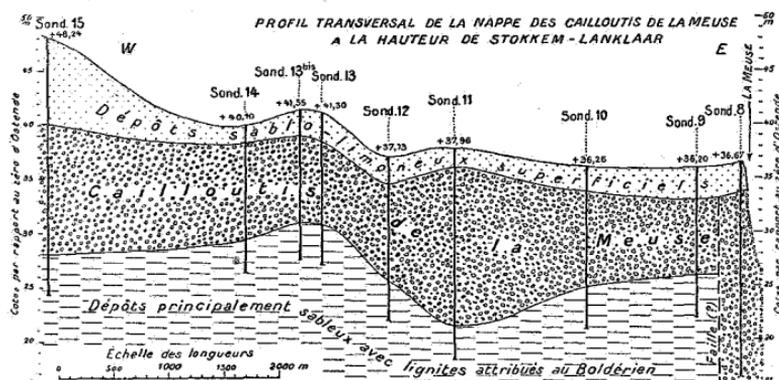


FIG. 2. — Profil transversal de la nappe des cailloutis de la Meuse à la hauteur de Stokkem-Lanklaar.
(Echelle des hauteurs multipliée par 100.)

sont sans doute attribuables aux irrégularités de l'érosion résultant du jeu de méandres, élargissements, resserrements, etc., d'un cours d'eau se mouvant sur un substratum relativement meuble ⁽³⁾.

Mais il y a lieu d'attirer l'attention sur la signification beaucoup plus spéciale que pourrait comporter la brusque dénivellation qui apparaît, à l'extrémité orientale du profil, entre les sondages n° 9 et 8. Entre ces deux sondages, distants de moins de 400 m., la base des cailloutis passe brusquement de la cote +26,20 à une profondeur actuellement inconnue, mais certain-

(3) Il y a cependant lieu d'en noter l'existence pour justifier la prudence qui s'impose vis-à-vis d'une distinction trop poussée des « niveaux de terrasses », même lorsque ceux-ci sont caractérisés par le niveau de la base des alluvions fluviales.

nement inférieure à la cote +16,70, soit une dénivellation de plus de 10 m.

Sans doute n'est-il pas absolument impossible de concevoir cette allure comme résultant de purs phénomènes d'érosion et de remblaiement fluviaux, mais ce que l'on sait de la tectonique profonde suggère une autre explication qui paraît très vraisemblable : c'est l'hypothèse de la remise en mouvement des alluvions récentes de la Meuse par l'une des failles qui est l'un des principaux traits tectoniques de cette région, la *Faille de Rotem-Heerlerheide*.

Cette faille n'a jamais été observée en affleurement, du moins en territoire belge; aussi sa position exacte n'est-elle pas connue avec précision; mais il est indiscutable qu'elle traverse la région, avec une direction générale S.-E.—N.-W., laissant, d'une part, au Nord-Est, les sondages miniers d'Obbicht (n° 80 de la numérotation officielle du Limbourg hollandais) et de Rotem-centre (n° 64 de la numérotation officielle belge) et, d'autre part, au Sud-Ouest, les sondages miniers de Stokkem, de Dilsen et de Rotem-Schootshei (nos 52, 50 et 110 de la numérotation officielle belge). Elle joue un rôle de toute première importance au point de vue minier, étant, dans ce coin de pays, la limite nord-orientale du gisement houiller accessible aux exploitations souterraines : au Sud-Ouest de la faille, la surface du terrain houiller, directement recouvert par le Sénonien, se trouve à des profondeurs relativement modérées (—337 au sondage n° 52 et —578 au sondage n° 110), tandis que, dans le massif nord-oriental, le substratum paléozoïque s'est affaissé de 500 à 600 m., ce qui a entraîné la conservation de formations permotriasiques entre le terrain houiller et le recouvrement sénonien. Une note récente rappelle d'ailleurs les données que l'on possède à ce sujet (4).

Or, les sondages nos 8 et 9 de l'Administration des Ponts et Chaussées se placent entre le sondage minier n° 52 de Stokkem et le sondage minier n° 80 d'Obbicht, c'est-à-dire justement dans l'intervalle le plus étroit qui soit imposé pour le tracé de la Faille de Rotem-Heerlerheide. Dans le sondage n° 52 de Stokkem, qui se trouve par rapport au tracé présumé de la faille du même côté que le sondage n° 9, la base du cailloutis de

(4) A. GROSJEAN, Sur la limite septentrionale du gisement houiller accessible en Campine. Les premiers résultats du sondage de Rotem (Schootshei) [*Bull. Soc. belge de Géol., Paléont. et d'Hydrog.*, t. XLIX (1939), pp. 210-217, Bruxelles, 1940].

Meuse passe à une cote supérieure à +27,50 ⁽⁵⁾, voisine de celle qui a été observée dans le dit sondage n° 9, tandis que nous ne possédons pas de précision sur la cote de la base du gravier dans le sondage n° 80 d'Obbicht.

D'autre part, si, partant de l'intervalle entre les sondages n°s 8 et 9, on poursuit le tracé de la faille dans la direction générale imposée par les données connues, c'est-à-dire vers le Nord-Ouest, on est conduit à traverser l'alignement septentrional entre les forages récents n°s 4 et 3, intervalle où s'observe précisément une dénivellation de la base du cailloutis dont l'amplitude n'est pas connue, mais dont le sens est conforme à l'hypothèse envisagée (cote +28,25 dans le sondage n° 4; cote inconnue, mais inférieure à +25,20, dans le sondage n° 3).

En poursuivant encore vers le Nord-Ouest, on est amené à passer au pied de l'escarpement qui limite le plateau de Campine entre Neeroeteren et Brée. Or on sait que cet escarpement coïncide, selon toute probabilité avec la trace d'une faille post-pliocène mise en évidence par la différence des coupes du sondage dit du Moulin de Gruitrode et du sondage d'Opitter. On se trouve ainsi ramené au tracé de la Faille de Rotem-Heerlerheide déjà ébauché par M. W.-C. Klein, en 1914 ⁽⁶⁾.

Cet ensemble de présomptions semble donner un certain poids à l'hypothèse d'un rejet tout récent de la Faille de Rotem-Heerlerheide et suggère la possibilité de rechercher la trace de cette faille à la surface du sol par l'exécution de quelques sondages, de très faible profondeur, qui n'auraient à reconnaître que la cote de base des alluvions de la Meuse.

En confirmation de cette hypothèse, il convient d'ailleurs de rappeler ici une opinion émise, dès 1907, par M. Abel Briquet. Cet auteur, qui rattachait l'escarpement Neeroeteren-Brée, non à la *Faille de Heerlerheide*, alors mal connue, mais à une faille plus septentrionale du Limbourg hollandais, la *Feldbiss*, écri-

(5) Observation consignée en 1907, par M. F. Halet, au dossier Stokkem des Archives de la Carte géologique.

(6) W. C. KLEIN, Het Diluvium langs de Limburgsche Maas (*Verhandelingen van het Geologisch-Mijnbouwkundig Genootschap voor Nederland en Koloniën*, Geologische Serie, deel II, blz. 1-112, 's Gravenhage, 1914). Voir en particulier la première planche.

Précédemment M. X. STAINIER avait attribué l'escarpement Neeroeteren-Brée au jeu récent de la *Faille d'Eelen*, qui constitue la limite méridionale du graben tertiaire de Ruremonde [Sur les recherches du sel en Campine (*Annales des Mines de Belgique*, t. XVI, 1911, pp. 117-170); voir en particulier pp. 130-132]. Dans l'hypothèse actuelle, le tracé de la Faille d'Eelen pourrait être recherché plus au Nord-Est.

vait à son sujet : « Ainsi, après que fut commencé le dépôt de la dernière nappe d'alluvions de la Meuse qui ait précédé celui des alluvions du lit majeur actuel, la faille s'est encore accentuée de 15 ou 20 m. » (7).

Au surplus, s'il s'avérait que le ressaut observé à la base des cailloutis de Meuse dans les récents sondages n° 8 et n° 9 n'est pas d'origine tectonique, il resterait de grandes chances de pouvoir préciser le tracé superficiel de la *Faille de Rotem-Heerlerheide* par la considération des différences d'altitude d'un horizon stratigraphique légèrement inférieur, le gravier de base du Néogène, recoupé à Eisden par les puits des charbonnages Limbourg-Meuse vers la profondeur de 45 m., c'est-à-dire au voisinage de la cote 0 (8).

Les plus récentes études des géologues néerlandais concluent en effet à l'existence d'un rejet de la faille en question affectant les formations continentales du Miocène et du Pliocène, sur la rive droite de la Meuse, à faible distance de la frontière (9).

(7) A. BRIQUET, La vallée de la Meuse en aval de Liège [*Bull. Soc. belge de Géol., de Paléont. et d'Hydrol.*, t. XXI (1907), p. 357].

Voir aussi du même auteur : La vallée de la Meuse en aval de Sittart [*Ibid.*, t. XXI (1908), p. 366].

(8) F. HALET, *loc. cit.*, 1936, en particulier figure 4.

(9) W. J. JONGMANS et F. H. VAN RUMMELEN, Het voorkomen van Bruinkool en Bruinkoolformatie in Zuid-Limburg in verband met den bouw van het Steenkoolgebied (*Jaarverslag over 1930 van het geologisch Bureau voor het Nederlandsche Mijng gebied te Heerlen*, pp. 29-60, Heerlen, 1931). La carte jointe à ce travail a été reproduite en 1940 comme annexe à une note des mêmes auteurs intitulée : Korte beschrijving van grondstoffen voor industriele, bouwkundige en landbouwkundige doeleinden in Zuid-Limburg (*Mededeelingen behorende bij het Jaarverslag van de geologisch Stichting en van het geologisch Bureau voor het Mijng gebied te Heerlen over 1938 en 1939*, pp. 235-257, Maastricht, 1940).
