

## SÉANCE MENSUELLE DU 18 MAI 1943.

*Présidence de M. CH. CAMERMAN, président.*

Le procès-verbal de la séance précédente est lu et adopté.

### **Correspondance :**

M. ANDRÉ STAINIER remercie pour les condoléances qui lui ont été adressées à l'occasion du décès de M. XAVIER STAINIER, son oncle.

La Commission administrative du Musée royal d'Histoire naturelle fait connaître la liste de ses publications récentes.

### **Don et envoi reçu :**

9403 *Cambier, R.* Les possibilités de développement des charbonnages congolais. Bruxelles, 1942, 31 pages.

### **Communications des membres :**

#### **Le titre natronique,**

par J. DELECOURT.

*(Troisième et dernière note.)*

Une première note a défini le titre natronique et établi un classement des eaux souterraines d'après leur composition chimique <sup>(1)</sup>.

Une deuxième a longuement étudié les caractéristiques spécifiques des eaux marines : contemporaines ou révolues. Elle a esquissé la genèse des lacs natrons et des lacs à mirabilite <sup>(2)</sup>.

Dans le présent travail je chercherai à expliquer pourquoi les phénomènes de salure sont réglés par les lois déduites jusqu'à présent de l'observation directe des faits.

#### **I. — EAUX CONNÉES ET EAUX LIMNO-CONNÉES.**

Les hydrologues américains désignent par « connate water » l'eau enfermée dans les interstices et les ouvertures des roches

---

(1) J. DELECOURT, Le titre natronique (première note) (*Bull. Soc. belge de Géol., de Paléontol. et d'Hydrol.*, t. L, 1940-1941, pp. 152-166).

(2) IDEM, *ibidem* (deuxième note) (*Loc. cit.*, t. LI, 1942, pp. 107-142).

sédimentaires au cours de leur dépôt au fond de l'océan <sup>(3)</sup>; « connate » signifie littéralement : né en même temps que...

« Connate water » se traduit ainsi par : « eau connée ».

De la sorte, à titre d'exemple, l'eau connée dans les sables yprésiens à *Nummulites planulata* serait l'eau marine au stade d'évolution qu'elle atteignait lors de leur dépôt au fond de l'océan. Elle serait née en même temps que les couches sédimentaires. Plus exactement, elle aurait été enfermée dans les interstices et les ouvertures de ces dépôts sableux au cours de leur sédimentation.

L'eau connée est ainsi une eau fossile ou plus précisément une eau marine révolue.

Des dépôts de bassins clos peuvent aussi contenir des eaux contemporaines de la sédimentation lacustre. Nous dirons pour préciser leur origine, qu'elles sont *limno-connées*.

De la sorte, nous les distinguerons des eaux simplement connées qui sont toujours marines.

Nous étudierons dans un autre travail la composition chimique des eaux des lacs de bassins clos contemporains. Nous pourrions ainsi mieux saisir celle des eaux limno-connées.

Dans cette troisième et dernière note sur le titre natronique, nous ne nous occuperons que des eaux connées proprement dites.

## II. — LA DESSALURE DES MASSIFS ÉMÉRGÉS.

Reprenons notre exemple de tantôt. Lorsque les sables à *Nummulites planulata* se déposaient dans la mer yprésienne, l'eau marine en entourait chaque grain. Les caractéristiques spécifiques de cette eau étaient, répétons-le encore, propres à l'âge de la formation.

Quand les sables s'exondèrent, ils furent arrosés par la pluie. Des eaux météoriques très douces et fort peu chlorurées s'infiltrèrent. Une nappe aquifère se créa. Elle reçut une alimentation permanente d'eau douce par les affleurements perméables émergés. Des sources continentales naquirent. Le profil de la nappe s'établit.

Et l'eau douce météorique s'infiltrant dans le sol, dilua progressivement, dans l'espace et dans le temps, l'eau marine contemporaine de la sédimentation.

Les effets de cette lente dessalure sont encore loin d'être

(3) C. F. TOLMAN, Ground water, Mc Graw Hill Book Cy, New York and London.

complets, puisque, toujours d'après l'exemple choisi, nous connaissons encore des eaux de la nappe yprésienne riches en chlorures.

### III. — MASSIFS DESSALÉS ET AIRES A EAUX SODIQUES.

Lorsqu'on parvient à étudier sur une étendue suffisante les eaux d'un courant souterrain déterminé, on constate près des régions d'infiltration, l'existence d'un massif complètement dessalé. Les eaux errant dans celui-ci sont exemptes de toute trace appréciable de l'eau marine originelle.

Le massif dessalé précède dans le sens naturel des courants *une aire des eaux sodiques*. Toutes les eaux circulant dans cette dernière étendue contiennent, au contraire, à des degrés différents, des vestiges de l'eau marine contemporaine de la sédimentation.

Si nous appelons *titre en eau connée* le volume de cette eau qui peut être décelée dans un litre d'eau souterraine, nous constatons que ce titre est nul dans les eaux des massifs dessalés et supérieur à zéro dans les aires à eaux sodiques. Théoriquement, ce titre peut y atteindre l'unité, ce qui revient à admettre que dans certains cas l'eau marine contemporaine de la sédimentation a pu se conserver complètement pure.

Où se trace la limite séparant les massifs dessalés des aires à eaux sodiques ?

Par définition, l'eau connée est une eau marine révolue. Son titre halogénique spécifique est donc supérieur à 226° (4). Comme le titre halogénique maximum vaut 250°, on peut, sans craindre de faire erreur, caractériser une eau connée par un titre halogénique supérieur à 226° et, par conséquent, voisin du maximum. Les eaux cent pour cent connées sont par conséquent presque uniquement ou uniquement chlorurées.

Par contre les eaux météoriques, tôt après leur infiltration, ne contiennent d'autre chlorure que le sel cyclique. Elle sont donc fort peu chlorurées, bien entendu si aucune contamination d'ordre biologique ne vient en modifier la composition. Il en est ainsi dans les cas généraux (5) des eaux douces acides, agres-

(4) *Le titre natronique*, deuxième note, p. 137.

(5) Il n'en serait pas nécessairement ainsi si l'œuvre humaine ou des accidents tectoniques récents venaient inverser le sens initial des courants. J'ai déjà longuement insisté sur ce cas. En pareille circonstance des eaux de la zone des échanges de bases peuvent déjà être fortement chlorurées. Mais semblable cas particulier n'infirme pas une théorie générale.

sives, dures et d'échanges de bases. Les chlorures y sont fort peu abondants pondéralement et spécifiquement.

Le long d'une trajectoire déterminée, l'entrée dans une aire à eau sodique se manifeste donc par une augmentation des ions chlore à laquelle correspond une élévation du titre halogénique spécifique. Or, dans les cas généraux <sup>(5)</sup>, l'augmentation manifeste de la chloruration se produit dans la zone de salure, mais à très faible distance relative de la limite de salure. C'est pourquoi nous avons choisi celle-ci pour séparer les massifs dessalés des aires à eaux sodiques.

Les massifs dessalés comprennent ainsi la zone des eaux douces acides, la zone d'agressivité, la zone des eaux dures et la zone des échanges de bases.

Les aires à eaux sodiques se composent de la zone de salure, de la zone des sursalées natroniques et de la zone des chlorures.

#### IV. — VARIATION DE LA COMPOSITION CHIMIQUE DES EAUX DANS LES MASSIFS DESSALÉS A PARTIR DE LA ZONE DES EAUX DURES.

Considérons une eau dure correspondant à l'analyse :

mN° 70	mCO <sup>3</sup> = 5,00	mCa = 7,50	Th = 41,25°
	mSO <sup>4</sup> = 3,00	mMg = 0,75	Ta = 25,00°
	mCl = 0,50	mNa = 0,25	Tn = -1,25°
	$\Sigma a = 8,50$	$\Sigma b = 8,50$	Ts = 0,00°

Épurons cette eau dans un adoucisseur à échangeur de bases.

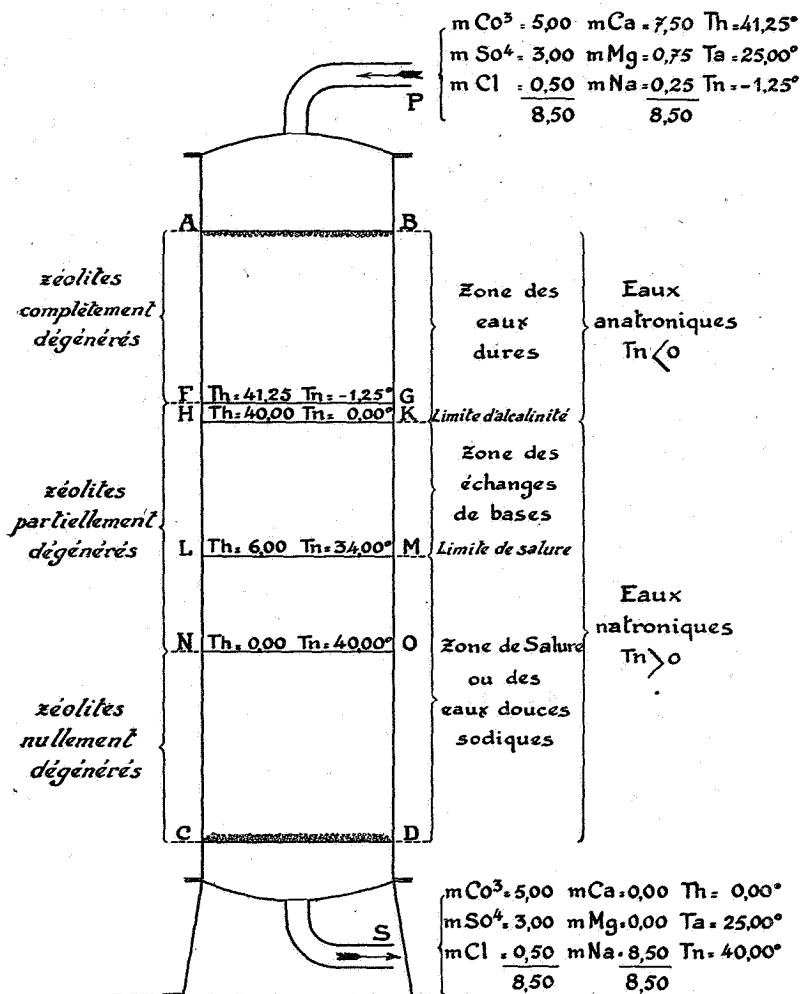
Supposons, pour la facilité du raisonnement, que la masse zéolitique A.B.C.D. est complètement neuve et possède par conséquent tout son sodium échangeable. Si la masse permutante est de bonne qualité et d'épaisseur suffisante, l'eau sortira de l'épurateur avec la composition suivante :

mN° 71	mCO <sup>3</sup> = 5,00	mCa = 0,00	Th = 0,00°
	mSO <sup>4</sup> = 3,00	mMg = 0,00	Ta = 25,00°
	mCl = 0,50	mNa = 8,50	Tn = 40,00°
	$\Sigma a = 8,50$	$\Sigma b = 8,50$	

La dureté se sera annulée et l'eau sera devenue une douce sodique (zone de salure).

Si nous laissons couler un certain temps l'eau dure à travers la masse zéolitique, les échanges de bases entre l'eau et la masse auront eu les effets suivants :

1° La partie supérieure de la masse (A.B.F.G.) sera dépourvue de sodium échangeable. Celui-ci aura été complètement enlevé par l'eau dure. L'espace A.B.F.G. ne contiendra donc plus que des zéolites complètement dégénérés.



2° La partie moyenne F.G.N.O. ne sera que partiellement dégénérée.

3° Enfin, si l'épaisseur AC de la masse est suffisante et si la durée de l'opération n'est pas excessive, la partie inférieure N.O.C.D. restera en possession de tout son sodium échangeable. Il ne sera nullement dégénéré.

En suivant l'eau à travers la masse zéolitique, on constatera :

1° Qu'entre les sections AB et FG, sa composition reste constante. L'eau ne peut s'adoucir puisque les zéolites sont complètement dégénérés.

2° Qu'entre FG et HK les échanges de bases commencent puisque la masse n'est plus complètement dégénérée. En HK la composition de l'eau sera :

m N° 72	m CO <sup>3</sup> = 5,00	m (Ca + Mg) = 8,00	Th = 40,00
	m SO <sup>4</sup> = 3,00	m Na = 0,50	Ta = 25,00
	m Cl = 0,50		Tn = 0,00
	$\Sigma a = 8,50$	$\Sigma b = 8,50$	

HK est donc une limite natronique puisque Tn = 0,00. Cette limite natronique est celle d'alcalinité (6).

3° Qu'entre HK et LM la dureté continue à diminuer. Nous nous trouvons dans la zone des échanges de bases (7).

4° Que sur LM cette dureté est descendue à 6° et que l'eau répond à l'analyse :

m N° 73	m CO <sup>3</sup> = 5,00	m (Ca + Mg) = 1,20	Th = 6,00°
	m SO <sup>4</sup> = 3,00	m Na = 7,30	Ta = 25,00°
	m Cl = 0,50		Tn = 34,00°
	$\Sigma a = 8,50$	$\Sigma b = 8,50$	

LM est donc une limite de salure.

5° Que sur la section NO la dureté s'est annulée et que l'eau est caractérisée par :

m N° 74	m CO <sup>3</sup> = 5,00	m Ca = 0,00	Th = 0,00°
	m SO <sup>4</sup> = 3,00	m Mg = 0,00	Ta = 25,00°
	m Cl = 0,50	m Na = 0,50	Tn = 40,00°
	$\Sigma a = 8,50$	$\Sigma b = 8,50$	

6° Que de la section NO à la section CD la composition chimique de l'eau reste déterminée par l'analyse n° 74, puisque les échanges de bases deviennent impossibles, eau et zéolites étant uniquement sodiques.

On comprend dès lors pourquoi les zones des eaux dures, des échanges de bases et de salure se succèdent dans les massifs

(6) *Le titre natronique*, première note, p. 165.

(7) Il serait plus exact de dire la zone des échanges de bases principaux, puisque ces échanges commencent dans la zone des eaux dures et se poursuivent dans la zone de salure,

dessalés, dont les sédiments contiennent des corps à fonctions zéolitiques ou de véritables zéolites.

Bien entendu, les phénomènes qui se terminent dans les appareils adoucisseurs après la traversée de quelques décimètres de zéolites de synthèse par l'eau ne se réalisent dans la nature que sur de longs parcours souterrains. Ceci est la conséquence de l'abondance des sédiments inertes vis-à-vis des corps à fonctions zéolitiques.

En pratique, il faut que l'eau circule dans le sous-sol sur des trajets de plusieurs kilomètres pour que soient entièrement reproduits les phénomènes qui se déroulent sur quelques décimètres de masse zéolitique de synthèse.

#### V. — L'AIRE DES EAUX SODIQUES.

Les précédentes déductions nous ont permis de suivre les variations de la composition chimique des eaux depuis la zone des eaux dures jusqu'à la limite de salure où elles atteignent l'aire des eaux sodiques.

Les eaux qui traversent la limite de salure sont d'origine météorique. L'eau pluviale, en s'infiltrant, a d'abord dissous des matières empruntées aux roches ou provenant de leur attaque par les acides carbonique et sulfurique. Puis les échanges de bases sont intervenus de telle sorte qu'en traversant la limite de salure l'eau est sodique et ne titre plus que six degrés français.

Nous pouvons donc dire : s'il existe un massif dessalé, les eaux d'origine météorique ne peuvent atteindre l'aire des eaux sodiques qu'après l'avoir traversée, subi les échanges de bases principaux et s'être ainsi transformées en eaux douces sodiques (5).

*L'étude de la composition chimique des eaux salées et sur-salées revient donc à celle du mélange à des titres variables d'eau douce sodique avec l'eau connée, avec l'eau marine contemporaine de la sédimentation.*

Pour simplifier nos calculs, supposons que l'eau douce sodique, quand elle est caractérisée par une dureté nulle, répond à la composition suivante :

mN° 75	mCO <sup>3</sup> = 5,00	mCa = 0,00	Th = 0,00°
	mSO <sup>4</sup> = 3,00	mMg = 0,00	Ta = 25,00°
	mCl = 2,00	mNa = 10,00	Tn = 40,00°
	$\Sigma a = 10,00$	$\Sigma b = 10,00$	

Cette eau diffère de celle définie par l'analyse n° 74, parce qu'en pénétrant dans l'aire des eaux sodiques, pour s'y adoucir de 6 à 0 degrés, elle a rencontré des vestiges de l'eau connée. Les millivalences chlore ont ainsi notablement augmenté. Les millivalences CO<sub>3</sub> et SO<sub>4</sub> ont pu augmenter aussi, mais dans des proportions négligeables ainsi que nous le verrons plus loin.

Nous allons maintenant établir la composition des mélanges à des titres variables de l'eau A répondant à l'analyse m n° 75, d'abord avec l'eau marine contemporaine, donc à TB négatif, puis avec une eau marine révolue à TB positif.

Nous nous dispenserons de passer pour l'instant aux notations spécifiques en définissant le tété vrai : Tb.

Nous poserons ainsi :

$$Tb = 5 \text{ m Ca} - 5 \text{ m SO}^4 - 5 \text{ m CO}^3 - 5 \text{ m NO}^3.$$

Il est bien clair que TB et Tb sont proportionnels. Si TB est nul, Tb l'est aussi. TB et Tb d'une même eau sont toujours de même signe. Tb se compare facilement à la dureté totale, au titre natronique et au titre alcalimétrique de l'eau, à sa concentration réelle. Il s'exprime en degrés hydrotimétriques français et indique la part de la dureté due au chlorure de calcium.

#### VI. — COMPOSITION CHIMIQUE DES MÉLANGES D'EAU DOUCE SODIQUE ET D'EAU MARINE CONTEMPORAINE.

Considérons une eau douce sodique A correspondant à l'analyse m n° 75. Considérons également l'eau marine contemporaine B <sup>(8)</sup> dont nous donnons l'analyse légèrement simplifiée ci-dessous :

B ou m N° 31	m CO <sup>3</sup> = 2,40	m Ca = 21,60	Th = <b>636,00°</b>
	m SO <sup>4</sup> = 55,20	m Mg = 105,60	Ta = <b>12,00°</b>
	m Cl = 542,40	m Na = 472,80	Tn = <b>-348,00°</b>
	Σa = 600,00	Σb = 600,00	Tb = <b>-180°</b>

Mélangeons 900 volumes de l'eau A à 100 volumes de l'eau B. Si aucune précipitation ne se produit <sup>(9)</sup>, la composition des

<sup>(8)</sup> *Le titre natronique*, deuxième note, p. 117.

<sup>(9)</sup> Nous y reviendrons plus loin. Nous supposons en outre, pour rendre notre démonstration plus rigoureuse, que les eaux A et B sont toutes deux à une même température voisine de 10° et que le mélange est lui-même maintenu à cette température.



matières dissoutes dans un litre du mélange sera donnée en millivalences par :

$$m\text{CO}^3 = [(5 \times 900) + (2,40 \times 100)] : 1.000 = 4,74$$

$$m\text{SO}^4 = [(3 \times 900) + (55,20 \times 100)] : 1.000 = 8,22$$

$$m\text{Cl} = [(2 \times 900) + (542,40 \times 100)] : 1.000 = 56,04$$

$$m\text{Ca} = (21,60 \times 100) : 1.000 = 2,16$$

$$m\text{Mg} = (105,60 \times 100) : 1.000 = 10,56$$

$$m\text{Na} = [(10,00 \times 900) + (472,80 \times 100)] : 1.000 = 56,28.$$

Au titre 100 B pour 1.000 de mélange correspondra ainsi :

$$m\text{CO}^3 = 4,74 \quad m\text{Ca} = 2,16 \quad \text{Th} = 63,60^\circ$$

$$m\text{SO}^4 = 8,22 \quad m\text{Mg} = 10,56 \quad \text{Ta} = 23,70^\circ$$

$$m\text{Cl} = \underline{56,04} \quad m\text{Na} = \underline{56,28} \quad \text{Tn} = 1,20^\circ$$

$$\Sigma a = 69,00 \quad \Sigma b = 69,00 \quad \text{Tb} = - 54,00^\circ.$$

Nous obtenons dans ce cas une eau sursalée, très légèrement natronique.

Établissons de la même façon la composition des eaux à différents titres en eau B. Nous obtenons ainsi le tableau VIII.

TABLEAU VIII.

N°	Composition	m CO <sup>3</sup>	m SO <sup>4</sup>	m CL	m Ca	m Mg	m Na	Σa
75	1000 A	5,00	3,00	2,00	0,00	0,00	10,00	10,00
76	999 A + B	5,00	3,05	2,54	0,02	0,11	10,46	10,59
77	991 A + 9 B	4,98	3,47	6,86	0,19	0,95	14,17	15,31
78	990 A + 10 B	4,97	3,52	7,41	0,22	1,06	14,62	15,90
79	900 A + 100 B	4,74	8,22	56,04	2,16	10,56	56,28	69,00
80	897 A + 103 B	4,73	8,38	57,66	2,22	10,88	57,67	70,77
81	896 A + 104 B	4,73	8,43	58,20	2,25	10,98	58,13	71,36
82	890 A + 110 B	4,71	8,74	61,45	2,38	11,62	60,90	74,90
83	500 B + 500 B	3,70	29,10	272,20	10,80	52,80	241,40	305,00
31	1000 B	2,40	55,20	542,40	21,60	105,60	472,80	600,00

A ces analyses correspondent les titres vrais indiqués au tableau suivant :

TABLEAU IX.

N°	Composition	Th	Tn	Ta	Tb	Eaux
75	1000 A	0,00°	40,00°	25,00°	- 40,00	Douces sodiques
76	999 A + B	0,65	39,60	25,00	- 40,15	
77	991 A + 9 B	5,70	36,55	24,90	- 41,30	

**Limite de sursalure (Th=6°).**

78	990 A + 10 B	6,40°	36,05°	24,85°	- 42,35	Sursalées natroniques
79	900 A + 100 B	63,60	1,20	23,70	- 54,00	
80	897 A + 103 B	65,50	0,05	23,65	- 54,45	

**Limite de carbonation (Th=0).**

81	896 A + 104 B	66,15°	- 0,35	23,65°	- 54,55	Sursalées anatroniques
82	890 A + 110 B	70,00	- 2,75	23,55	- 55,30	
83	500 A + 500 B	318,00	-154,00	18,50	-110,00	
31	1000 B	636,00	-348,00	12,00	-180,00	

Le tableau IX montre que le mélange d'une eau douce sodique A à l'eau marine contemporaine B donne :

1° Entre les concentrations (ou titre en eau connée) de zéro à 9 ‰, de l'eau douce sodique (dureté inférieure à 6°, titre natronique positif);

2° Entre les concentrations de 10 à 103 ‰, de l'eau sursalée natronique (dureté supérieure à 6°, titre natronique positif);

3° Entre les concentrations de 104 à 1.000 ‰, de l'eau sursalée anatronique (dureté supérieure à 6°, titre natronique négatif).

Il est à remarquer que le Tb est négatif quel que soit le titre du mélange.

*Si donc toutes les eaux connées avaient possédé et conservé la composition de l'eau marine contemporaine, leur mélange à de*

*l'eau douce sodique n'aurait jamais produit d'eaux sursalées anatroniques à Tb positif* <sup>(10)</sup>.

Or, on rencontre indubitablement ces dernières dans les formations géologiques comprises du crétacé supérieur au précambrien.

Il paraît donc intéressant de refaire les calculs en partant du mélange de la même eau connée A avec une eau sursalée anatronique B' dont le Tb serait positif. Rappelons à ce sujet que dans la deuxième note sur le titre natronique nous avons cherché à établir que des eaux marines révolues avaient été caractérisées par un TB positif, condition qui entraîne, avons-nous dit,  $Tb > 0$ .

**VII. — LE MÉLANGE DE L'EAU DOUCE SODIQUE  
A L'EAU SURSALÉE ANATRONIQUE A TB POSITIF.**

Considérons une eau B' caractérisée par l'analyse ci-dessous :

m N° 84	m CO <sup>3</sup> =	0,00	m Ca =	100,00	Th =	900,00°
	m SO <sup>4</sup> =	0,00	m Mg =	80,00	Ta =	0,00°
	m Cl =	<u>1.000,00</u>	m Na =	<u>820,00</u>	Tn =	- 900,00°
	Σ a =	1.000,00	Σ b =	1.000,00	Tb =	500,00°

C'est une sursalée anatronique à Tb positif. On calcule sans difficulté sa salinité. Elle est  $S = 57.320$ . Reconnaissons nos calculs de mélange en partant de cette eau considérée comme eau connée et l'eau A douce sodique déjà définie. Nous obtenons ainsi le tableau X.

Au moyen des chiffres du tableau X, calculons maintenant la dureté et les titres vrais. Calculons aussi les salinités. Nous obtenons ainsi le tableau XI.

Le tableau n° XI, nous montre que :

1° Aux concentrations variant entre 0 et 6 ‰ en eau B', les eaux possèdent une dureté inférieure à 6° et sont par conséquent douces sodiques.

2° La limite de sursalure caractérisée par  $Th = 6°$  vient se placer entre les concentrations de 6 et 7 ‰.

<sup>(10)</sup> Rappelons encore que nous n'examinons pour l'instant que le mélange des eaux et faisons l'hypothèse que les combinaisons chimiques se réalisant dans des solutions salines déjà complexes ne produisent pas de précipité. Nous avons déjà dit (note 9) que nous reviendrons sur ces questions au cours de ce travail.

3° Entre les concentrations de 7 à 42 ‰ les eaux sont sursalées natroniques.

4° La limite de carbonatation ( $T_n = 0$ ) est atteinte entre les concentrations de 42 et 43 ‰.

5° Entre les concentrations variant de 43 à 74 ‰, le titre natronique et le Tb sont négatifs. Les eaux sont sursalées et anatroniques mais à Tb négatif. Nous dirons qu'elles sont *paraconnées*.

TABLEAU X.

N°	Composition	m CO <sup>3</sup>	m SO <sup>4</sup>	m Cl	m Ca	m Mg	m Na	Σ a
75	1000 A	5,00	3,00	2,00	0,00	0,00	10,00	10,00
85	900 A + B'	5,00	3,00	2,99	0,10	0,08	10,81	10,99
86	995 A + 5 B'	4,98	2,98	6,99	0,50	0,40	14,05	14,95
87	994 A + 6 B'	4,97	2,98	7,99	0,60	0,48	14,86	15,94
88	993 A + 7 B	4,97	2,98	8,98	0,70	0,56	15,67	16,93
89	990 A + 10 B'	4,95	2,97	11,98	1,00	0,80	18,10	19,90
90	980 A + 20 B'	4,90	2,94	21,96	2,00	1,60	26,20	29,80
91	960 A + 40 B'	4,80	2,88	41,92	4,00	3,20	42,40	49,60
92	958 A + 42 B'	4,79	2,87	43,92	4,20	3,36	44,02	51,59
93	957 A + 43 B'	4,79	2,87	44,91	4,30	3,44	44,83	52,57
94	950 A + 50 B'	4,75	2,85	51,90	5,00	4,00	50,50	59,50
95	930 A + 70 B'	4,65	2,79	71,86	7,00	5,60	66,70	79,30
96	926 A + 74 B'	4,63	2,78	75,85	7,40	5,92	69,94	83,26
97	925 A + 75 B'	4,63	2,77	76,85	7,50	6,00	70,75	84,25
98	900 A + 100 B'	4,50	2,70	101,80	10,00	8,00	91,00	109,00
99	800 A + 200 B'	4,00	2,40	201,60	20,00	16,00	172,00	208,00
100	700 A + 300 B'	3,50	2,10	301,40	30,00	24,00	253,00	307,00
101	500 A + 500 B'	2,50	1,50	501,40	50,00	40,00	415,00	505,00
84	1000 B'	0,00	0,00	1000,00	100,00	80,00	820,00	1000,00

6° Entre les concentrations de 74 et 75 ‰, vient se placer une limite caractérisée par  $T_b = 0$ , que nous appellerons *ligne des tébés-nuls*.

7° Enfin, à partir de la concentration de 75 ‰ en eau B', les mélanges sont caractérisés par un titre natronique négatif et un Tb positif. Ces eaux sursalées anatroniques à Tb positif seront désignées sous le nom de *perconnées*.

TABLEAU XI

N°	Composition	Th	Ta	Tn	Tb	s	Eaux
75	1000 A	0,00	25,00	40,00	- 40,00	595	Douces sodiques
85	999 A + B'	0,90	25,00	39,10	- 39,50	652	
86	995 A + 5 B'	4,50	24,90	35,30	- 37,30	880	
87	994 A + 6 B'	5,24	24,85	35,35	- 36,75	935	
<b>Limite de sursalure (Th=6°).</b>							
88	993 A + 7 B'	6,30	24,85	33,45	- 36,25	992	Sursalées natroniques
89	990 A + 10 B'	9,00	24,75	30,60	- 34,60	1.162	
90	980 A + 20 B'	18,00	24,50	21,20	- 29,20	1.730	
91	960 A + 40 B'	36,00	24,00	2,40	- 18,40	2.864	
92	958 A + 42 B'	37,80	23,95	0,50	- 17,30	2.977	
<b>Limite de carbonatation (Th=0).</b>							
93	957 A + 43 B'	38,80	23,95	- 0,40	- 16,80	3.034	Paraconnées
94	950 A + 50 B'	54,00	23,50	- 16,40	- 7,60	3.431	
95	930 A + 70 B'	63,00	23,25	- 25,80	- 2,20	4.566	
96	926 A + 74 B'	66,00	23,15	- 29,55	- 0,05	4.793	
<b>Ligne des Tébés nuls (Tb=0).</b>							
97	925 A + 75 B'	67,50	23,15	- 30,50	0,50	4.849	Perconnées
98	900 A + 100 B'	90,00	22,50	- 54,00	14,00	6.268	
99	800 A + 200 B'	180,00	20,00	-148,00	68,00	16.224	
100	700 A + 300 B'	270,00	17,50	-242,00	122,00	21.361	
101	500 A + 500 B'	450,00	12,50	-430,00	230,00	28.908	
84	1000 B'	900,00	0,00	-900,00	500,00	57.320	

Nous avons, dans le § 6, donné les motifs de la variation de la composition chimique des eaux dans les massifs dessalés. Nous venons maintenant de montrer pourquoi le mélange de l'eau d'origine météorique avec l'eau connée reproduit bien la succession des zones que nous avons déterminée dans les aires à eaux sodiques par l'analyse de très nombreuses eaux souterraines.

Il est à remarquer que le titre en eau connée varie dans l'aire des eaux sodiques, parce que le pourcentage d'eau d'infiltration diminue au fur et à mesure que la trajectoire des filets liquides s'allonge.

Si  $Q$  est supposé le débit total de l'infiltration pour un courant souterrain déterminé, on conçoit fort bien que le débit  $q_1$  des sources à eaux acides retourne au cycle de l'eau, ne laissant que  $Q - q_1$  se déverser dans la zone des eaux agressives. De même à la traversée de la limite de neutralité le débit total du courant sera exprimé par  $Q - q_1 - q_2$  dans lequel  $q_2$  est le débit total des sources à eaux agressives et ainsi de suite.

Il ne passera donc au delà de la limite de salure qu'une faible partie du débit infiltré qui deviendra plus réduite encore au-dessus de la limite de sursalure et presque nulle au delà de la ligne des TB nuls.

D'ailleurs en Belgique, par exemple, les aires à eaux sodiques ne sont connues que par l'œuvre humaine : puits artésiens ou travaux miniers. Dans d'autres pays plus étendus et mieux partagés on connaît bien des douces sodiques, des sursalées natroniques, des paraconnées et même des perconnées naturelles, jaillissant de sources de failles, mais leur débit totalisé est bien faible si on le compare à l'énormité des débits infiltrés.

### VIII. — LES ACTIONS PERTURBATRICES.

Les calculs de mélanges que nous venons d'effectuer par de simples règles de trois l'ont été en faisant des hypothèses bien déterminées.

Nous avons d'abord supposé que le mélange des eaux A et B' n'entraînait pas la formation de composés insolubles. Il convient de vérifier s'il en est ainsi.

Nous avons dit aussi pour justifier l'analyse n° 75 que les millivalences  $CO_3$  et  $SO_4$  augmentaient peu, au début de la zone de salure. Les analyses 75, 85, 86 et 87 nous montrent qu'il en est bien ainsi. (Tableaux X et XI.)

Nous avons, d'autre part, examiné le mélange des eaux, sans nous préoccuper des réactions chimiques qui peuvent se réaliser à la faveur ou au détriment des roches encaissantes.

Nous devons donc étudier ces réactions et, en particulier, les échanges de bases qui se continuent tout au moins dans la zone de salure.

Enfin, pour la commodité de nos raisonnements, nous avons supposé que les eaux A et B' ainsi que leurs mélanges à des titres divers avaient une température constante et voisine de 10°. Or, la température des eaux souterraines est fonction de la profondeur à laquelle elles sont captées et des valeurs variables du gradient géothermique. Même en Belgique, nous connaissons des venues d'eaux naturelles ou artificielles de température élevée (Chaufontaine, Sirault, Baudour).

Dans les Vosges, le Robinet Romain de Plombières émerge à 70°. La Cascade des Graus d'Olette fournit des eaux à 79,10°. La source française la plus chaude connue est le Par de Chaus-sedaigues (Cantal). Ses eaux ont 81° <sup>(11)</sup>.

Mais il existe des eaux plus thermales encore dans d'autres pays. En outre la technique du sondage moderne permet maintenant de forer des puits de plus de 4.500 m. On a pu ainsi constater des températures atteignant 130°.

Il conviendra donc d'étudier les effets produits par l'élévation de la température sur la composition chimique des eaux souterraines. *Ces effets thermiques* auront aussi, nous le verrons plus loin, pour résultat de modifier profondément les roches mouillées par les eaux errantes. *Suivant que ces dernières seront natroniques ou anatroniques, le métamorphisme géothermal ou hydrothermal manifestera ses effets suivant des lois dont je pourrai seulement énoncer la principale dans ce travail.*

Examinons donc l'une après l'autre ces actions perturbatrices.

#### IX. — RÉACTIONS CHIMIQUES

##### A TEMPÉRATURE CONSTANTE ENTRE UNE EAU DOUCE SODIQUE ET UNE EAU SURSALÉE ANATRONIQUE.

Les eaux A et B' ont une composition chimique relativement simple. Nous pouvons les constituer artificiellement. Il serait trop long d'énumérer ici les précautions multiples que néces-

(11) Ces renseignements sont empruntés à l'admirable travail de JACQUOT et WILLM, *Les Eaux minérales de la France*.

site pareil travail. Grâce au concours dévoué de M. Léopold Meunier, chef de Laboratoire à la Société carbochimique à Tertre, j'ai pu disposer de deux eaux répondant exactement aux analyses 74 et 75. Puis les mélanges suivants ont été faits :

1.000 A	correspondant à l'analyse N° 74	
990 A + 10 B'	”	N° 89
950 A + 50 B'	”	N° 94
900 A + 100 B'	”	N° 98
500 A + 500 B'	”	N° 101
1.000 B'	”	N° 84

Les eaux ainsi obtenues ont été abandonnées à la température ambiante d'un laboratoire pendant 50 jours. Elles ont ensuite été examinées. On a pu se convaincre ainsi qu'elles étaient restées parfaitement claires. Aucun précipité, si minime soit-il, ne s'est produit.

Des combinaisons chimiques entre sels natroniques et sels anatroniques se sont certainement produites pourtant <sup>(12)</sup>. Mais les ions mis en présence sont tous restés intégrés dans des composés salins, solubles aux concentrations de nos expériences.

Or, la notation en millivalences a l'avantage de ne préjuger d'aucune combinaison entre anions et cations.

Je crois donc pouvoir conclure *qu'à la température ambiante*, le mélange en proportion variable des eaux A et B' est exactement traduit par les analyses en millivalences du tableau X.

Il reste entendu qu'aucun apport ou échange de matière ne peut s'opérer entre l'eau et le vase qui la contient. Le vase doit donc être inattaquable par les différents mélanges réalisés.

#### X. — LES ÉCHANGES DE BASES DANS LES AIRES A EAU SODIQUE.

Les sédiments des couches aquifères contiennent des zéolites ou des corps à fonctions zéolitiques. Dans la zone de salure, les échanges de bases se poursuivent. La dureté de l'eau, qui est de 6° sur la limite de salure, descend, ainsi que de nombreuses constatations le démontrent, aux environs de zéro degré en certains points de la zone des eaux douces sodiques. Il s'ensuit.

(12) Nous serons amené à examiner ces réactions lors de l'étude des lacs de bassin clos et des eaux limno-connées. Pour l'instant il est plus simple de constater seulement que ces combinaisons chimiques se réalisent sans précipitation de composés insolubles *aux concentrations envisagées*.

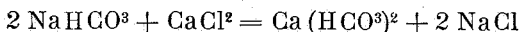


donc que les duretés calculées au tableau XI sont trop fortes, parce que nous nous sommes borné à étudier uniquement le mélange au point de vue arithmétique, sans nous préoccuper des échanges de bases.

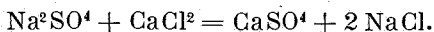
La zone de salure s'étend donc plus loin que la concentration 6 B'. La zone des sursalées natroniques est réduite d'autant du côté de celle des eaux douces sodiques, mais étendue au delà de la concentration 43 B'. Il y a de la sorte *déplacement* des limites de salure et de carbonatation. *Mais la succession des zones reste la même.* C'est ainsi qu'en Basse et Moyenne Belgique les eaux demeurent douces sodiques jusqu'à la salinité de 3.000. Celles des sables verts du Bassin de Paris ne passent en sursalure qu'au-dessus de la salinité 1.700, alors que les eaux sursalées les moins salines du tableau XI ont une salinité de 992 milligrammes par litre seulement.

D'autre part, l'eau A a zéro degré hydrotimétrique. Elle peut donc régénérer des corps à fonction zéolitique et former du chlorure de calcium.

Mais tant que l'eau est natronique, ce chlorure est absorbé par les réactions :



et



Ces deux égalités ont été vérifiées et se réalisent à la température ambiante.

Il en résulte que la limite de carbonatation ne peut dans la nature être franchie par des eaux errantes contenant du chlorure de calcium.

*Le chlorure de calcium des eaux perconnées a donc pour origine l'eau connée.* Il était contenu dans l'eau contemporaine de la sédimentation où il s'y est formé au détriment d'autres chlorures après cette sédimentation <sup>(13)</sup>.

#### XI. — LES EFFETS THERMIQUES.

L'élévation de la température des eaux au cours de leur trajet souterrain aura des effets très différents suivant que celles-ci seront natroniques ou anatroniques.

Dans le premier cas, il faudra que la température soit élevée

(13) Toujours bien entendu si le sens primitif du courant n'a pas été inversé par une rupture tectonique récente ou par l'œuvre humaine.

pour que les perturbations thermiques soient sensibles. Avant que les eaux atteignent 100°, le bicarbonate sodique des eaux natroniques sera presque complètement transformé et il se libérera de l'acide carbonique <sup>(14)</sup>.

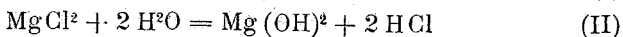
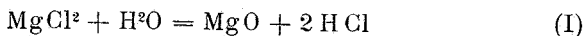
*Le carbonate de sodium* ainsi formé et le sulfate de calcium de l'eau formeront du *sulfate de sodium* et du carbonate de calcium. Ce dernier tapissera les fissures aquifères ou sera repris par l'acide carbonique dérivant du bicarbonate de sodium. Si la température s'élève encore, les bicarbonates de calcium et de magnésium précipiteront. A 100°, la dureté temporaire de l'eau s'annulera. A partir de 120°, le carbonate de soude sera hydrolysé. Il se libérera du nouvel acide carbonique et de la *soude caustique*. Vers 150°, 20 % du carbonate seront ainsi dissociés. A cette température *le sulfate de calcium* est pratiquement insoluble. Il s'intégrera dans les roches de la couche aquifère. L'action du sulfate de soude et de la soude caustique sur certains silicates aura pour résultat de zéolitiser ceux-ci. Ceci donne une explication assez plausible de la présence de zéolites dans les briques romaines des captages de Plombières. Les expériences de Daubrée sont trop connues pour que je m'attarde sur cette question. Mais il n'est pas mauvais, je crois, de signaler que les eaux hyperthermales de Plombières peuvent toutes être assimilées à des douces sodiques. Elles sont par conséquent toutes natroniques.

Quoi qu'il en soit, *pour autant que la température des eaux n'atteigne pas 70°, les chiffres des tableaux XI et XII restent applicables aux eaux natroniques sous les réserves formulées à l'article 10 relativement aux échanges de bases dans les aires à eaux sodiques.*

Si les eaux sont anatroniques, les effets thermiques sont absolument différents.

On sait par l'étude des eaux d'alimentation de chaudières que celles contenant du chlorure de magnésium sont impropres. Le chlorure de magnésium en solution est décomposé par la chaleur. Il se forme de l'*acide chlorhydrique* qui attaque les tôles. Il se précipite de la magnésie.

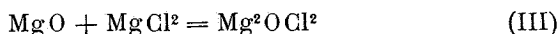
Une eau anatronique contient du chlorure de magnésium. Dès lors les effets thermiques entraînent la décomposition d'une partie du chlorure suivant l'une des formules :



<sup>(14)</sup> La décomposition est déjà très importante à 70°.

La quantité d'acide chlorhydrique libérée augmente avec la température.

Si le chlorure de magnésium restant ne trouve pas, dans l'eau ou dans les sédiments de la couche, de composé plus réactif que la magnésie ou l'hydrate de magnésium, une réaction secondaire se produit :



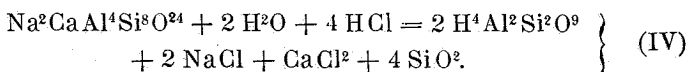
Il se forme ainsi de l'oxychlorure de magnésium <sup>(15)</sup>.

Quelle que soit la réaction invoquée, elle se traduit par la libération d'acide chlorhydrique. Celui-ci réagira sur les sels de l'eau ou sur les roches de la couche aquifère. Des bicarbonates de l'eau seront transformés en chlorures et de l'acide carbonique se libérera, si l'acide chlorhydrique ne trouve pas dans les roches des corps pour lesquels son affinité est plus forte.

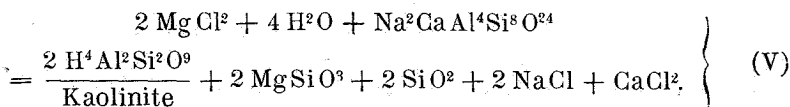
L'acide chlorhydrique pourra ainsi *dissoudre les phosphates* des roches et les entraîner dans l'eau. Il pourra transformer certains monosulfures en chlorures en libérant de l'*hydrogène sulfuré*. L'attaque de certains polysulfures produira du soufre, outre des chlorures métalliques et de l'hydrogène sulfuré.

Si l'acide chlorhydrique ne rencontre que des roches feldspatiques, il les kaolinisera. Le *kaolin profond* ainsi formé sera débarrassé de ses sels et oxydes de fer.

Nous aurons, par exemple, avec le feldspath sodico-calcique, dont nous avons examiné l'attaque par l'acide carbonique au cours de la première note, la réaction empirique suivante :



Elle résulte des effets thermiques sur le chlorure de magnésium de l'eau anatronique et peut se mettre sous la forme empirique :



(15) Cette réaction est utilisée pour l'agglomération des briques réfractaires de magnésie avant cuisson. Elle est à la base du doublage des pierres lithographiques. Je ne pense pas que l'oxychlorure de magnésie soit connu dans la nature. Il n'est néanmoins pas impossible que la réaction III ne joue un rôle dans les phénomènes de lapidification.

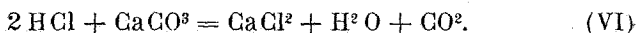
En poids 190 de chlorure de magnésie décomposerait ainsi 802 de feldspath sodico-calcaïque. Mais, ce qui est beaucoup plus important pour l'étude des eaux anatroniques, le chlorure de magnésium de l'eau sera remplacé par du chlorure de sodium et du chlorure de calcium.

*Les effets thermiques auront donc pour résultat d'augmenter le TB des eaux.*

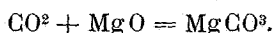
## XII. — LES ÉCHANGES ENTRE MAGNÉSIUM ET CALCIUM.

Examinons maintenant ce qui se passe si les roches aquifères contiennent un minéral très abondant en général dans les couches sédimentaires marines et très facilement attaqué par l'acide chlorhydrique : le calcaire.

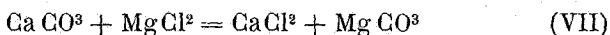
L'acide chlorhydrique provenant des effets thermiques produit



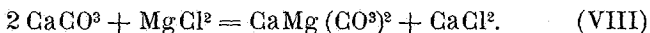
Il se forme du chlorure de calcium et de l'acide carbonique. Si ce dernier ne peut s'échapper, il réagit sur la magnésie produite par la réaction I et on a



L'effet thermique du chlorure de magnésium sur le carbonate de calcium peut donc se traduire par



ou par



Sans nous attarder à rechercher si c'est la réaction (VII) qui se produit, ou si c'est la réaction (VIII) qui *limite* la transformation à la dolomite, examinons quels sont les résultats des effets thermiques sur une eau anatronique.

Les réactions (VII) et (VIII) nous montrent, si elles sont complètes, que tous les équivalents Mg de l'eau sont remplacés par des équivalents Ca.

Dans la pratique, à des températures n'excédant pas 100°, les réactions sont incomplètes et une partie seulement des équivalents Mg est *échangée* contre un nombre égal d'équivalents Ca. *Du chlorure de calcium passe donc dans l'eau. Celle-ci voit par conséquent son TB augmenter.*

En somme les effets thermiques, lorsque la roche aquifère contient suffisamment de calcaire, produisent des échanges de

bases entre ce calcaire et le chlorure de magnésium des eaux anatroniques. Cet échange fait équivalent pour équivalent <sup>(16)</sup>.

### XIII. — VÉRIFICATIONS EXPÉRIMENTALES.

Dans quelles mesures cet échange de bases se réalise-t-il ? Il semble fonction de la température. Il est aussi influencé par la concentration des eaux et par le poids de carbonate de calcium mis en présence du chlorure de magnésium. Ce qui est plus grave, il est fonction du temps et la réaction étant lente, il m'a été jusqu'à présent impossible d'aboutir à des équilibres certains.

Pour fixer les idées, je fais suivre néanmoins les résultats de deux des expériences que M. L. Meunier a exécutées d'après mes données.

On prépare une eau caractérisée par l'analyse :

N° 102	mCO <sup>3</sup> = 0,00	mCa = 0,00	Th = 500°
	mSO <sup>4</sup> = 0,00	mMg = 100,00	Ta = 0°
	mCl = 100,00	mNa = 0,00	Tn = -500°
		mH = 0,00	Tb = 0°
	$\Sigma a = 100,00$	$\Sigma b = 100,00$	Ts = 0°

Dans la première expérience, on ajoute à un litre de cette eau 10.008 mg. de CaCO<sup>3</sup>, soit 200 milliéquivalents. On mélange fréquemment. Puis après cinquante jours on dose la chaux se trouvant dans l'eau. On obtient : CaO = 675 mgr. litre.

Nous avons toute raison de présumer que les millivalences basiques de l'eau sont devenues mCa = 24,11 et mMg = 75,89.

Vingt cinq % environ des équivalents magnésiens auraient donc été remplacés *dans l'eau* par des équivalents calcium <sup>(17)</sup>.

L'expérience a été effectuée à la température ambiante d'un laboratoire privé, du 20 février au 9 avril 1942. L'hiver fut particulièrement long et rigoureux cette année. Le combustible

<sup>(16)</sup> L'équation V nous montre que dans le cas d'un silicate sodico-calcique, deux équivalents Mg sont échangés contre un équivalent Na et un équivalent Ca. Le TB augmente néanmoins. En aucune circonstance il ne peut diminuer.

<sup>(17)</sup> Par le même raisonnement, on pourrait établir que les 200 milliéquivalents CaCO<sup>3</sup> ajoutés sont devenus 200 - 24,11 = 175,89 et que l'insoluble s'est additionné de 24,11 milliéquivalents MgCO<sup>3</sup>. Le calcaire ajouté est donc devenu un calcaire magnésien à 12,06 % d'équivalents magnésiens.

était rationné. Il y a donc tout lieu de croire que la température du laboratoire s'est élevée pendant le cours de l'opération et que les effets thermiques ont joué un rôle.

Dans la deuxième expérience, faite en utilisant la même eau, la moitié seulement de calcaire a été ajoutée, soit 5.004 mgr. de carbonate de calcium précipité de Merk. L'eau ainsi additionnée a été maintenue pendant dix heures à la température de 100°. Le ballon servant à l'essai était recouvert d'un appareil à reflux pour éviter les pertes d'eau.

L'analyse de la solution refroidie et de l'insoluble a donné :

N° 104 *Solution.*

Alcalinité ou acidité . . . . .	néant
Chlore en Cl . . . . .	3.550 mgrs litre
CaO . . . . .	1.170 mgrs litre
MgO . . . . .	1.162 mgrs litre.

N° 105 *Insoluble total.*

CO <sup>2</sup> combiné . . . . .	1.874 mgrs litre.
-----------------------------------	-------------------

L'analyse de l'eau en millivalences se traduit par :

mCO <sup>3</sup> = 0,00	mCa = 41,79	Th = 497,15
mSO <sup>4</sup> = 0,00	mMg = 57,64	Ta = 0,00
mCl = 100,00	mH = 0,00	Tn = - 500,00
Σa = 100,00	Σb = 99,43	Tb = + 208,95

Dans ce cas 42 % environ des équivalents Mg de l'eau ont été remplacés par effet thermique par des équivalents Ca. Le Tb est passé de 0 à +208,95, pendant que le titre natronique restait constant et égal à -500°. La dureté n'a varié que dans les limites de la précision des analyses (18).

Mais si nous retrouvons tout le chlore dans la solution, nous ne retrouvons qu'une partie du CO<sup>2</sup> combiné dans l'insoluble (85,18 milliéquivalents au lieu de 100).

(18) Si nous passions aux notations spécifiques, nous pourrions dire que les effets thermiques ne modifient ni la dureté *spécifique* TH ni le titre natronique *spécifique* TN. Par contre, ils augmentent le TB.

La composition de celui-ci doit être à peu près la suivante :

CaCO <sup>3</sup>	2.912,82	58,21
MgCO <sup>3</sup>	1.161,09	27,54
MgO	298,77	14,82
	<u>4.352,68</u>	<u>100,57 + 99,43 = 200,00</u>

Nous obtenons de la sorte un calcaire magnésien mélangé de magnésie <sup>(19)</sup>.

De ce qui précède nous pouvons conclure :

*En présence de calcaire et sous les effets thermiques une eau anatronique échange du magnésium contre du calcium.* Mais comme cet échange se fait équivalent pour équivalent, la *dureté totale des eaux n'est pas modifiée.* Ceci n'est vrai que pour des températures inférieures à 100°. Au delà, les bicarbonates qui peuvent se trouver en faible quantité dans certaines eaux sur-salées anatroniques précipitent et la dureté diminue légèrement.

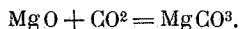
*Les mêmes effets thermiques produisent la décalcification des sédiments des couches aquifères, qui s'enrichissent en magnésie, qu'ils soient calcareux ou silicatés.*

#### XIV. — VARIATION DE LA COMPOSITION CHIMIQUE DES EAUX CONNÉES A TRAVERS LE TEMPS.

Les eaux connées sont, répétons-le, des eaux marines révolues. Elles sont donc nécessairement anatroniques. L'eau B' du

---

<sup>(19)</sup> L'association dolomie-périclase n'est pas exceptionnelle dans la nature. Mais notre expérience a libéré de l'acide carbonique combiné. En couche aquifère captive, celui-ci se serait combiné à la magnésie libérée. On aurait eu



La composition de l'insoluble aurait été ainsi en équivalents :

$$\text{CaCO}^3 = 58,21, \quad \text{MgCO}^3 = 40,36.$$

Cette composition *chimique* se rapproche déjà beaucoup de celle de la dolomie normale.

En reproduisant l'expérience avec 50 milliéquivalents CaCO<sup>3</sup> au lieu de 100 et opérant 25 heures au lieu de 10, nous avons obtenu un composé plus magnésien que la dolomie normale mais l'essai a été contrarié par la mauvaise qualité du verre employé.

tableau X y est considérée comme l'eau cent pour cent connée. Elle répond à l'analyse *spécifique* :

N° 106

MCO <sup>3</sup> = 0,00	M Ca = 5,00	TH = 45,00°	TA = 0,00
MSO <sup>4</sup> = 0,00	MMg = 4,00	TC = 250,00°	TSO <sup>4</sup> = 0,00
MCl = 50,00	MNa = 41,00	TN = — 45,00°	TB = 25,00
	<u>50,00</u>	<u>50,00</u>	

Cette composition caractérise l'eau à la température de l'expérience, soit à la température ambiante dans le cas du tableau X.

En présence de calcaire et sous les effets thermiques, cette eau échangera du magnésium contre du calcium. L'eau n° 106, en supposant que l'échange puisse être complet, tendra sous les effets thermiques vers la composition suivante :

N° 107

MCO <sup>3</sup> = 0,00	M Ca = 9,00	TH = 45,00	TA = 0,00°
MSO <sup>4</sup> = 0,00	MMg = 0,00	TC = 250,00	TSO <sup>4</sup> = 0,00°
MCl = 50,00	MNa = 41,00	TN = — 45,00	TB = + 45,00°
	<u>50,00</u>	<u>50,00</u>	

Dans ce cas *tous les titres spécifiques restent constants* quels que soient les effets thermiques, *sauf le TB qui augmente*. Ceci est également vrai à des températures supérieures à 100°, puisque l'eau n° 106 ne contient ni bicarbonates, ni sulfates.

Considérons maintenant un cas plus complexe et supposons que l'eau connée ait exactement la composition chimique de l'eau marine contemporaine. Rappelons que *l'eau océanique contemporaine est parmi les eaux marines celles dont le TSO<sup>4</sup> est le plus grand et dont le TB est le plus petit*.

Donnons une analyse simplifiée de cette eau :

N° 108

MCO <sup>3</sup> = 0,20	M Ca = 1,80	TH = — 53,00	TA = 1,00
MSO <sup>4</sup> = 4,60	MMg = 8,80	TC = 226,00	TSO <sup>4</sup> = 23,00
MCl = 45,20	MNa = 39,50	TN = — 29,00	TC = — 15,00
	<u>50,00</u>	<u>50,00</u>	

Les effets thermiques pourront avoir au maximum pour résultat d'annuler la valeur de MMg et de porter celle de M Ca à 1,80 + 8,80 = 10,60. Dans cette hypothèse, à des températures inférieures à 100°, tous les titres spécifiques resteront encore



constants, sauf le TB qui passera de  $-15,00^{\circ}$  à  $+29,00^{\circ}$  (20). *De paraconnée qu'elle était l'eau marine contemporaine sera devenue perconnée par le fait des effets thermiques.*

Il résulte de ce qui précède *que tous les titres spécifiques d'une eau connée restent pratiquement constants à travers les temps, sauf le TB qui peut augmenter du fait des effets thermiques.* Enfouie dans les profondeurs d'une aire de subsidence, une eau paraconnée peut ainsi devenir perconnée.

De la sorte *l'analyse d'une eau de la zone des chlorures ne permet pas de préjuger le rapport chaux-magnésie de l'eau marine contemporaine de la sédimentation qu'elle contient en mélange.*

Mais l'âge géologique de cette eau pourra vraisemblablement être établi plus tard quand on possédera suffisamment de renseignements analytiques sur les eaux sursalées anatroniques (21). C'est ce que nous allons essayer de montrer.

#### XV. — L'HYPOTHÈSE DE STERRY-HUNT.

Nous donnons ci-dessous quelques analyses d'eaux de la zone des chlorures que nous faisons précéder de celle de l'eau marine contemporaine.

(20) Si la température dépasse  $100^{\circ}$ , les bicarbonates précipitent, mais en raison de la faible valeur de TA, ce dépôt a fort peu d'importance sur les titres spécifiques.

Dans la même hypothèse, à partir de  $100^{\circ}$ , la solubilité du sulfate de calcium diminue pour s'annuler pratiquement à  $140^{\circ}$ . A cette température l'eau serait ainsi devenue :

<i>Précipité</i>	MCO <sup>3</sup> = 0,20	MCa = 4,80
	MSO <sup>4</sup> = 4,60	
<i>en Solution</i>	MCl = 45,20	MCa = 5,80
		MNa = 39,40.

L'analyse spécifique de l'eau ainsi débarrassée de ses sulfates et carbonates serait :

N° 109	MCO <sup>3</sup> = 0	MCa = 6,42	TH = 32,10	TA = 0,00
	MSO <sup>4</sup> = 0	MMg = 0,00	TC = 250,00	TSO <sup>4</sup> = 0,00
	MCl = 50,00	MNa = 43,58	TN = -32,10	TB = 32,10

Dans ce cas tous les titres ont varié sauf le TN *qui reste pratiquement constant.* Le titre natronique d'une eau connée hyperthermale n'est donc pas sensiblement influencé par les effets thermiques même au delà de  $140^{\circ}$  centigrades.

(21) Je ne dispose actuellement que d'une centaine d'analyses complètes d'eaux artésiennes de la zone des chlorures.

L'eau du puits artésien d'Amiens est celle captée dans le niveau aquifère bathonien (50 m. 3 heures à 530 m. sous le sol <sup>(22)</sup>).

L'analyse suivante caractérise une eau du houiller rencontrée vers 1.500 m. par un sondage souterrain au Rieu-du-Cœur, à Quaregnon (analyste L. Meunier).

Les dernières analyses sont celles d'eaux captées dans les formations précambriennes du Canada et de la Colombie Britannique.

Les emplacements des forages sont :

Puits de Bowerman's mills, Whitby, Canada (analyste Sterry-Hunt); puits de 58 m., à Manitoulin Island, Lake Huron (analyste Sterry-Hunt); forage de Kanab-Creek, Port Hanley, Colombie Britannique (analyste Wait) <sup>(23)</sup>. Nous donnons au tableau XII les analyses spécifiques pour pouvoir comparer plus facilement des eaux de salinité fort différente.

TABLEAU XII.

N°		MCO <sup>3</sup>	MSO <sup>4</sup>	M(Cl+Br)	M Ca	M Mg	M(Na+K)	S
31	Eau marine contemporaine	0,20	4,60	45,20	1,80	8,80	39,40	34,757
110	Amiens	1,28	1,80	46,92	3,38	4,17	42,45	18,210
111	Quaregnon	0,06	0,00	49,94	8,42	4,24	37,34	132,530
112	Bowerman's mills	0,09	0,00	49,91	18,77	11,94	19,29	46,300
113	Manitoulin	0,00	0,00	50,00	28,46	9,75	11,79	21,660
114	Kanab Creek	0,00	0,00	50,00	43,20	0,08	6,72	48,500

Le tableau XIII fournit les titres spécifiques.

Sterry-Hunt a commenté les résultats des analyses des eaux de Bowerman's mills et de Manitoulin Island. Il a prétendu que les océans précambriens étaient beaucoup plus riches en calcium et en magnésium que les mers contemporaines. L'opinion paraît aujourd'hui très soutenable, à cela près qu'il est

<sup>(22)</sup> E. LEROUX et P. PRUVOST, Résultats géologiques d'un sondage profond à Amiens (*Ann. de la Soc. géol. du Nord*, t. LX, 5 juin 1935, pp. 70-99).

<sup>(23)</sup> Nous renvoyons au travail de CLARKE : C. 181, B, C et F.

difficile de préjuger du rapport calcium à magnésium d'eaux qui ont pu subir des effets thermiques. En réalité les analyses de Sterry-Hunt montrent que la dureté spécifique des eaux marines précambriennes était beaucoup plus élevée que celle des eaux océaniques contemporaines.

TABLEAU XIII.

N°		TA	TSO <sup>4</sup>	TC	TH	TN	TB
31	Eau marine contemporaine	1,00	15,00	226,00	53,00	- 29,00	- 15,00
110	Amiens	6,40	0,00	234,60	57,75	- 22,35	+ 1,50
111	Quaregnon	0,30	0,00	249,70	63,30	- 63,00	+ 41,80
112	Bowermans's mills	0,45	0,00	249,55	153,55	-153,10	+ 93,40
113	Manitoulin	0,00	0,00	250,00	191,05	-191,05	+142,30
114	Kanab-Creek	0,00	0,00	250,00	216,40	-216,40	+216,00

Le forage de Kanab-Creek nous prouve, en outre, que cette dureté spécifique a pu atteindre des valeurs s'approchant du maximum, soit de 250°.

Mais comme ces eaux étaient pratiquement dépourvues de carbonates et de sulfates, on peut en conclure que des eaux océaniques précambriennes possédaient un titre halogénique également voisin du maximum. Les analyses 111 à 114 semblent montrer que cette condition a subsisté jusque y compris les temps houillers. Quant au titre natronique, il descend à Kanab-Creek et l'exemple n'est pas isolé à -216,40°, donc près de son minimum (-250,00°) <sup>(24)</sup>.

Sans préjuger du rapport chaux-magnésie, on peut donc supposer que *les eaux des océans primitifs ne contenaient en solution que des chlorures de calcium et de magnésium* <sup>(25)</sup>. Elles étaient anatroniques au maximum et leur TB était nécessaire-

(24) Les eaux du plus bas niveau de Quincy Mine (Michigan) possèdent un TN égal à -215,60. C. 181 E.

(25) Les eaux de Kanab-Creek et de Quincy-Mine sont presque dépourvues de millivalences Mg (voir analyse n° 114) mais les effets thermiques ont pu jouer leur rôle. Les eaux, lorsqu'elles se sont connées, ont donc pu contenir spécifiquement plus de magnésium que les eaux captées aujourd'hui.

ment positif. Elles auraient en somme été caractérisées par l'analyse spécifique :

N° 115				
MCO <sup>3</sup>	= 0,00	M(Ca + Mg) = 50,00	TH = 250,00	TA = 0,00
MSO <sup>4</sup>	= 0,00	M(Na + K) = 0,00	TC = 250,00	TSO <sup>4</sup> = 0,00
M(Cl + Br + I)	= 50,00		TN = - 250,00	TB ?
	<u>50,00</u>			

Ces faits viennent confirmer les calculs établis en fin de la deuxième note et préciser jusqu'à leurs limites extrêmes les variations de la composition chimique des eaux océaniques en fonction du temps. Toutefois, une contradiction apparente se manifeste. Dans la deuxième note, on démontre qu'à l'époque actuelle la dureté spécifique des eaux océaniques *augmente* légèrement avec le temps. Or, d'après le tableau XIII, on peut constater que cette dureté a *diminué* tout au moins depuis les temps précambriens jusqu'aux temps houillers. Cela signifie simplement qu'après le dépôt des sédiments houillers, la dureté spécifique de l'eau des océans est passée par un minimum. Celui-ci a probablement été atteint lorsque, pour l'éternité, le TB de cette eau a pris une valeur négative <sup>(26)</sup>.

### CONCLUSION.

Je ne puis terminer « le Titre Natronique » sans remercier les organismes qui m'ont aidé à le construire : le Fonds National de la Recherche Scientifique et la Fondation Wetrems de l'Académie des Sciences. Je dois également signaler le précieux concours que m'ont apporté MM. Carl Camerman et Léopold Meunier.

(26) Une eau océanique à TB positif recevant des effluents contenant des natroniques était le siège d'actions chimiques dont l'une était  $\text{CaCl}_2 + 2\text{NaHCO}_3 = \text{Ca}(\text{CO}_3)_2 + 2\text{NaCl}$ . Mais le bicarbonate de calcium, peu soluble dans l'eau marine, précipitait presque entièrement.

Tant que le TB était positif, il pouvait donc se former du calcaire par voie chimique. Mais le calcium de ce calcaire provenait du chlorure de calcium de l'eau marine. La dureté spécifique de cette eau diminuait donc au fur et à mesure que le calcaire se formait. Elle diminuait donc en fonction du temps.

En même temps, il se formait du chlorure de sodium dans l'océan par la même réaction chimique. L'étude des lacs de bassin clos donnera des précisions à cet égard.

Je tiens aussi à rappeler que déjà en 1903, Jules Cornet considérait « la pholélite comme dérivant de l'altération d'un composé zéolitique d'origine hydrothermale ». Dès 1920, M. Amadeus Grabau avait entrevu le rôle que pouvaient jouer dans la genèse des lacs natrons les échanges de bases dus aux zéolites.

Une courte phrase de mon défunt ami et seize lignes d'un illustre géologue américain m'ont ainsi dirigé vers l'interminable chemin que je poursuis à la recherche de la Vérité.

La route est raboteuse, encaissée, sinueuse... Elle croise parfois des allées magnifiques. Mais celles-ci ne découvrent, hélas ! que des perspectives fallacieuses. C'est dans l'une d'elles que Suess, vieilli, s'engagea à la découverte des eaux juvéniles. C'est le long d'une autre que Van 't Hoff et ses disciples fondèrent sur le sable leurs édifices pesants et compliqués. Une autre encore, ouverte récemment, accède au somptueux laboratoire dans lequel on adapte à un ordre nouveau des bactéries fossiles et vivantes.

Quel que soit l'attrait de ces lieux tentateurs, il importe de ne pas s'y éterniser. Il convient, au contraire, de poursuivre son chemin en se guidant sur les traces presque séculaires que les pas de Sterry Hunt ont imprimé dans la rude carrière.

*Il est donc nécessaire, si l'on désire bâtir des constructions durables, d'admettre qu'au cours des temps géologiques, non seulement la salinité, mais encore les caractéristiques spécifiques des eaux des océans ont varié dans des limites fort étendues.*

Mais les modifications ont été extrêmement lentes. Elles ont pu ainsi être insensibles au cours des temps historiques.

Il convient d'étudier semblables transformations dans des milieux plus rapidement évolutifs. Dans cet ordre d'idées, l'examen des lacs de bassins clos et des eaux limno-connées s'impose.

Saint-Ghislain, le 10 mai 1943.

A la suite de cet exposé, M. A. GROSJEAN fait remarquer que l'existence d'eaux connées semble se heurter à une grave objection dans les formations où la lapidification des roches indique l'intervention de phénomènes de déshydratation s'étendant à toute la masse. Une conversation s'engage à ce sujet. Y prennent part : MM. CAMERMAN, DENAEYER, DELECOURT et GROSJEAN.

**Les puits de « La Lactilithe » à Tournai, de la brasserie Saint-Joseph à Gaurain-Ramecroix et de la briqueterie de Wissem-pierre à Saint-Maur-lez-Tournai (deuxième note).**

par C. CAMERMAN.

**LE PUITTS DE « LA LACTILITHE » A TOURNAI.**

Ce puits, que vient de forer M. J. Delecourt, est situé à la limite de Tournai et de Kain, à 600 m. au N.-O. de la gare de Tournai, au point marqué L sur le plan annexé à cette note. L'orifice est à la cote +19. Le puits, foré au trépan dans les terrains postpaléozoïques et dans les résidus de dissolution, puis à la couronne dans le calcaire dinantien, a une profondeur de 47<sup>m</sup>65.

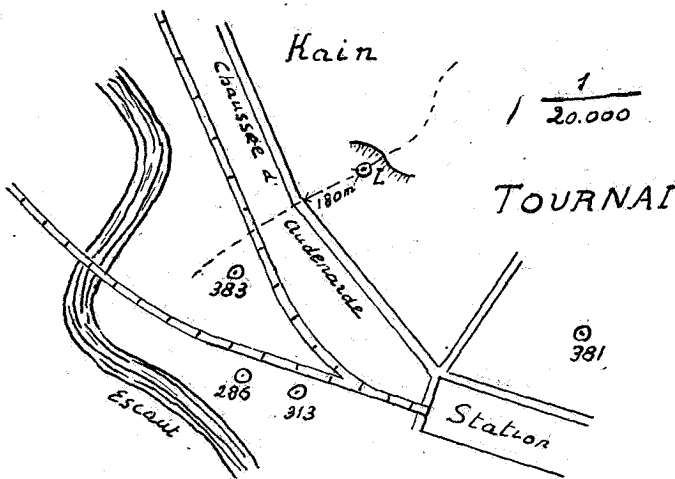


FIG. 1.

Voici la coupe des terrains traversés :

- |  |  |                                |
|--|--|--------------------------------|
| 0 <sup>m</sup> 00 à 6 <sup>m</sup> 25.   | Marne jaunâtre à concrétions siliceuses que l'on voit affleurer dans un petit talus proche du puits : Fortes toises. | } Turonien 6 <sup>m</sup> 50   |
| 6 <sup>m</sup> 25 à 6 <sup>m</sup> 50.   | Cailloux de gros cherts petit roulés.  |                                |
| 6 <sup>m</sup> 50 à 25 <sup>m</sup> 00.  | Résidu de dissolution du calcaire siliceux dénommé « Tripoli de Tournai » et calcaire altéré.                        | } Dinantien 41 <sup>m</sup> 15 |
| 25 <sup>m</sup> 00 à 47 <sup>m</sup> 65. | Calcaire argilo-siliceux compact . . .   |                                |

Les carottes extraites du forage montrent que les bancs ont une inclinaison d'environ 12 %, dont la direction n'a pu être repérée.

Profondeur	SiO <sup>2</sup> + Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup> + Fe <sup>2</sup> O <sup>3</sup>	Ca CO <sup>3</sup>	MgCO <sup>3</sup> et non dosés
25 à 26 m.	13,60 %	84,77 %	1,63 %
26 27	10,62	87,41	1,97
27 28	11,04	87,14	1,82
28 29	17,45	80,39	1,16
29 30	15,80	82,72	1,48
30 31	10,47	87,77	1,76
31 32	10,13	86,82	2,05
32 33	15,76	82,65	1,59
33 34	12,20	85,64	2,16
34 35	10,81	87,22	1,87
35 36	9,66	88,21	2,13
36 37	11,44	86,80	1,76
37 38	16,75	81,62	1,63
38 39	6,11	91,66	2,23
39 40	42,24	56,18	1,58
40 41	11,23	87,20	1,57
41 42	12,62	85,48	1,90
42 43	72,50	26,61	0,89
43 44	7,30	90,53	2,17
44 45	6,48	91,21	2,31
45 46	7,26	90,96	1,78
46 47	10,20	87,53	2,27
47,50	7,20	83,58	9,32 (MgCO <sup>3</sup> 8,85 %)
47,65	6,88	87,08	6,04 (MgCO <sup>3</sup> 5,72 %)

Le calcaire, à grain très fin, est gris noirâtre, très dur, à cassure généralement conchoïdale, parfois stratoïde, exempt de fossiles. Les carottes laissent voir à plusieurs niveaux des veines

de calcite sensiblement verticales; les deux bancs supérieurs sont, en outre, traversés par une série de fils très resserrés.

Une diaclase verticale a provoqué une première venue d'eau entre 32 et 33 m. Cette eau, entraînant des résidus de dissolution des niveaux supérieurs, est restée trouble et noirâtre malgré un pompage prolongé, c'est pourquoi il a fallu rechercher une nouvelle venue d'eau à un niveau inférieur. Celle-ci a été produite par une diaclase rencontrée de 47 à 47<sup>m</sup>65.

Afin de chercher à identifier les couches traversées par le forage, j'ai procédé à une série d'analyses sommaires du calcaire.

La composition chimique et les caractères lithologiques du calcaire permettent de le rapporter sans aucun doute à l'assise de Warchin recoupée par le puits de la chromerie Vanderveken situé à 700 m. environ E.-S.-E. (marqué n° 381 sur le plan), et plus particulièrement à la partie supérieure de cette assise <sup>(1)</sup>. Il se situe donc à l'extrême sommet des formations dinantiennes du Tournaisis.

De même qu'au puits Vanderveken on observe divers niveaux extrêmement siliceux (39 à 40 m. et 42 à 43 m.).

A l'endroit de la diaclase ayant provoqué la deuxième venue d'eau, le calcaire est faiblement dolomitisé.

Rappelons que les puits des Fonderies Tournaisiens (313), de la Margarinerie Tournaisienne (286) et de la savonnerie Gustave Stevenynck (383), situés à quelques centaines de mètres au Sud et au S.-O. du puits de La Lactilithe, ont traversé des couches que j'ai rapportées à la partie supérieure de l'assise de Gaurain-Ramecroix ou à la partie inférieure de l'assise de Warchin <sup>(2)</sup>; il paraît donc très probable que les bancs recoupés au puits de La Lactilithe ont un pendage orienté approximativement vers le N.-E.

#### **LE PUITTS DE LA BRASSERIE SAINT-JOSEPH (BRASSERIE BATAILLE) A GAURAIN-RAMECROIX.**

Ce puits, situé à environ 450 m. E.-S.-E. de la carrière Bataille, a été foré récemment par M. J. Delecourt, au trépan, dans les terrains postpaléozoïques et à la couronne, à grand diamètre, dans le Dinantien.

<sup>(1)</sup> C. CAMERMAN, Le puits de la Chromerie Vanderveken à Tournai (*Bull. Soc. belge de Géol.*, 1940-1941, t. L, pp. 63-72).

<sup>(2)</sup> C. CAMERMAN, Le Dinantien du Hainaut occidental (*Bull. Soc. belge de Géol.*, 1940-1941, t. L, pp. 107-138).



L'orifice est à la cote +45; la profondeur du puits est de 118<sup>m</sup>50; il atteint donc la cote —73<sup>m</sup>50. Jusqu'à 24<sup>m</sup>50 le diamètre est de 430 mm., ensuite, jusqu'au fond, de 318 mm.

Le puits a traversé sur 8<sup>m</sup>50 le limon quaternaire et le tuffeau landénien, puis, sur 110 m., le calcaire dinantien.

La Société Anonyme des Cimenteries Bataille a procédé à 177 dosages de  $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ .

De 8<sup>m</sup>50 à 48 m. le calcaire est gris, compact, souvent conchoïdal. A de nombreux niveaux apparaissent les marbrures noirâtres qui caractérisent le calcaire de Gaurain-Ramecroix.

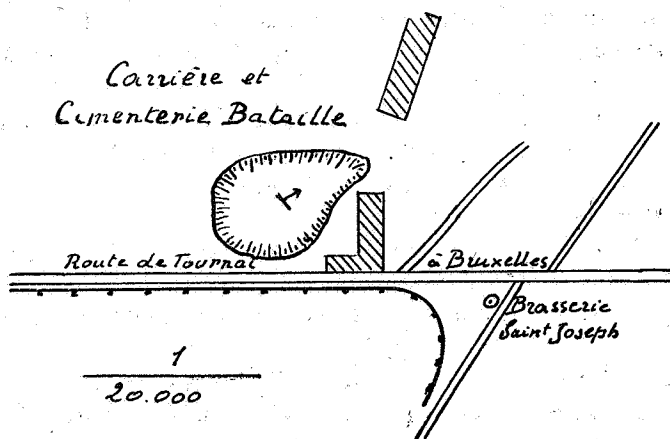


FIG. 2.

Les caractères lithologiques et la composition chimique sont ceux de l'assise de Gaurain-Ramecroix telle que je viens de la définir dans ma note relative à la stratigraphie du Dinantien du Tournaisis <sup>(3)</sup>. De 8<sup>m</sup>50 à 29 m. le calcaire titre généralement de 85 à 90 % de carbonates calcique et magnésique : ce sont les couches rencontrées dans le puits de la chromerie Vanderveken de 49 à 78 m.; c'est la partie supérieure de l'assise de Gaurain-Ramecroix. De 29 à 48 m. la teneur en carbonates calcique et magnésique varie entre 70 et 82 %; c'est la partie inférieure de l'assise de Gaurain-Ramecroix.

De 48 à 99 m. le calcaire est rarement conchoïdal; la texture est généralement stratoïde ou schistoïde; le calcaire est plus

<sup>(3)</sup> IDEM, L'état actuel de la stratigraphie du Tournaisis (*Ibidem*, 1943, t. LII, pp. 132.

foncé : c'est l'assise d'Antoing telle que je l'ai définie dans la note mentionnée ci-dessus.

Le calcaire, titrant de 65 à 83 % de carbonates calcique et magnésique, forme des faisceaux de bancs à ciment Portland alternant avec des faisceaux de bancs à ciment romain. La composition d'ensemble est la même que dans l'assise d'Antoing exploitée dans les carrières de Gaurain-Ramecroix mais la succession des couches à portland et à romain est assez différente, ce qui ne peut nous surprendre, vu la distance qui sépare le puits des carrières. De même les niveaux de cherts qui dans les carrières de Gaurain caractérisent la base de l'assise de Gaurain-Ramecroix ne se retrouvent pas au puits de la brasserie Saint-Joseph, soit qu'ils n'existent plus, soit que la sonde ne les ait pas rencontrés.

De 96 à 99 m. nous retrouvons les niveaux à petits chonetes abondants qui caractérisent la base de l'assise d'Antoing puis, à 99 m., le « gras-délit » bien identifié.

De 99 à 104 m. on reconnaît aisément les « bancs de gris » du sommet de l'assise de Vaulx, constitués de calcaire subcrinoïdique avec nombreux petits chonetes, divers brachiopodes et polypiers, bancs titrant de 88 à 90 % de carbonates calcique et magnésique.

Enfin, de 104 à 118<sup>m</sup>50 le calcaire subcrinoïdique de l'assise de Vaulx renferme quelques niveaux de cherts et titre de 75 à 85 % de carbonates.

La coupe du puits peut donc se résumer comme suit :

		Épaisseurs.
0 <sup>m</sup> 00 à	8 <sup>m</sup> 50.	Limon quaternaire et tuffeau landénien . . . . . 8 <sup>m</sup> 50
8 <sup>m</sup> 50 à	29 <sup>m</sup> 00.	Dinantien. Assise de Gaurain-Ramecroix, partie supérieure . . . . . 20 <sup>m</sup> 50
29 <sup>m</sup> 00 à	48 <sup>m</sup> 00.	Dinantien. Assise de Gaurain-Ramecroix, partie inférieure . . . . . 19 <sup>m</sup> 00
48 <sup>m</sup> 00 à	99 <sup>m</sup> 00.	Dinantien. Assise d'Antoing . . . . . 51 <sup>m</sup> 00
99 <sup>m</sup> 00 à	118 <sup>m</sup> 50.	Dinantien. Assises de Vaulx et de Chercq. . . . . 19 <sup>m</sup> 50
		<hr/> 118 <sup>m</sup> 50

La coupe du puits de la brasserie Saint-Joseph cadre parfaitement avec l'interprétation que j'ai donnée du puits de la chromerie Vanderveken. Elle fait apparaître une quinzaine de mètres de couches surmontant les couches les plus élevées de la carrière Bataille, ce à quoi l'on pouvait s'attendre, les bancs de cette carrière ayant une inclinaison de 7 % E.-N.-E.

**Le puits de la briqueterie de Wissempierre** (deuxième note).

La venue d'eau de ce puits, dont J. Delecourt et moi-même avons donné la description <sup>(1)</sup>, ayant notablement diminué, le forage a été repris jusqu'à la profondeur de 74<sup>m</sup>90, soit à la cote —0<sup>m</sup>90, niveau où ont été rencontrées des diaclases aquifères.

Ceci m'amène à compléter la coupe de ce puits et à rectifier certaines de nos précédentes constatations.

Rappelons que le puits, dont l'orifice se trouve à la cote 74, avait atteint la profondeur de 57 m.; de 51 à 53 m. inclusive-ment il avait traversé de la dolomie argilo-siliceuse compacte (28 à 30 % de MgCO<sup>3</sup>), ensuite, de 54 à 57 m., du calcaire argilo-siliceux faiblement dolomitisé (3 à 4 % de MgCO<sup>3</sup>).

Le calcaire, gris noirâtre, était compact, à stratification peu ou pas apparente.

De 57 à 74<sup>m</sup>90 le calcaire est gris noirâtre, généralement schistoïde, parfois stratoïde seulement.

Voici, de mètre en mètre, les compositions sommaires :

	Profondeurs en mètres.					
	58	59	60	61	62	63
	%	%	%	%	%	%
SiO <sup>2</sup> + Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup> + Fe <sup>2</sup> O <sup>3</sup> .	23,71	24,47	24,53	19,51	21,30	20,92
CaCO <sup>3</sup> . . . . .	72,49	72,91	71,42	78,45	76,88	77,15
MgCO <sup>3</sup> . . . . .	3,17	2,04	3,57	1,57	1,28	1,33
Non dosés . . . . .	0,63	0,58	0,48	0,47	0,54	0,60
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

	Profondeurs en mètres.					
	64	65	66	67	68	69
	%	%	%	%	%	%
SiO <sup>2</sup> + Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup> + Fe <sup>2</sup> O <sup>3</sup> .	21,67	24,93	26,48	30,00	18,60	29,52
CaCO <sup>3</sup> . . . . .	76,76	73,49	70,69	67,65	79,41	67,90
MgCO <sup>3</sup> . . . . .	1,05	0,96	2,16	1,71	1,41	1,93
Non dosés . . . . .	0,52	0,62	0,67	0,64	0,58	0,65
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

(1) C. CAMERMAN et J. DELECOURT, Le puits de la briqueterie de Wissempierre à Saint-Maur-lez-Tournai (*Bull. Soc. belge de Géol.*, t. L, 1940-1941, pp. 203-206).

	Profondeurs en mètres.					
	70	71	72	73	74	74,90
	%	%	%	%	%	%
SiO <sup>2</sup> + Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup> + Fe <sup>2</sup> O <sup>3</sup> .	30,52	25,57	30,46	22,25	27,10	22,97
CaCO <sup>3</sup> . . . . .	66,21	71,06	64,76	72,18	67,58	72,79
MgCO <sup>3</sup> . . . . .	2,54	2,76	4,10	5,02	4,73	3,72
Non dosés . . . . .	0,73	0,61	0,68	0,55	0,59	0,52
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Ce calcaire, avons-nous déjà dit dans notre première note, présente les caractères du calcaire de l'assise d'Antoing (veine du bois); il est toutefois, dans son ensemble, un peu moins riche en carbonate calcique. Les bancs à ciment romain prédominent sur les bancs à ciment portland. La texture est plus schisteuse qu'à Antoing, ce qui signifie que le calcaire est plus argileux. Il est à remarquer que le calcaire de l'assise d'Antoing est un peu plus alumineux, donc plus argileux, à Antoing et à Calonne qu'à Gaurain-Ramecroix. Il paraît donc y avoir un accroissement continu de la teneur en argile de l'est vers l'ouest. La texture schistoïde évolue dans le même sens.

On observe également que la teneur en magnésie, très élevée, de 51 à 53 m. à l'endroit de la première venue d'eau, décroît en descendant, mais, augmente de nouveau de 72 à 74<sup>m</sup>90, aux abords de la seconde venue d'eau.

Si l'on rapproche ce fait des cas de dolomitisation assez nombreux relevés dans le Tournaisis au voisinage des fractures, il semble y avoir là plus qu'une coïncidence.

La compacité du calcaire dans la première partie du puits, due sans doute à la dolomitisation, nous a fait dire que le calcaire était stratifié horizontalement, les carottes se terminant par des plans sensiblement perpendiculaires à leur axe. La schistosité du calcaire dans la seconde partie du puits a fait apparaître que les couches ont une notable inclinaison, que l'on peut estimer à 15 % environ, mais dont la direction n'a pu être relevée.

## Le Bruxellien nummulitique à Noville-sur-Mehaigne,

par MAURICE LERICHE (1).

L'épaisse couverture de sables bruxelliens qui s'étend sur le Brabant vient mourir, aux environs d'Éghezée, sur les rives de la haute Mehaigne. Le village de Noville-sur-Mehaigne est situé sur le bord aminci de cette couverture, aux confins du Brabant et de la Hesbaye.

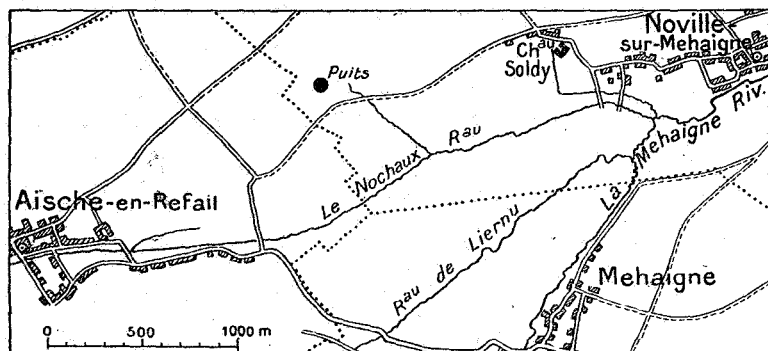


FIG. 1. — Emplacement du forage de Noville-sur-Mehaigne, indiqué par le cercle noir. Echelle : 1/40.000<sup>e</sup>.

Il y a quelques années, la commune de Noville fit exécuter un forage en vue de l'établissement d'une distribution d'eau potable pour elle-même et pour les communes avoisinantes. Ce forage, dont l'orifice se trouve à la cote 145, est situé entre Noville et Aische-en-Refail (fig. 1).

M. N. Van Opendenbosch, Ingénieur civil des Mines, Administrateur-Directeur de la Société belge pour l'Entretien de Réseaux de Distribution d'Eau, sous la direction de qui le puits fut creusé, a bien voulu déposer, dans les collections géologiques de l'Université de Bruxelles, une série d'échantillons des couches traversées. Ces échantillons ont été prélevés chaque fois qu'apparaissait un changement plus ou moins important

(1) Communication faite à la séance du 15 décembre 1942.

dans l'aspect ou la nature des couches. En voici la description succincte :

Echantillons :

- 1 (0<sup>m</sup>37) (2). Limon brun jaunâtre, chargé de gros grains de quartz.
- 2 (0<sup>m</sup>48). Limon panaché (brun et rougeâtre), chargé de gros grains de quartz.
- 3 (0<sup>m</sup>64). Limon brunâtre, chargé de gros grains de quartz.
- 4 (1<sup>m</sup>17). Sable grossier, graveleux, dont les grains de quartz sont liés par une très faible proportion de limon, lequel donne à la roche une coloration brunâtre et une légère cohérence.
- 5 (1<sup>m</sup>39) à 8 (2<sup>m</sup>57). Sables brun jaunâtre, graveleux, renfermant de petits fragments de silex cacholônisés, aux contours arrondis, et de rares petits cailloux de roches primaires altérées (grès argileux).
- 9 (3<sup>m</sup>55). Sable verdâtre, grossier, graveleux, renfermant de petits fragments de silex, le plus souvent entièrement cacholônisés, et de rares petits éclats de schistes primaires.
- 10 (4<sup>m</sup>80). Sable jaune, grossier, chargé de gros grains de quartz; quelques petits fragments de silex cacholônisés.
- 11 (6<sup>m</sup>40). Sable jaune clair, grossier, *calcarifère*, chargé de gros grains de quartz; quelques petits fragments de silex roulés.
- 12a (7 m.). Grès blanc jaunâtre, *calcarifère*, à grain fin.
- 12b (7<sup>m</sup>15). Sable jaune clair, quartzueux, à grain moyen; quelques gros grains de quartz; grains de glauconie disséminés.
- 12c (7<sup>m</sup>50). Grès *calcarifère*.
- 12d (7<sup>m</sup>65). Sable blanc crème, très *calcarifère*, parsemé de gros grains de quartz.
- 13 (8 m.). Sable jaune clair, légèrement *calcarifère*, à grain moyen; gros grains de quartz disséminés.
- 14 (9<sup>m</sup>10). Sable jaune clair, *calcarifère*, grossier, avec gros grains de quartz.
- 15 (12<sup>m</sup>70). Sable blanchâtre, *calcarifère*, graveleux (gros grains de quartz). Quelques exemplaires de *Nummulites lævigatus*, forme mégasphérique (= *N. Lamarcki*).
- 16 (13 m. à 13<sup>m</sup>50). Calcaire clair, blanchâtre, chargé de nombreux et gros grains de quartz, et renfermant, en outre, des fragments plus ou moins roulés de silex cacholônisés, de calcaires primaires, etc. *Nummulites lævigatus*.
- 17 (13<sup>m</sup>80). Roche poudingôide, blanchâtre, formée de gros grains de quartz liés par un ciment calcaire; elle renferme de petits galets, de forme irrégulière, de silex et d'autres roches siliceuses. *Nummulites lævigatus*.
- 18 (15 m.). Roche comme 17, probablement en grande partie meuble, très riche en *Nummulites lævigatus*, surtout en exemplaires mégasphériques. Nombreux Bryozoaires.
- 19 (15<sup>m</sup>80). Sable clair, grossier, graveleux. *Nummulites lævigatus*, forme méga prédominante.

Le forage de Noville a été arrêté à la profondeur de 17 m., probablement à une faible distance verticale de la formation (Landénien, Sénonien ou Primaire) sur laquelle reposent les sables à *Nummulites lævigatus* (n<sup>os</sup> 15 à 19).

(2) Le chiffre entre parenthèses indique la profondeur à laquelle fut prélevé l'échantillon.

Presque tous les échantillons recueillis renferment des éclats, aux contours plus ou moins arrondis, de silex cacholonisés et des fragments, plus ou moins roulés, de roches primaires (schistes, grès, calcaires). Ils doivent cette particularité à la proximité des affleurements du Crétacé de la Hesbaye, du Silurien du massif du Brabant et du Dévonien du bord Nord du synclinal de Namur.

C'est au Quaternaire qu'appartiennent les couches représentées par les échantillons n<sup>os</sup> 1 à 8. Les sables grossiers ou graveleux qui en occupent la base sont formés en très grande partie d'éléments empruntés aux formations éocènes sous-jacentes.

Il est difficile de dire si les sables n<sup>os</sup> 9 et 10 sont *in situ*, et par conséquent éocènes, ou remaniés à la base du Quaternaire.

Avec le sable calcarifère n<sup>o</sup> 11, on entre, sans doute possible, dans l'Éocène moyen, que le forage a traversé, sans en sortir, sur un peu plus de 10 m. d'épaisseur.

La présence de nombreux exemplaires de *Nummulites lævigatus* dans les couches inférieures du puits de Noville (couches n<sup>os</sup> 15 à 19) doit être soulignée; elle ne laisse aucun doute sur l'âge (Bruxellien supérieur) de ces couches. Cette Nummulite, représentée surtout par sa forme mégasphérique (*N. Lamarcki*), est extrêmement commune dans la couche n<sup>o</sup> 18, qui, de tous les gisements de *N. lævigatus* signalés en Belgique, est, sans conteste, de beaucoup le plus riche.

Les couches à *N. lævigatus* de Noville, qui sont essentiellement graveleuses, constituent un facies franchement littoral du Bruxellien. Ce caractère est particulièrement marqué dans la roche n<sup>o</sup> 18, qui rappelle l'« arène » ou « pain de prussien » du Nord de l'Ile-de-France; c'est-à-dire le facies littoral des couches de base du Calcaire grossier.

Les sables et grès calcarifères (couches n<sup>os</sup> 11 à 14) qui reposent sur les couches à *Numm. lævigatus* sont moins grossiers et moins graveleux que les roches qui composent ces dernières; les gros grains de quartz y sont plus disséminés. Ces sables et ces grès n'ont livré que peu de fossiles : des micro-organismes, dont l'étude fut interrompue par la fermeture de l'Université de Bruxelles.

Dans la région de Noville-sur-Mehaigne, le caractère littoral du Bruxellien est encore accusé par une stratification croisée des mieux marquées. C'est ce que l'on pouvait observer naguère

à l'ancienne carrière de Perwez (fig. 2), dans la vallée de la Grande Gette, à environ 3 km. 5 au Nord-Ouest du puits de Noville. Le Bruxellien, formé de sables grossiers, y repose directement sur les quartzites cambriens.

Ce même caractère littoral se retrouve plus loin encore : à Thorembais-Saint-Trond; à Opprebais, où les sables bruxelliens sont glauconifères, comme à Perwez; à Archennes, près du confluent du Pisselet et de la Dyle, où des filets d'argile et de petits lits de grès en plaquettes viennent s'intercaler dans les sables.

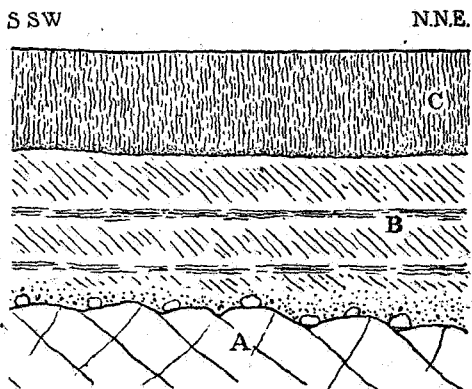


FIG. 2. — Coupe de l'ancienne carrière de Perwez.

Echelle des hauteurs : 13 mm. pour 1 m.

- C. Limon (PLÉISTOCÈNE).
- B. Sable grossier, glauconifère, renfermant des concrétions gréseuses (« grès fistuleux ») et chargé, à la base, de gros grains de quartz et de galets de quartzite (BRUXELLIEN).
- A. Quartzite gris bleuâtre, altéré et rougi à la surface (CAMBRIEN).

Toutefois, à mesure que l'on s'avance vers le Nord-Ouest, les sables deviennent moins graveleux, et le Bruxellien tend à passer au facies normal de la région d'Entre-Dyle-et-Senne.

Le gîte nummulitique de Noville-sur-Mehaigne appartient à la bande de Bruxellien, à *Numm. lævigatus*, qui s'étend, en bordure du bassin belge, depuis les environs de Tirlemont jusqu'au delà de Nalinnes, dans l'Entre-Sambre-et-Meuse<sup>(3)</sup>. C'est dans cette bande qu'est situé aussi le gîte de Saint-Denis,

(3) M. LERICHE, Les gisements de « Nummulites lævigatus » Brug., dans le Bassin belge (*Bull. Soc. belge de Géol., Paléontol. et Hydrol.*, t. XXXII, 1922, pp. 93-99).



à 9 km., au Nord-Ouest de Namur, signalé récemment par M. Halet (4).

Le caractère transgressif du Bruxellien à *Numm. lævigatus* est des plus nets. Débordant, à l'Est, les Sables d'Aeltre, à *Numm. Lucasi*, et la zone inférieure, très pauvre en Nummulites, du Bruxellien du Brabant (5), le Bruxellien à *Numm. lævigatus* vient reposer, à la périphérie du bassin belge, soit sur le Landénien, soit sur le Crétacé, soit encore sur les terrains primaires.

---

(4) F. HALET, Sur un gisement de *Nummulites lævigatus* dans le Bruxellien, à Saint-Denis-lez-Namur (*Ibidem*, t. XLVII, 1937, pp. 79-80).

(5) Voir M. LERICHE, Les Sables d'Aeltre. Leur place dans la classification des assises éocènes du Bassin anglo-franco-belge (*Ann. Soc. géol. du Nord*, t. LXII, 1937, pp. 93-96; 1938).

---