

SÉANCE MENSUELLE DU 20 DÉCEMBRE 1938.

Présidence de M. ÉT. ASSELBERGHS, président.

Le Secrétaire général, malade, fait excuser son absence.

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

Le Président proclame membre effectif :

M. LÉON METZ, industriel, 5, place Stéphanie, à Bruxelles; présenté par MM. C. Camerman et I. de Magnée.

M. DUMON attire l'attention des membres présents sur la publication par le Patrimoine du Musée royal d'Histoire naturelle d'un ouvrage intitulé *Flore et Faune houillères de la Belgique*, dû à la collaboration de MM. A. RENIER. F. STOCKMANS, F. DEMANET et V. VAN STRAELEN.

Dons et envois reçus :

1° De la part des auteurs :

- 9203 *Asselberghs, E. et Maillieux, E.* La limite entre l'Emsien et le Siegenien sur le bord sud du Bassin de Dinant. Bruxelles, 1938, 11 pages.
- 9204 *Cosijn, A.-J.* Statistical studies on the phylogeny of some foraminifera. *Cycloclypeus* and *Lepidocyclina* from Spain, *Globorotalia* from the East-Indies. Leiden, 1938, 70 pages, 12 figures et 5 planches.
- 9205 *Diamantopoulos, D.* Nouvelle carte de l'Europe relief-politique. Échelle : 1/3.000.000. Feuille 4. Athènes, 1938, 3 feuilles.
- 9206 *Mazure, J.-P.* De berekening van getijden en stormvloedden op benedenrivieren. La Haye, 1938, 223 pages et 12 figures.
- 9207 *Muller, J.-A.-W.* Enkele bedrijfseconomische beschouwingen over den Nederlandschen steenkolenmijnbouw. Delft, 1938, 166 pages et 24 figures.
- 9208 *Niggl, P.* La loi des phases en minéralogie et pétrographie. — II. Applications minéralogiques et pétrographiques de la loi des phases. Traduit par R. Urbain. Paris, 1938, 78 pages et 43 figures.
- 9209 *Niggl, P.* La loi des phases en minéralogie et pétrographie. — I. Généralités. Traduit par P. Urbain. Paris, 1938, 81 pages et 65 figures.

8725 *Grosse, E., Weiske, F. y Stille, H.* Compilacion de los estudios geologicos oficiales en Colombia. 1917 a 1933. Tome IV. Bogota, 1938, 182 pages et 11 planches avec atlas.

2° Nouveaux périodiques.

9210 *Dakar.* Gouvernement général de l'Afrique occidentale française. Bulletin du service des Mines. N° 1 (1938).

9211 *Gorée.* Gouvernement général de l'Afrique occidentale française. Service Géologique. Rapport annuel: 1936, 1937.

9212 *Gorée.* Gouvernement général de l'Afrique occidentale française. Rapport sur l'Industrie minière. 1937.

9213 *Lisboa. Naturalia.* Revista trimestral de divulgação, publicada pela Sociedade portuguesa de Ciencias naturais. Ano I, Vol. I, N°s 1, 2, 3, 4; Ano II, Vol. II, N° 1.

Communications des membres :

F. CORIN. — *La minéralisation du Cambrien au Sondage de Rhode-Saint-Genèse* (1).

L'argile d'Andenne : étude thermique et étude röntgenographique,

par GUY VIGNERON, Ingénieur des Mines.

(Note préliminaire sur la présence d'halloysite et de kaolinite.)

(Pl. VII.)

Nous avons entrepris l'étude d'une série d'argiles belges, en recourant principalement aux méthodes thermiques et röntgenographiques dont l'emploi s'est révélé si fructueux dans la recherche de la composition des roches argileuses.

Cette note préliminaire a trait aux procédés de travail qui ont été adoptés, ainsi qu'aux premiers résultats fournis par l'étude de deux des échantillons portant les numéros 3 et 23. Le numéro 3, « terre grasse crue de 1^{er} choix (32 % d'Al₂O₃; 53 % de SiO₂) », provient du siège Vaudaigle, près Groyenne, exploité par les Etablissements Timsonet, Pastor, Bertrand et Gillet réunis; le numéro 23, « terre crue damassée (18 %

(1) Cette note, dont le manuscrit n'est pas parvenu au Secrétariat, sera publiée ultérieurement.

d'Al₂O₃; 71 % de SiO₂) », a été prélevé au siège Naverre, mis en valeur à Mozet par les mêmes Etablissements (1).

Pour l'étude de nos matériaux, nous avons suivi les méthodes préconisées et mises au point par M. Pierre Urbain (2) dans un de ses récents mémoires. Il nous a été donné de mener nos recherches dans le laboratoire de M. Urbain sous sa direction et celle de son assistante, M^{me} Proix-Noé; qu'ils veuillent trouver ici l'expression de notre vive gratitude.

A. — EXAMEN MICROSCOPIQUE.

Pour la préparation des lames minces, nous avons fait tremper longuement des tranches d'argile, préalablement desséchées à l'air, dans une solution très fluide de baume du Canada dans le xylol. L'imprégnation complète de l'argile par la solution étant achevée, les tranches ont été cuites dans du baume ordinaire jusqu'à acquisition d'une grande dureté. La matière ainsi durcie se prête à la préparation des lames minces aussi bien qu'une roche dure cohérente. Nous réservons pour une note suivante nos observations microscopiques complètes; toutefois nous mentionnons dès maintenant quelques constatations :

ARGILE N° 3.

Présence de grains de quartz et de calcédonite.

Sels de fer en teneur nette mais peu importante. Aspect général d'une argile halloysitique.

ARGILE N° 23.

Présence de grains de mêmes dimensions de quartz anguleux et de quartz roulé. Teneur très importante en sels de fer. Dans l'ensemble, structure réticulée (3) dans une argile halloysitique-kaolinitique.

(1) Les pourcentages chimiques et les lieux d'origine nous ont été communiqués par ces Etablissements et nous ne les avons pas contrôlés. Nous sommes heureux de remercier ici la direction de la firme T.P.-B.G.

(2) URBAIN, P., Introduction à l'étude pétrographique et géochimique des roches argileuses (*Actualités scient. et industr.*, Hermann, éd., Paris, 1937, fasc. 499 et 500).

(3) Selon M. P. Urbain, la structure ou, mieux, la *texture réticulée* est caractérisée par des fissures capricieuses et ramifiées, dont l'ensemble forme un *réseau* découpant la préparation en plages grossièrement polygonales et de dimensions très inégales; les particules des minéraux caractéristiques ne sont orientées d'une manière uniforme que sur les lèvres des fissures; à l'intérieur des plages, leur orientation est confuse. Aucune direction de stratification n'est discernable (URBAIN, P., *Bull. Soc. Géol. France*, t. VII, 1937, n° 7, p. 344).

B. — ANALYSE MÉCANIQUE.

Nous avons procédé à l'analyse mécanique destinée à fournir des lots suffisamment homogènes pour se prêter à l'étude thermique et à l'examen aux rayons X.

La méthode de M. Urbain comporte, en principe, trois étapes principales :

1. Un tamisage en présence d'eau (précédé d'une désagrégation par délitage) fournissant 4 fractions ou « refus » solides, 1-2-3-4, et une suspension contenant les éléments microcristallins.

2. Une électrodialyse qui a pour but de débarrasser la suspension obtenue des sels qui peuvent jouer le rôle de coagulants. Après repos, on obtient un dépôt limoneux (fraction 5) et une nouvelle suspension (fraction 6).

3. Une centrifugation du dépôt limoneux (si ce dernier n'est pas homogène) suivie de l'électrophorèse de la dernière suspension.

Les opérations figurant sous le tertio fournissent les fractions qui seront soumises à l'analyse thermique et à l'analyse röntgenographique.

1. Tamisage.

Pour chaque échantillon, nous avons isolé quatre refus. Nous publierons nos observations à leur sujet dans une note ultérieure.

2. Électrodialyse.

Celle-ci fut pratiquée sous une tension de 110 V., dans un dialyseur dont les électrodes étaient distantes de 10 cm. Pendant l'opération, les carbonates de la suspension furent transformés en bicarbonates par barbotage de CO_2 dans le compartiment central de l'appareil. Les pH des suspensions furent mesurés colorimétriquement avant et après l'électrodialyse; nous avons obtenu les valeurs ci-dessous, le pH de l'eau distillée étant égal à 4,8 :

	Argile 3.	Argile 23.
pH avant électrodialyse	6.9	6.3
pH après électrodialyse	3.5	4.7

Dans une expérience (arg. 23), le courant atteignit une intensité maxima d'environ 29 mA.

3. Centrifugation et électrophorèse.

Les dépôts limoneux (fractions 5) ne s'étant pas déposés en couches différentes, nous n'avons pas dû nous attarder à les centrifuger et nous sommes passé directement à l'électrophorèse pour séparer les particules électropositives des particules électronégatives, après remise en suspension dans l'eau distillée.

Cette séparation fut effectuée sous 1.000 V. Dans les deux cas, il y eut migration et les lots recueillis dans les compartiments extrêmes (fract. 7+ et 7—) furent examinés aux rayons X. (Voir résultats plus loin.)

C. — ANALYSE THERMIQUE DIFFÉRENTIELLE.

Les travaux de MM. Le Chatelier, Orcel et Urbain nous permettent de nous dispenser de rappeler les principes de l'analyse thermique différentielle. Pratiquement, cette méthode revient à chauffer, dans un four électrique, trois creusets dont l'un contient la substance à étudier et les deux autres, des matières inertes identiques. On enregistre ainsi simultanément une courbe « température-temps » correspondant à la matière inerte et une courbe « différence de température-temps » relative à la substance et à la matière inerte.

En l'occurrence, notre four possédant un échauffement linéairement croissant, un simple rappel de points transformait automatiquement la courbe « différence de température-temps » en une courbe « différence de température-température » dont l'axe « température » était parallèle à l'axe des temps primitif. De plus, l'installation était réglée de façon à faire apparaître respectivement vers le haut et vers le bas du dessin les inflexions et crochets correspondant aux réactions exothermiques et aux réactions endothermiques.

Interprétation des courbes.

Les deux courbes différentielles présentées ici en vraie grandeur ont été obtenues à partir des fractions 5. Il importe de remarquer qu'elles ne sont que qualitativement comparables et ne suffisent pas, à elles seules, pour définir avec certitude les espèces minéralogiques présentes : leurs indications doivent être confrontées avec les résultats provenant des autres méthodes et surtout de la méthode röntgenographique.

ARGILE N° 3 (fig. 1).

Entre la température ordinaire et un peu plus de 1.000°, la courbe présente trois discontinuités bien marquées :

1° Un premier crochet endothermique s'amorce dès que l'on chauffe, pour se terminer vers 135° par un rebroussement peu

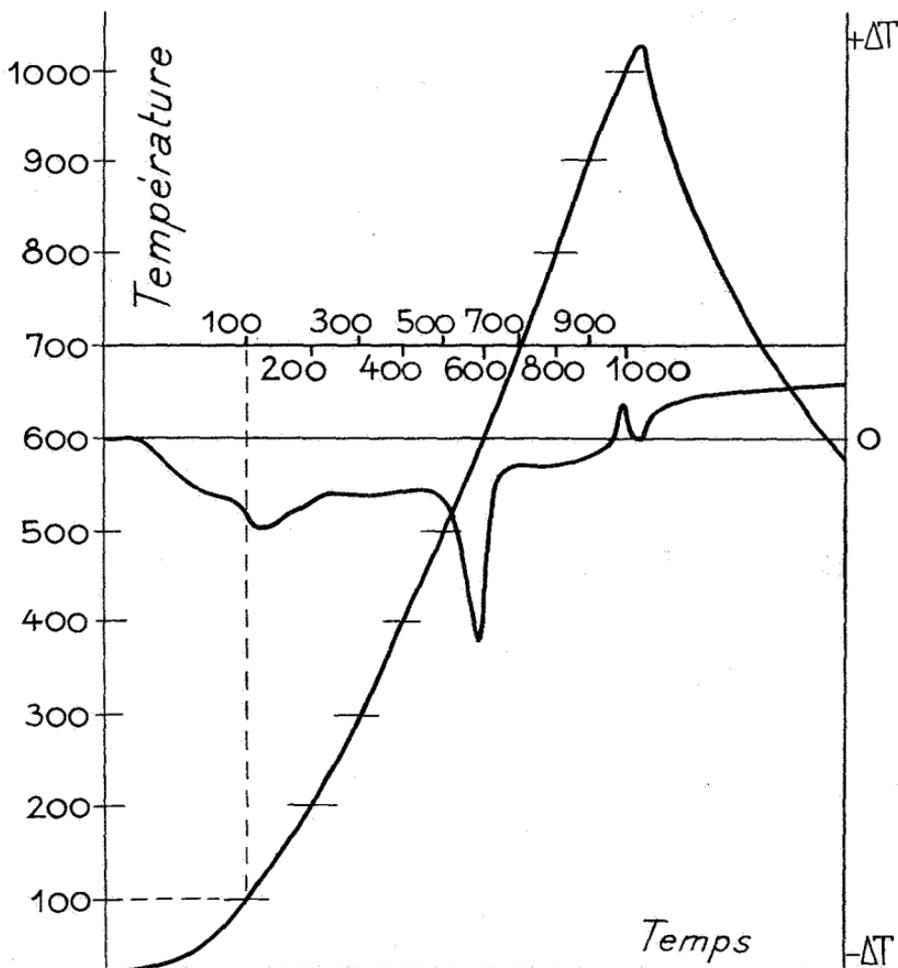


FIG. 1. — Courbe d'analyse thermique différentielle d'un mélange d'halloysite et de kaolinite : Argile n° 3.

accentué. La branche gauche de ce crochet porte une légère inflexion : esquisse d'un palier ou d'une réaction exothermique ; quant à la branche droite, elle montre un retour à l'équilibre très lent.

2° Un deuxième crochet endothermique très aigu et dont l'amplitude est relativement la plus grande : origine à 510-515°

au point où l'axe neutre ($\Delta T = 0$) est coupé par la tangente à la branche gauche; fin vers 575° par un point de rebroussement très net.

3° Un crochet exothermique également très aigu, mais d'amplitude moindre : origine à 960° ; fin à 1.000° environ et retour rapide à l'équilibre.

Comparant ces caractéristiques à celles de courbes de minéraux connus obtenues dans des conditions semblables ⁽¹⁾, nous attribuons une pareille courbe à la présence d'halloysite ou, mieux, d'un mélange kaolinite-halloysite. Le diagramme ne pourrait être attribué à la kaolinite seule, car celle-ci ne montre jamais le premier crochet avec une telle importance ⁽²⁾, et, de plus, le second crochet semble déplacé vers la gauche dans l'hypothèse de la kaolinite.

Les crochets successifs traduisent vraisemblablement les phénomènes suivants :

1° Départ de l'eau d'absorption et d'adsorption et de l'eau à caractère zéolitique, avec contraction, mais non destruction du réseau.

2° Départ de l'eau de constitution dont la conséquence est la destruction du réseau.

3° Formation de mullite et, partant, réarrangement en un nouvel édifice cristallin.

ARGILE N° 23 (fig. 2).

Sa courbe affecte tout à fait la même allure que la courbe précédente, quoiqu'elle ne lui soit pas superposable, et nous lui donnons la même interprétation qu'à cette dernière.

D. — ÉTUDE RÖNTGENOGRAPHIQUE PAR LA MÉTHODE DE DEBYE-SCHERRER-HULL.

Les diagrammes de poudres ont été obtenus dans une chambre de 3 cm. de rayon au moyen de la radiation K_α du Cu ($\lambda = 1.5373 \text{ \AA}$). Les temps de pose furent de 4 heures sous 40 kV. et 20 mA.

(1) URBAIN, P., *op. cit.*, fasc. 500, pp. 12 et suiv.

(2) Les plus belles kaolinites ne donnent pas le premier crochet, qui paraît lié à la présence d'eau à caractère zéolitique.

Cette analyse a été appliquée, d'une part, aux poudres provenant des fractions 6 (suspensions déjà électrodialysées, mais n'ayant pas encore été soumises à l'électrophorèse) et, d'autre

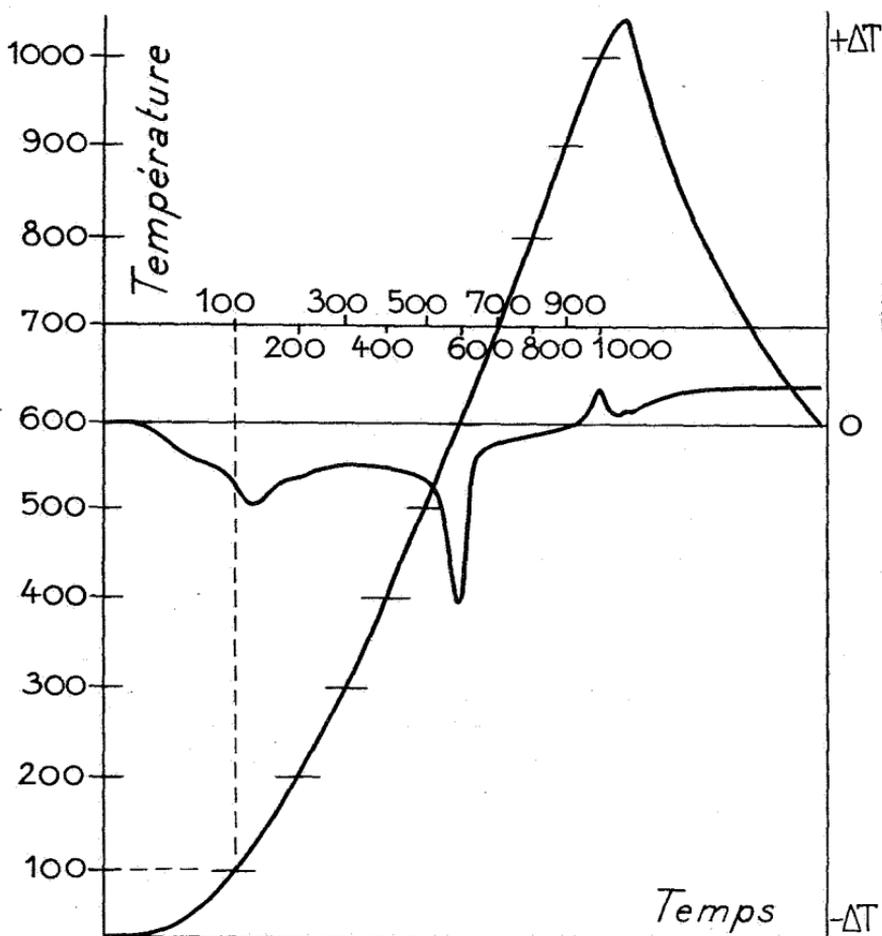


FIG. 2. — Courbe d'analyse thermique différentielle d'un mélange d'halloysite et de kaolinite : Argile n° 23.

part, aux éléments des fractions 7+ et 7- (éléments positifs et négatifs séparés par électrophorèse). D'où, six spectrogrammes (voir planche VII, reproduction en vraie grandeur) qui donnèrent lieu aux mesures consignées dans les tableaux ci-après.

TABLEAU I. — Argile 3.

d_{pqr}	INTENSITE.	NATURE DU MINERAL.	
<i>Fraction 6.</i>			
7.705	a.p.v.	Halloysite.	
7.107	m.	Kaolinite.	
4.545	}	d.m.	Kaolinite.
4.335			
3.809	t.t.f.	Kaolinite.	
3.550	m.	Quartz.	
3.373	F.	Quartz (+Kaolinite?).	
3.170	t.t.f.	Raie parasite.	
2.630	}	d.m. flou	Halloysite.
2.507			
2.408	f. floue	Quartz.	
2.164	t.f. nette	Quartz+Halloysite.	
2.109	t.t.f.	Calcite?	
2.022	f.	Quartz (+Kaolinite?).	
1.944	t.t.f.	Kaolinite.	
1.865	a.F.	Quartz+Kaolinite.	
1.698	m. floue	Quartz+Halloysite.	
1.580	f. nette	Quartz (+Kaolinite?).	
1.521	m. nette	Calcite+Halloysite.	
1.491	a.p.v.	Kaolinite.	
1.403	a.F.	Quartz+Calcite+Kaolinite.	
1.314	t.f.	Quartz+Calcite+Kaolinite.	
1.285	t.t.f.	Quartz+Kaolinite.	
1.259	t.t.f. floue	Quartz+Calcite+Halloysite+Kaolinite.	
1.223	t.f.	Quartz.	
1.206	f.	Quartz+Calcite.	
1.175	t.t.f.	Quartz+Calcite.	
<i>Fraction 7 +.</i>			
7.569	f.	Halloysite.	
7.010	m.	Kaolinite.	
4.377	}	d.m.	Kaolinite.
4.179			
3.447	f.	Quartz.	
3.348	}	d.F.	Quartz.
3.258			

TABLEAU I. — Argile 3 (suite).

d_{pqr}	INTENSITE.	NATURE DU MINERAL.
<i>Fraction 7 + (suite).</i>		
3.029	f. nette	Calcite.
2.534	t.f.	Calcite+Kaolinite.
2.457	t.f.	Quartz.
2.408	t.f.	Quartz+Halloysite.
2.338	} a.f. large	Quartz+Kaolinite.
2.285		
2.223	f. nette	Halloysite+Kaolinite.
2.082	m.	Calcite.
1.937	f.	Calcite+Kaolinite.
1.865	t.f. floue	Quartz.
1.774	a.F.	Kaolinite (ou Quartz?).
1.655	} m. large ou d. m.	Quartz+Calcite+Kaolinite.
1.624		
1.508	m. nette	Calcite+Halloysite.
1.459	m. floue	Quartz+Calcite+Kaolinite.
1.421	a.p.v.	Quartz+Calcite+Kaolinite.
1.393	a.p.v	Quartz+Calcite+Kaolinite.
1.358	} a.F. large	Quartz (+Kaolinite?).
1.345		
1.265	t.f.	Quartz+Calcite+Halloysite+Kaolinite.
1.230	t.f. nette	Quartz+Halloysite.
1.206	t.t.f.	Quartz+Calcite.
1.175	f. nette	Quartz+Calcite.
1.160	f. nette	Quartz+Calcite.
<i>Fraction 7 —.</i>		
8.112	t.t.f.	Halloysite.
7.459	a.F.	Halloysite.
4.591	} d.m.	Kaolinite.
4.377		
3.660	a.f.	Halloysite.
3.447	t.F.	Quartz.
3.212	t.t.f.	Raie parasite.
2.659	} a.f. large	Halloysite (+Kaolinite?).
2.534		
2.469	} a.f. large	Kaolinite (+Quartz+Calcite?).
2.350		

TABLEAU I. — **Argile 3** (suite).

d_{pqr}	INTENSITE.	NATURE DU MINERAL.
<i>Fraction 7 — (suite).</i>		
2.193	f.	Quartz.
2.031	f.	Quartz+Kaolinite.
1.937	a.p.v.	Kaolinite (+Calcite?).
1.865	a.F.	Quartz.
1.732	m. large	Halloysite.
1.704		
1.580	m.	Quartz.
1.534	m.	Quartz (+Halloysite?).
1.496	t.t.f.	Quartz+Calcite+Kaolinite.
1.421	m. large	Quartz+Calcite+Kaolinite.
1.407		
1.323	t.t.f.	Kaolinite.
1.291	a.p.v.	Quartz+Calcite+Halloysite+Kaolinite.
1.265	a.p.v.	Quartz+Calcite+Halloysite+Kaolinite.
1.230	t.t.f.	Quartz+Halloysite.
1.210	t.t.f.	Quartz+Calcite.
1.182	a.p.v.	Quartz+Calcite.

TABLEAU II. — **Argile 23.**

d_{pqr}	INTENSITE.	NATURE DU MINERAL.
<i>Fraction 6.</i>		
7.227	m.	Kaolinite.
4.545	d.m.	Kaolinite.
4.377		
3.660	m.	Halloysite.
3.447	F.	Quartz.
3.212	t.t.f.	Raie parasite.
2.630	d.m. flou	Halloysite.
2.547		
2.408	f. floue	Quartz.
2.295	a.p.v.	Quartz.
2.172	t.f.	Quartz+Halloysite.
2.031	f.	Quartz+Kaolinite.
1.865	f.	Quartz+Kaolinite.

TABLEAU II. — **Argile 23** (suite).

d _{par}	INTENSITE.	NATURE DU MINERAL.	
<i>Fraction 6</i> (suite).			
1.715	m. floue	Quartz+Halloysite.	
1.575	f.	Quartz (+Kaolinite?).	
1.521	m. nette	Calcite (+Halloysite?).	
1.483	a.p.v.	Quartz+Calcite+Kaolinite.	
1.407	a.F. nette	Quartz+Calcite+Kaolinite.	
1.311	a.p.v.	Quartz+Calcite+Kaolinite.	
1.282	a.p.v.	Quartz+Kaolinite.	
1.259	a.p.v. floue	Quartz+Calcite+Halloysite+Kaolinite.	
1.225	t.t.f.	Quartz.	
1.206	f.	Quartz+Calcite.	
1.175	t.f. floue	Quartz+Calcite.	
<i>Fraction 7</i> +.			
7.705	a.f.	Halloysite.	
7.107	a.F.	Kaolinite.	
4.500	}	d.m.	Kaolinite.
4.335			
3.717	a.p.v.	Quartz.	
3.632	m. nette	Halloysite.	
3.472	}	d.F.	Quartz.
3.398			
2.617	}	d.m. flou	Halloysite.
2.534			
2.408	m. floue	Quartz.	
2.155	a.p.v.	Quartz+Halloysite.	
2.022	f. floue	Quartz+Kaolinite.	
1.858	f. nette	Quartz+Kaolinite.	
1.709	m. floue	Quartz+Halloysite.	
1.575	f. nette	Quartz+Kaolinite.	
1.521	m. nette	Calcite+Halloysite.	
1.491	t.t.f.	Kaolinite.	
1.407	a.F.	Quartz+Calcite+Kaolinite.	
1.369	a.p.v.	Calcite.	
1.311	a.p.v.	Quartz+Calcite+Kaolinite.	
1.282	a.p.v.	Quartz+Kaolinite.	
1.259	a.p.v. floue	Quartz+Calcite+Halloysite+Kaolinite.	

TABLEAU II. — **Argile 23** (suite).

d_{pqr}	INTENSITE.	NATURE DU MINERAL.
<i>Fraction 7 + (suite).</i>		
1.223	t.t.f.	Quartz.
1.206	t.f.	Quartz+Calcite.
1.175	t.t.f. floue	Quartz+Calcite.
<i>Fraction 7 —.</i>		
7.705	m.	Halloysite.
7.227	a.F.	Kaolinite.
4.545	}	Kaolinite.
4.335		
3.748	a.p.v.	Quartz.
3.660	m.	Halloysite.
3.523	}	Quartz.
3.421		
3.212	a.p.v.	Raie parasite.
2.630	}	Halloysite.
2.547		
2.507	a.p.v.	Quartz.
2.396	m. floue	Quartz.
2.338	t.t.f.	Quartz.
2.172	f.	Quartz.
2.022	m. floue	Quartz+Kaolinite.
1.929	a.p.v.	Kaolinite (+Calcite?).
1.865	m.	Quartz.
1.709	m. floue	Quartz.
1.655	a.p.v.	Calcite.
1.575	m.	Quartz.
1.521	a.F. nette	Halloysite.
1.487	t.f.	Quartz+Calcite+Kaolinite.
1.410	m.	Quartz+Calcite+Kaolinite.
1.369	a.p.v.	Calcite.
1.336	a.p.v.	Kaolinite.
1.314	t.t.f.	Quartz+Calcite+Kaolinite.
1.257	a.p.v. floue	Quartz+Calcite+Halloysite+Kaolinite.
1.223	t.f.	Quartz.
1.206	t.f. floue	Quartz+Calcite.

De la lecture de ces deux tableaux, on déduit immédiatement la nature des minéraux caractéristiques.

ARGILE N° 3.

Présence d'halloysite et de kaolinite :

a) *Halloysite*. — La raie à 7.705 Å. propre à ce minéral ⁽¹⁾ apparaît déjà très faiblement dans la fraction 6. Après électrophorèse, cette présence se confirme dans la fraction électro-négative, surtout par les raies à 8.112 Å. et 7.459 Å.

b) *Kaolinite*. — Ce minéral se révèle notamment avant électrophorèse par la raie à 7.107 et le doublet suivant; ce dernier subsiste dans les fractions 7.

ARGILE N° 23.

Présence d'halloysite et de kaolinite :

a) *Halloysite*. — Les fractions 7 montrent toutes deux la raie à 7.705 Å. qui était restée invisible dans la fraction 6. De plus, le doublet flou [2.6-2.5] existe dans les trois fractions, de même que la raie à 1.521 qui semble s'intensifier dans la fraction négative.

b) *Kaolinite*. — Sa présence est accusée par la ligne à 7.107 ou celles à 7.227. Ces lignes précèdent le doublet [4.5-4.3] dans les trois spectrogrammes.

Comme on l'aura aisément remarqué en parcourant les tableaux I et II, on n'a pu se débarrasser complètement des minéraux communs, quartz et calcite, dont les raies masquent fréquemment celles des minéraux caractéristiques. Toutefois, la partie centrale des diagrammes échappe à cet inconvénient et laisse voir les raies les plus intéressantes.

D'ailleurs, l'électrophorèse ne donne pas une séparation parfaite, car, entre autres causes, il se produit toujours un entraînement. Cependant, en l'occurrence, une seule électrophorèse a suffi à faire apparaître ou à renforcer certaines lignes importantes.

E. — CONCLUSION.

Comparant les résultats fournis par l'examen microscopique, l'analyse thermique et l'étude röntgenographique, nous concluons, pour les deux échantillons étudiés, à la présence simultanée d'halloysite et de kaolinite, en entendant ces vocables dans le sens défini par M. Urbain.

(1) URBAIN, P., *op. cit.*, fasc. 500, p. 47.

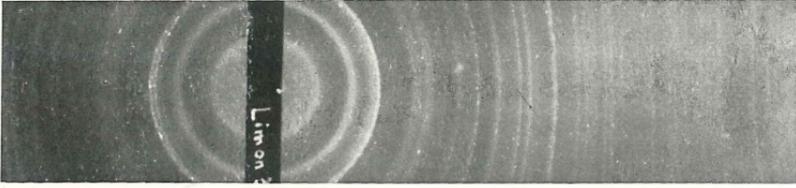


FIG. 1.

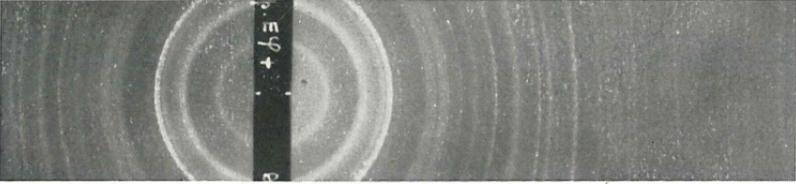


FIG. 2.

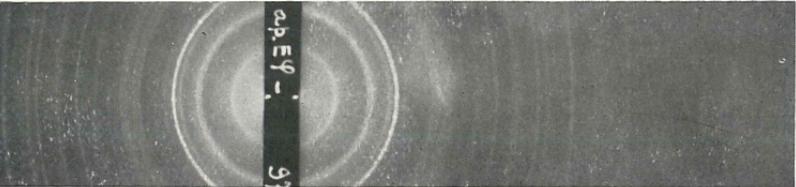


FIG. 3.

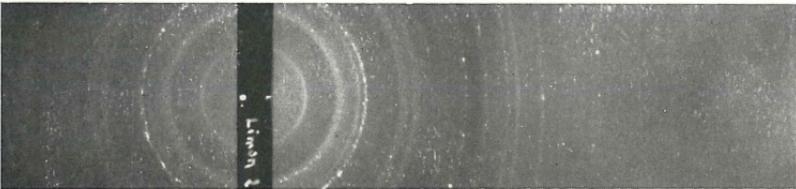


FIG. 4.

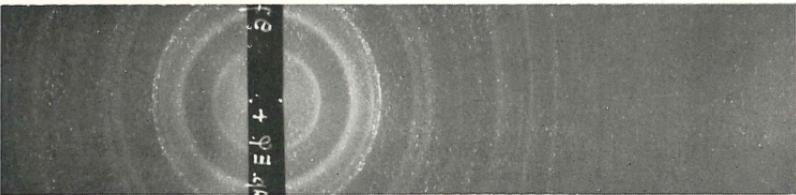


FIG. 5.

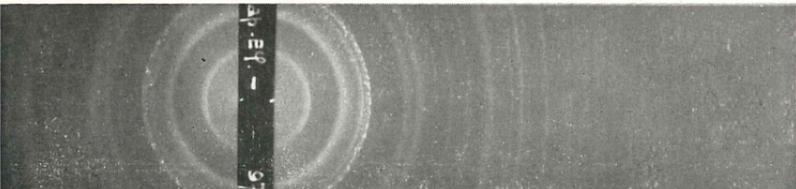


FIG. 6.

EXPLICATION DE LA PLANCHE VII.

Röntgenogrammes de poudres.

- FIG. 1. — Argile n° 3 : Fraction 6.
FIG. 2. — Argile n° 3 : Fraction 7+.
FIG. 3. — Argile n° 3 : Fraction 7—.
FIG. 4. — Argile n° 23 : Fraction 6.
FIG. 5. — Argile n° 23 : Fraction 7+.
FIG. 6. — Argile n° 23 : Fraction 7—.

Université de Louvain.
Laboratoire de Minéralogie. Décembre 1938.

Les eaux artésiennes salines du Bassin de Paris, de la Basse et de la Moyenne Belgique,

par J. DELECOURT.
(Troisième note.)

M. le Prof^r Hacquaert vient de publier deux très intéressantes notes ⁽¹⁾. Elles sont relatives aux eaux souterraines des Flandres (40 et 41). En collaboration avec M. R. Baetslé, il nous apporte en outre une récente contribution à l'hydrologie des mêmes régions (42).

MM. Hacquaert et Baetslé, dans leurs travaux, ont l'amabilité de signaler qu'ils sont d'accord avec moi en ce qui concerne les faits d'observation. Je les en remercie vivement, bien convaincu que leurs prochaines contributions en la matière hâteront considérablement la solution des problèmes qui nous occupent. C'est dans cet espoir et surtout à leur intention que je verse ces nouvelles pages au dossier des eaux artésiennes salines.

Si nous sommes d'accord sur le fond, nous paraissions l'être moins complètement sur les termes employés. M. Hacquaert écrit, en effet :

« Il s'avère de plus en plus que les termes *limite de salure*, *régime de salure*, etc., ont été choisis d'une façon assez malheureuse, non seulement parce qu'il s'agit plutôt de *dessature*, comme le fit déjà observer M. Delecourt lui-même, mais aussi

(1) Les chiffres gras renvoient à l'index bibliographique établi à la fin de cette note.

parce que la teneur en sel joue un rôle tout à fait accessoire pour la définition de la limite de salure.

» Comme une eau titrant 6° renferme une proportion assez importante de carbonates alcalins, elle a une réaction nettement alcaline; son pH est assez élevé, égal ou supérieur à 8. Nous suggérons d'adopter à l'avenir les termes de limite d'*alcalinité*, régime d'*alcalinité*, etc. »

Je vais expliquer pourquoi je ne suis pas complètement de cet avis et, pour le faire, je publierai certaines des analyses qui m'ont aidé à déterminer les tracés des limites de salure et de sursalure du Grand Courant. J'attirerai aussi l'attention sur les effets de certains surpompages et sur l'origine des eaux chlorurées calciques captées depuis quelques années dans le Grand Courant sous Bruxelles.

Dans cette troisième note, j'exposerai également comment il serait souhaitable de transcrire les analyses d'eau afin de les rendre facilement comparables entre elles. La méthode de notation que je propose fait en outre apparaître clairement les erreurs de titrages, de pesées ou de calculs. La zone d'où provient l'eau analysée est aussi facilement déterminée.

Enfin, on peut tirer un parti avantageux d'analyses très incomplètes en utilisant ce que j'appellerai plus loin la millivalence moyenne. Les notions de degrés hydrotimétriques et alcalimétriques calculés d'après les millivalences $\text{Ca} + \text{Mg}$ et CO^3 conduisent également à des calculs de vérification très rapides.

Les méthodes américaines de notation proposées par MM. C. Palmer et Tickell (32, 43) ont le désavantage d'être trop compliquées lorsqu'il s'agit de comparer un grand nombre d'analyses. Elles sont inopérantes dans le cas où les analyses sont trop incomplètes en raison du nombre trop grand de radicaux acides et de bases qui entrent en ligne de compte. On trouvera un excellent index bibliographique des ouvrages américains traitant de la salure des eaux, en ordre principal dans les gisements de pétrole, dans un travail récent de M. de Cizancourt (44).

§ 1. LES EAUX ALGALINES ET L'ALCALINITE.

La zone de salure pourrait s'appeler plus exactement *zone des eaux douces sodiques*. Elle est comprise entre la limite de salure et la limite de sursalure qui toutes deux sont des isogrades de 6° hydrotimétriques français (45).

J'ai appris en 1934, par le travail de M. Lepersonne (9), que les hydrologues anglais et en particulier le D^r Thresh admet-

taient le même critère de dureté pour fixer la limite de salure de la nappe de la craie dans le bassin de Londres (13).

Cette année, M. le Prof^r Hacquaert (41) considère également que la première isograde de 6° sépare la zone des eaux dures de celles où les eaux sont, d'après lui, en *régime d'alcalinité*. Il propose d'appeler *limite d'alcalinité* cette isograde qui est ma limite de salure.

Il semble donc que les hydrologues anglais, M. J. Lepersonne, M. le Prof^r Hacquaert et moi-même sommes absolument d'accord sur les faits, puisque nous adoptons la même dureté comme critère de distinction entre les eaux dures et les eaux douces.

M. le Prof^r Hacquaert semble moins satisfait des termes employés pour établir les faits et propose, comme nous l'avons dit déjà, d'appeler *zone des eaux alcalines* celle que j'avais d'abord désignée sous le nom de zone de salure et que je suis tout disposé à baptiser : *zone des eaux douces sodiques*. En telle occurrence, ma limite de salure deviendrait la *limite d'alcalinité* pour M. Hacquaert.

J'accepterais volontiers les expressions nouvelles pour autant qu'elles soient plus précises que celles que j'ai proposées. Il n'en est malheureusement pas ainsi, car le terme *alcalinité* a toujours été employé un peu à tort et à travers.

Une eau dont la température est voisine de 22° est neutre quand son pH est égal à 7 (46).

Une eau est alcaline, à la même température, si son pH est supérieur à 7.

Si l'eau est neutre à 22°, son pH est égal à 7,2 environ vers 10°.

La détermination du pH par colorimétrie ne donne aucune garantie d'exactitude.

Pour tenir compte des indications relatives à cette mesure, il faudrait donc qu'elle fût indiquée, par exemple, ainsi dans les bulletins d'analyse :

pH à 22° au potentiomètre = 8,2.

Les déterminations de MM. Hacquaert et Baetslé sont faites de la sorte et nous pouvons nous y fier complètement. Mais nous n'avons, au contraire, rien pu tirer des sérieux résultats obtenus par colorimétrie.

Quoi qu'il en soit, le pH des eaux de la zone de salure est réellement alcalin et généralement compris entre 8,2 et 8,5. Mais comme un seul degré alcalimétrique (47) en bicarbonate de soude amène un pH de 8,3, il en résulte que *normalement*

les eaux de la zone des échanges de bases ont un pH également voisin de 8,3.

La limite d'alcalinité serait donc mieux à sa place si elle séparait la zone des eaux dures proprement dite de la zone des échanges de bases. Ceci demande, d'ailleurs, une vérification en raison même du nombre réduit de détermination du pH au potentiomètre.

L'*alcalinité* d'une eau est tout autre chose. Elle est somme toute la quantité de CO^3 combiné dans le résidu sec. Elle se détermine par la méthode de Bonjean qui emploie le méthylorange comme indicateur coloré. Le mode opératoire est connu. On verse de l'acide sulfurique dans l'eau à examiner et on évalue en centimètres cubes la quantité d'acide décinormal utilisé au moment du virage, sous déduction de la quantité qui fait virer l'indicateur dans l'eau distillée. On peut établir facilement que les millivalences CO^3 sont égales au nombre de centimètres cubes d'acide décinormal versé, divisé par 10.

L'alcalinité d'une eau s'exprime de façons très diverses. Elle s'évalue en mgr. CO^2 par litre, en mgr. CaCO_3 par litre ou en mgr. SO^4H^2 . Certains chimistes évaluent l'alcalinité en degrés alcalimétriques. D'autres parlent de titre alcalimétrique.

En réalité, il est plus logique que le chimiste exprime l'alcalinité en centimètres cubes d'acide sulfurique décinormal par litre de ce qui indique, *en même temps que la méthode opératoire*, la valeur de 10 millivalences CO^3 et permet d'éviter toute confusion.

L'alcalinité d'une eau dure peut être plus importante que celle d'une eau douce sodique, quoique assez fréquemment le contraire se produise. Bref, la détermination de l'*alcalinité* d'une eau par la méthode de Bonjean ne nous permet pas de différencier une eau dure d'une eau salée. Nous verrons tantôt que la notion d'alcalinité est néanmoins précieuse. Ces premiers arguments ne me paraissent pas favorables à l'adoption des termes : *régime d'alcalinité* et *limite d'alcalinité*.

Je leur préférerais, tout au moins pour l'instant, les mots : *régime des eaux douces sodiques et isogrades de dessalure*. Ceux-ci seraient néanmoins moins faciles à employer que : *régime de salure* et *limite de salure*.

Rappelons aussi que les Américains appellent alcalinité primaire les propriétés conférées par les sels alcalins des acides faibles, et alcalinité secondaire, celles dues aux sels alcalino-terreux des mêmes acides. Notre alcalinité est donc la somme des alcalinités primaire et secondaire américains.

§ 2. MILLIVALENCES ACIDES, BASIQUES ET MOYENNE.

En Belgique, les eaux artésiennes bien captées ne contiennent ni ammoniacque, ni nitrites. Dans la même hypothèse, l'acide nitrique des nitrates est généralement absent, ou n'existe qu'à l'état de traces indosables. Ceci différencie les eaux artésiennes des eaux phréatiques qui sont souvent contaminées et contiennent tout au moins des nitrates en quantité dosable.

Le *résidu sec* d'une eau artésienne bien captée contient donc normalement : 1° des carbonates, puisque l'acide carbonique mi-combiné a disparu par l'évaporation; 2° des sulfates; 3° des chlorures; 4° des traces généralement indosables de nitrates, de phosphates et de borates; 5° des colloïdes et des matières organiques en faible quantité, indifférents aux échanges de bases.

L'alcalinité détermine assez exactement l'acide carbonique combiné du résidu sec. Il suffira donc de doser le chlore et l'acide sulfurique pour obtenir *approximativement* l'ensemble des radicaux acides des sels contenus dans ce résidu.

Pour étudier les phénomènes de dessalure, de salure, de sur-salure, il convient d'être en possession de nombreuses analyses établies d'après un programme bien déterminé. En pratique, on n'a généralement à sa disposition que des bulletins incomplets dont il faudra tirer des résultats plus ou moins exacts, mais pouvant être comparés aux résultats d'autres analyses plus détaillées. Il conviendra, en outre, puisque les résultats peuvent être sujets à caution, de chercher à évaluer l'importance des erreurs commises. En telle occurrence, la notation en millivalences est précieuse. Donnons tout de suite des exemples numériques. Nous trouvons, page 151 du travail de M. Hacquaert (42) :

N° 39. — PUIITS DE BOECK À APPELTERRE (GRAND COURANT).

pH	8,2
Dureté totale (degrés français)	0,25
Dureté permanente	0,00
Résidu d'évaporation (mgr/litre)	366,00
SO ⁴ (en mgr/litre)	27,18
Cl (mgr/litre)	14,2
Alcalinité au méthylorange (en cc. N/10 par litre)	51 cm ³
Matières organiques (KMnO ⁴ × 5)	25,3

En millivalences nous aurons :

$$\text{Millivalences SO}^4 = \frac{27,18 \times 2}{96} = 0,57 \text{ environ,}$$

dans lequel 96 est le poids moléculaire de SO^4 , qui est bivalent.

Nous avons aussi :

$$\text{Millivalences Cl} = \frac{14,2}{35,5} = 0,40$$

puisque le chlore est monovalent.

De la sorte, nous écrivons, en millivalences :

$$\begin{array}{r} \text{mCO}^3 = 5,10 \\ \text{mSO}^4 = 0,57 \\ \text{mCL} = 0,40 \\ \hline \Sigma a = 6,07 \end{array}$$

Σa est la somme des millivalences acides.

Si le pH des eaux était égal à 7, Σa serait égal à la somme des millivalences basiques par définition. On aurait donc $\Sigma a = \Sigma b$.

Or, les eaux de la Basse et de la Moyenne-Belgique captées du Lédien au Primaire ont généralement un pH compris entre 6,8 et 8,5. Ce pH est à Appel terre de 8,2. Or, un pH égal à 6 ne donne que 0,0365 mgr. d'acide chlorhydrique ionisé par litre, alors qu'un pH = 8 indique 0,040 mmgr. de soude ionisée par litre (48). Si les eaux ne sont pas rigoureusement neutres, entre ces limites, on peut néanmoins considérer que la somme des millivalences acides doit être égale à celle des millivalences basiques à quelques cent millièmes près.

Posons donc pour Appel terre : $\Sigma a = \Sigma b = 6,07$.

La graduation des burettes hydrotimétriques est établie en fixant à 22° hydrotimétriques la dureté de l'eau distillée additionnée de 250 mmgr. de chlorure de calcium par litre. Le poids de la molécule CaCl^2 est de 111, celui de la molécule de carbonate de calcium étant de 100. Un degré hydrotimétrique correspond donc à

$$\frac{250 \times 100}{22 \times 111} = 10,237 \text{ mgr. CaCO}^3.$$

Il correspond, par conséquent, à

$$\frac{10,237 \times 2}{100} = 0,20474 \text{ millivalence CaCO}^3,$$

à

0,20474 millivalence Ca,

à

0,20474 millivalence CO^3 .

De la sorte un degré hydrotimétrique vaut aussi 0,20474 millivalence Mg.

Nous ne faisons donc qu'une erreur de 2,37 % ou d'un degré pour 42,2 degrés hydrotimétriques en posant :

$$m(\text{Ca} + \text{Mg}) = 0,2 \text{ Th}, \quad (\text{I})$$

dans laquelle Th est le titre *hydrotimétrique total* et $m(\text{Ca} + \text{Mg})$ la somme des millivalences calcium et magnésium.

Mais le titre alcalimétrique déduit de la mesure de l'alcalinité par la méthode de Bonjean est obtenu en supposant qu'un degré alcalimétrique en CaCO_3 est égal à un degré hydrotimétrique en CaCO_3 également. De la sorte, un degré alcalimétrique représente 0,20474 millivalence CO_3 et l'on peut écrire

$$m(\text{CO}_3) = 0,2 \text{ Ta} \quad (\text{II})$$

avec la même approximation que l'équation I.

Ici, Ta est le *titre alcalimétrique*. On écrira plus simplement encore :

$$\text{Th} = 5 m(\text{Ca} + \text{Mg}) \quad (\text{III})$$

$$\text{Ta} = 5 m \text{CO}_3. \quad (\text{IV})$$

Pour Appelterre, nous avons $\text{Th} = 0,25$ et $\text{Ta} = 5 \times 5,1 = 25,5$.

Nous en déduisons $m(\text{Ca} + \text{Mg}) = 0,25 \times 0,2 = 0,05$; d'où $m(\text{Na} + \text{K}) = 6,07 - 0,05 = 6,02$.

Nous traduirons alors l'analyse en millivalences de la façon suivante (n° 39) :

m $\text{CO}_3 = 5,10$		Ta = 25,50°
m $\text{SO}_4 = 0,57$	m (Ca + Mg) = 0,05	Th = 0,25°
m Cl = 0,40	m (Na + K) = 6,02	r = 366
$\Sigma a = 6,07$	<u>6,07</u>	

Nous soulignons ou écrivons en chiffres gras les millivalences qui ont été obtenues par différence ou par hydrométrie.

Le résidu sec r est de 366 mmgr. par litre. La *millivalence moyenne* E s'obtient en divisant ce résidu par la somme des millivalences acides; on a

$$E = \frac{366}{6,07} = 60,3 \text{ milligrammes par litre.}$$

Or, les eaux sont presque entièrement sodiques; d'où :

une millivalence NaCl	=	58,5	milligrammes par litre
une millivalence Na ² SO ⁴	=	71,0	milligrammes par litre
une millivalence Na ² CO ³	=	53,0	milligrammes par litre
		<hr/>	
		182,5	milligrammes par litre

La moyenne de ces millivalences est donc voisine de $\frac{182,5}{3} = 60,8$ mmgr. par litre et l'analyse de M. Baetslé est donc très exacte quoique les bases n'aient pas été dosées.

Elle est précieuse et facile à interpréter. Les eaux appartiennent à la zone des eaux douces sodiques en raison de leur faible dureté; mais, comme elles ont un résidu sec faible et sont très peu chlorurées, elles sont captées près de la limite de salure.

Donnons un autre exemple, celui d'une bonne analyse, malheureusement interprétée comme il était de mode à cette époque, établie en 1860 pour les eaux du puits d'Ostende (Grand Courant et Landénien mélangés).

On a :

1. Chlorure sodique	1,363
2. Sulfate sodique	0,605
3. Carbonate sodique	0,651
4. Chlorure potassique	0,023
5. Chlorure magnésique	0,034
6. Alumine et oxyde de fer	0,007
7. Silice	0,003
8. Matières organiques	0,001
	<hr/>
	2,687

Nous négligeons les termes 6, 7 et 8 et décomposons les résultats 1 à 5 de façon à retrouver les poids SO⁴, de CO³, de Cl, de Ca, de Mg, de Na et de K, puis nous traduisons en millivalences.

Nous obtenons (analyse 35, deuxième note, p. 523) :

	m Ca = 0	
m CO ³ = 12,27	m Mg = 0,63	Ta = 61,35°
m SO ⁴ = 8,34	m Na = 44,14	Th = 3,15°
m Cl = 24,37	m K = 0,30	r = 2687
$\Sigma a = 44,96$	$\Sigma b = 45,07$	

et

$$E = \frac{2\,687 \times 2}{44,96 + 45,07} = 59,7.$$

Nous voyons que pour des eaux douces sodiques de résidus très différents, la millivalence moyenne est pratiquement constante et voisine de 60,00.

Citons un troisième exemple.

La composition des eaux bien captées dans le Primaire à Bevere-lez-Audenarde est indiquée par

Résidu sec	548
Ions chlore	35,5
Ions SO ⁴	76,8
Ions calcium en CaO.	17,2
Ions magnésiques en Mg	0,4
Dureté totale Th	3,3
Dureté temporaire	3,3

Nous traduisons en millivalences :

$$\begin{aligned} m\text{Cl} &= 0,99 & m\text{Ca} &= 0,615 \\ m\text{SO}^4 &= 1,60 & m\text{Mg} &= 0,035 \end{aligned}$$

Mais il nous manque une donnée précieuse : l'alcalinité.

Nous la déterminerons *approximativement* au moyen de la millivalence moyenne et obtenons (n° 40)

$$\Sigma a = \Sigma b = \frac{548}{60} = 9,1 \text{ environ.}$$

D'où :

$$\begin{array}{lll} m\text{CO}^3 = \mathbf{6,51} & m\text{Ca} = 0,615 & \\ m\text{SO}^4 = 1,60 & m\text{Mg} = 0,035 & \text{Ta} = 32,55^\circ \\ m\text{Cl} = 0,99 & m(\text{Na} + \text{K}) = \mathbf{8,450} & \text{Th} = 3,25^\circ \\ \Sigma a = \mathbf{9,10} & \Sigma b = \mathbf{9,100} & \end{array}$$

Mais nous soulignons 6,51, CO³, 8,450, Na+K, Σa et Σb , parce que ces chiffres résultent d'un calcul approché.

Captées au Palace Hôtel à Ostende, les eaux du Landénien ont une composition très bien établie par une bonne analyse. Mais l'alcalinité n'est pas déterminée. On connaît ici Σb . Comme on

connaît $m \text{Cl}$ et $m \text{SO}^4$ et que l'on sait que $\Sigma a = \Sigma b$, on en déduit $m \text{CO}^3$.

Dans ce cas, on souligne $m \text{CO}^3$ dans l'analyse, mais on conserve $E=60,5$ qui est obtenu directement en divisant le résidu sec par Σb .

La millivalence moyenne des eaux dures est généralement un peu plus faible que celle des eaux salées en raison des poids moléculaires plus faibles des sels de calcium et de magnésium par rapport aux sels de soude et de potassium. En pratique, pour les eaux dures bicarbonatées, on a $50 < E_c < 55$.

Pour les eaux séléniteuses, on a à peu près $E_s=60$ environ.

Enfin, lorsque la détermination du résidu sec se fait sur le résidu sulfaté, on trouve généralement : résidu sulfaté = $70 \Sigma a$.

Ces chiffres ne sont que des moyennes approximatives à corriger pour chaque région par des mesures directes sur un ensemble de puits situés dans la même zone. Les bonnes analyses en ions sont exceptionnelles. *Le dosage principal, celui du sodium, est très rarement fourni.* Pour éviter des frais d'analyse trop élevés, on pourrait se contenter des dosages suivants : chlore, SO^4 et alcalinité, calcium, magnésium, résidu d'évaporation, dureté totale.

Il est à souhaiter que ces chiffres soient accompagnés des dosages de la silice, de l'alumine et des matières organiques afin de pouvoir à la rigueur corriger une millivalence moyenne E anormale. Il faut aussi être assuré de l'absence des nitrites et de l'ammoniaque et de la faible quantité de nitrates éventuellement dissous.

La dureté temporaire n'est intéressante que pour les eaux dures. Les eaux de la zone d'échange de bases, les eaux douces sodiques et les eaux sursalées contiennent du bicarbonate de soude qui, par ébullition, produit du carbonate de soude pendant que le CO^2 se libère et s'échappe avec la vapeur d'eau. Le carbonate de soude ainsi formé donne avec les sulfates alcalino-terreux du sulfate de soude et des carbonates terreux insolubles. En fait, *la dureté permanente déterminée est beaucoup plus faible que la dureté permanente réelle.* Pour éviter les confusions, une dureté permanente de 12 degrés par exemple, doit toujours s'écrire 15—3 pour indiquer que le chimiste n'a pas omis de retrancher les trois degrés attribués au carbonate de chaux dissous.

Si le titre hydrotimétrique total est franchement inférieur au titre alcalimétrique, l'eau est incontestablement captée dans la

zone des échanges de bases ou dans la zone des eaux douces sodiques. Il n'en est plus nécessairement de même dans la zone de sursalure. L'alcalinité diminue ici au fur et à mesure que le résidu sec et la dureté augmentent. L'alcalinité de l'eau marine contemporaine est très faible.

Si la détermination du degré hydrotimétrique permanent donne des chiffres trop faibles pour les zones d'échange de bases, des eaux douces sodiques et de sursalure, il s'ensuit que la dureté temporaire de ces eaux n'indique jamais même approximativement les carbonates alcalino-terreux précipités par l'ébullition. L'essai alcalimétrique est donc indispensable. Il est suffisant d'indiquer la dureté totale obtenue expérimentalement par la méthode de Boutron et Boudet et le titre alcalimétrique déterminé par la méthode de Bonjean employant le méthylorange comme indicateur coloré.

Employées avec des réserves, les méthodes de titrage alcalimétrique et hydrotimétrique sont excellentes, rapides et suffisamment précises pour que les chimistes qui ne sont pas nécessairement hydrologues y appliquent tous leurs soins. Bien entendu, dès que la dureté atteindra 25° français, un dosage de la chaux et de la magnésie s'impose. Le degré hydrotimétrique calculé par

$$\text{Th} = 5\text{m}(\text{Ca} + \text{Mg})$$

ne devra pas alors différer de plus de deux degrés pour des duretés inférieures à 40° et d'un degré pour des duretés inférieures à 10°. Bref, c'est à un degré hydrotimétrique ou à 0,2 millivalence près que sont tracées les limites de salure et de sursalure.

Il convient, néanmoins, de s'assurer de l'absence de CO² libre, ou d'évaluer rapidement son importance minime par rapport à l'acide carbonique des carbonates contenus dans le résidu sec. Ce dosage se fait en établissant par soustraction les valeurs de l'alcalinité en CO² contenue dans l'eau brute et l'eau additionnée de carbonate de chaux chimiquement pur.

§ 3. COMPOSITION CHIMIQUE DES EAUX PHRÉATIQUES.

M. Hacquaert écrit très judicieusement : « Il semble bien que dans la plupart des cas, les eaux provenant de puits domestiques sont contaminées, non seulement au point de vue bactériologique, mais aussi au point de vue chimique. »

On peut généraliser et dire qu'en Belgique ces contaminations affectent également les eaux phréatiques même lorsqu'elles

sont captées par puits profonds, filtrants ou ordinaires. Les eaux dures artésiennes ont une millivalence moyenne généralement comprise entre 50 et 55. *La millivalence moyenne des eaux dures phréatiques est beaucoup plus élevée lorsque les eaux sont contaminées.* En effet, outre les radicaux acides minéraux des eaux artésiennes : CO^3 , SO^4 et Cl , nous trouvons dans les eaux phréatiques contaminées des radicaux provenant d'acides nitreux, nitriques et organiques.

Les eaux phréatiques n'étant généralement pas acides, lorsqu'elles ont une dureté élevée, il faut en déduire que ces radicaux acides, nitreux, nitrique ou organiques sont neutralisés par des bases alcalines ou alcalino-terreuses existant dans le sous-sol belge.

Dans ces cas les millivalences basiques Ca , Mg , Na et K sont neutralisées non seulement par des millivalences CO^3 , SO^4 et Cl , mais encore d'autres millivalences (acide nitreux, nitrique, crénique, humique, etc.).

Si nous divisons le résidu d'évaporation d'une eau phréatique contaminée par $\Sigma(m\text{CO}^3 + m\text{SO}^4 + m\text{Cl})$, nous ne tenons pas compte des autres radicaux acides et nous obtenons une valeur beaucoup trop forte de la millivalence moyenne E . Donnons à titre d'exemple, notée en millivalences, l'analyse des eaux d'un puits de Menin, d'après M. Hacquaert (41) (p. 349, tableau I, n° 1) :

$$m\text{CO}^3 = 7,42 \qquad m\text{SO}^4 = 5,25 \qquad m\text{Cl} = 4,40,$$

d'où

$$\Sigma a = 17,07$$

Le résidu sec de cette eau est de 1,616 gr./litre; d'où

$$E = \frac{1,616}{17,07} = 94 \text{ environ.}$$

La millivalence moyenne est ici à peu près double de celle d'une eau artésienne de la zone des eaux dures.

D'une façon générale une millivalence trop élevée indique toujours une contamination biologique ou une erreur d'analyse.

En Belgique, la composition des eaux phréatiques est tellement irrégulière que nous ne pouvons pas, comme je l'ai fait pour l'étude de la nappe des sables verts du bassin de Paris, nous servir d'analyses d'eaux phréatiques pour étudier les phénomènes de salure dans les courants artésiens. *Nous devons, au contraire, nous baser sur la composition des eaux dures de la nappe artésienne, captées à une distance suffisante des affleure-*

ments, aux endroits où elles sont, actuellement encore, à l'abri des pollutions de plus en plus généralisées et de plus en plus menaçantes.

§ 4. CARACTÈRES CHIMIQUES DES EAUX ARTÉSIENNES DURES DU GRAND COURANT.

La zone de dessalure comprend ici une zone des eaux dures proprement dite précédant la zone des échanges de bases. C'est dans cette dernière que les eaux perdront leurs sels alcalino-terreux et se chargeront de sels alcalins. Elles pénétreront ensuite dans la zone des eaux douces sodiques, alors que leur dureté sera inférieure à 6° français. Le titre hydrotimétrique choisi est assez conventionnel, mais il nous permet de suivre facilement les phénomènes, nous l'avons dit tantôt, avec une approximation d'un degré français ou de 0,2 millivalence. Une eau dure proprement dite ne contiendrait que des bicarbonates et des sulfates alcalino-terreux et une faible quantité de chlorure de sodium.

Une eau pareille, lorsqu'elle commence à échanger ses bases, contient notamment des bicarbonates et des sulfates alcalins.

Dans une eau dure proprement dite, on devrait donc avoir

$$m\text{Cl} = m(\text{Na} + \text{K}),$$

alors qu'une eau d'échange de bases serait caractérisée par

$$m\text{Cl} < m(\text{Na} + \text{K}).$$

La distinction entre une eau dure proprement dite et une eau de la zone d'échange de bases n'est néanmoins pas toujours facile, *parce que dans la plupart des analyses $m(\text{Na} + \text{K})$ est déterminée par différence.* D'autre part, lorsqu'on trouve

$$m\text{Cl} = m\text{Na},$$

il est à craindre que le chimiste se soit laissé influencer par des théories surannées. Nous avons en outre, volontairement, mais pour simplifier, introduit une cause d'erreur dans nos estimations en supposant qu'un degré alcalimétrique ou hydrotimétrique équivaut à 0,2 millivalence.

Enfin, nous ne nions pas que des phénomènes d'échanges de bases, très atténués toutefois, puissent se produire même dans la zone des eaux dures proprement dite.

C'est pourquoi nous adoptons comme caractéristique pra-

tique des eaux d'échange de bases, lorsque les analyses ne sont pas parfaites,

$$0,40 + m\text{Cl} < m(\text{Na} + \text{K}).$$

Cela revient somme toute à nous donner le droit de faire une erreur d'un ou deux degrés dans le titrage alcalimétrique ou hydrotimétrique, ce qui, en fin de compte, n'est pas bien grave. Nous verrons, en effet, que le titre alcalimétrique des eaux dures est généralement supérieur à 30 pour les eaux que nous examinons.

Cela étant, je donne ci-dessous sept analyses d'eaux dures proprement dites, d'eaux captées depuis la frontière hollandaise jusqu'à Saint-Léger, à quelques kilomètres de la frontière française (captage de la ville de Courtrai).

Les eaux sont captées à Eysden et Geulle dans la branche supérieure du Grand Courant (Maestrichtien et craie blanche), dans la craie à Trognée. A Landen, toute la craie a été traversée. A Rhode-Saint-Genèse et à Zuen, les eaux proviennent du Cambrien. Enfin, à Saint-Léger (puits 4), les eaux proviennent du calcaire carbonifère.

On remarque la constance relative de la composition chimique des eaux. *Elles sont toutes très peu sulfatées* et faiblement chlorurées. Les millivalences CO_3 prédominent du côté acide. Du côté basique non seulement $m(\text{Ca} + \text{Mg})$ est largement prédominante, mais

$$m(\text{Na} + \text{K}) < (0,4 + m\text{Cl}).$$

Nos		Résidu sec	$m\text{CO}_3$	$m\text{SO}_4$	$m\text{Cl}$	Σa	$\frac{m}{(\text{Ca} + \text{Mg})}$	$\frac{m}{(\text{Na} + \text{K})}$	E	Th	Ta	date
41	Eysden 76	390	6,20	0,44	0,54	7,18	6,37	0,81	54,3	31,85°	31,00°	1910
42	Geulle	345	6,00	0,27	0,38	6,65	6,08	0,57	51,9	30,40	30,00	1935
43	Trognée	395	7,30	0,12	0,43	7,85	7,40	0,45	50,3	37,00	36,50	1938
44	Landen	402	6,70	0,46	0,25	7,41	6,80	0,61	54,2	34,00	33,50	1938
45	Rhode	392	7,09	0,36	0,50	7,95	7,37	0,58	49,3	36,85	35,45	1937
46	Zuen	319	5,82	0,01	0,36	6,19	5,83	0,36	51,3	29,15	29,10	1937
47	St-Léger	427	7,16	0,38	0,40	7,94	7,70	0,24	53,7	38,50	35,80	1938

Les analyses sont récentes et dues à cinq chimistes différents; je les ai simplement notées en millivalences. Le titre hydrotimétrique total Th est calculé par $\text{Th} = 5 m(\text{Ca} + \text{Mg})$. Le titre alcalimétrique est calculé par $\text{Ta} = 5 m\text{CO}_3$.

Somme toute, *actuellement* nos eaux artésiennes dures, proprement dites, ont une dureté calculée de 30 à 40 degrés français et un titre alcalimétrique de 29 à 37 degrés environ. Le titre alcalimétrique est toujours inférieur au titre hydrotimétrique, ce qui prouve, en présence du peu de sulfates, l'absence du bicarbonate de soude. Les échanges de bases ne sont donc pas encore sensibles.

§ 5. LES CHLORURES DE LA ZONE DES ÉCHANGES DE BASES.

Dans le Sud de la Flandre orientale, le Grand Courant est alimenté par des eaux infiltrées dans le Siluro-Cambrien qui affleure notamment au Nord d'Ath, à Enghien, à Tubize, à Hal.

Un bon type d'analyse d'eau dure siluro-cambrienne est fournie par un puits artésien, foré à Zuen, il y a quelques années et reproduit sous le n° 46. Nous avons en millivalences n° 46 :

				$r = 318,5$ mgrs par litre
$m\text{CO}^3 = 5,82$	$m\text{Ca} = 4,05$	$E = 51,5$		
$m\text{SO}^4 = 0,01$	$m\text{Mg} = 1,78$	Dureté calculée	Th 29,15°	
$m\text{Cl} = 0,36$	$m(\text{Na} + \text{K}) = \mathbf{0,36}$	Dureté mesurée	T 26,5°	
$\Sigma a = 6,19$	$= 6,19$	Titre alcalimétrique	Ta 29,10°	

Si une eau semblable était épurée au permos et échangeait la totalité de ses bases, sa composition deviendrait approximativement n° 48 :

$m\text{CO}^3 = 5,82$	$m\text{Ca} = 0$	$r = 371,4$		
$m\text{SO}^4 = 0,01$	$m\text{Mg} = 0$	$E = \mathbf{60}$	Th = 0	
$m\text{Cl} = 0,36$	$m(\text{Na} + \text{K}) = 6,19$	dureté = 0	Ta = 29,10°	
$\Sigma a = 6,19$	$\Sigma b = 6,19$			

Comparons l'eau de Zuen naturelle ou épurée à celle d'Appelterre et celle d'un puits de Berchem-Audenarde. Nous trouvons :

Nos		Résidu sec	mCO ³	mSO ⁴	mCl	mCa	mMg	m (Na + K)	Σa	E	Th	Ta
46	Zuen naturelle	318,5	5,82	0,01	0,36	4,05	1,78	0,37	6,19	51,5	29,15°	29,10°
48	Zuen épurée	371,4	5,82	0,01	0,36	0	0	6,19	6,19	60	0	29,10
39	Appelterre	366,0	5,10	0,57	0,40	0,05	0	6,02	6,07	60,3	0,25	25,50
49	Berchem	378,0	4,96	0,44	0,90	0,64		5,66	6,30	60	3,2	24,80

A ma connaissance, les eaux douces sodiques du Grand Courant captées à Berchem et Appelterre sont celles dont la somme des millivalences acides et dont le résidu d'évaporation sont actuellement les plus faibles connus en Basse et Moyenne Belgique. Elles sont peu sulfatées. *L'eau d'Appelterre est, en outre, la moins chlorurée que je connaisse qui appartienne à la zone des eaux douces sodiques du Grand Courant.*

Un peu en aval, les millivalences Cl, qui atteignent déjà 0,90 à Berchem, vont croître considérablement. Nous trouverons ainsi :

Zuen.	mCl = 0,36	Eaux dures.
Appelterre.	mCl = 0,40	
Berchem-Audenarde	mCl = 0,90	Eaux douces sodiques
Bevere-Audenarde .	mCl = 0,99	(Zone de salure).
Gand Strop	mCl = 12,37.	
Eecloo	mCl = 28,89	Eaux sursalées.

La ligne Berchem-Appelterre est très voisine de la limite de salure du Grand Courant puisque les eaux du même Grand Courant ont une dureté de 36,4° à Renaix-Tribury et sont en fin d'échange de bases à Grammont.

Examinons, maintenant, d'autres régions et commençons par Bruxelles.

Dans l'*explication de la feuille de Bruxelles* (1883), jointe aux notes explicatives de la planchette géologique de cette ville, nous trouvons quatre analyses d'eau de puits artésiens captant au Grand Courant. Ces analyses sont reproduites dans le travail classique d'A. Rutot et Van den Broeck sur les eaux artésiennes du sous-sol de la Belgique (4). Exprimons ces analyses en millivalences.

Nous trouvons :

N° 50. — DISTILLERIE BELGE, RUE DE RUSSIE.

mCO ³ = 5,88	mCa = 3,80	r = 353,7 mgr/litre
mSO ⁴ = 0,19	mMg = 1,76	E = 56
mCl = 0,25	m(Na + K) = 0,76	Dureté calculée 27,6°
Σa = 6,32	Σb = 6,32	Ta = 29,4°

N° 51. — HÔPITAL SAINT-PIERRE.

$m\text{CO}^3 = 3,82$	$m\text{Ca} = 2,68$	$r = 333,8 \text{ mgr/litre}$
$m\text{SO}^4 = 0,44$	$m\text{Mg} = 0,54$	$E = 70,4$
$m\text{Cl} = 0,48$	$m(\text{Na} + \text{K}) = 1,52$	Dureté calculée 16,10
$\Sigma a = 4,74$	$\Sigma b = 4,74$	$\text{Ta} = 19,10^\circ$

N° 52. — USINE GODIN, LAEKEN.

$m\text{CO}^3 = 5,04$	$m\text{Ca} = 2,17$	$r = 366,6 \text{ mgr/litre}$
$m\text{SO}^4 = 0,38$	$m\text{Mg} = 1,17$	$E = 56,6$
$m\text{Cl} = 1,06$	$m(\text{Na} + \text{K}) = 3,14$	Dureté calculée 16,7°
$\Sigma a = 6,48$	$\Sigma b = 6,48$	$\text{Ta} = 25,2^\circ$

N° 53. — BOUGIES DE LA COUR, CHAUSSÉE DE MONS.

$m\text{CO}^3 = 2,71$	$m\text{Ca} = 2,10$	$r = 723,8 \text{ mgr/litre}$
$m\text{SO}^4 = 0,42$	$m\text{Mg} = 1,38$	$E = 60,5$
$m\text{Cl} = 8,84$	$m(\text{Na} + \text{K}) = 8,49$	Dureté calculée 17,4°
$\underline{\hspace{1cm}} 11,97$	$\underline{\hspace{1cm}} 11,97$	$\text{Ta} = 13,55^\circ$

Commençons par constater que l'analyse des eaux du puits de l'Hôpital Saint-Pierre est assez inexacte, car $E=70,4$, quoique l'eau soit peu sulfatée et relativement peu chlorurée. La millivalence moyenne est beaucoup trop forte. Les trois autres paraissent très bien faites. Elles sont d'ailleurs dues à Klement.

Nous remarquons que la dureté est de $27,6^\circ$, rue de Russie. A peu près à la même époque, elle était de 29° à l'Hôpital Militaire. Elle est actuellement de $29,15^\circ$ à Zuen. Elle était, il y a quelques années, de 27° à la nouvelle École Militaire (50). Cette dureté descendait à $17,4^\circ$ aux Bougies de la Cour, à $16,7^\circ$ à l'Usine Godin et à $16,1^\circ$ à l'Hôpital Saint-Pierre vers 1883.

Nous pouvons donc dire que toutes les eaux étaient captées en amont de la limite de salure, mais que *les échanges de bases commençaient dès 1883 sous le territoire de Bruxelles*. Sauf pour les eaux de la chaussée de Mons, on trouvait $m\text{Cl} < m(\text{Na} + \text{K})$, ce qui confirme que les échanges de bases se produisaient, puisque les sels alcalins se trouvaient non seulement à l'état de chlorure, mais à l'état de sulfates et de bicarbonates. Le titre alcalimétrique étant, en outre, supérieur à la dureté calculée, ce qui prouve la présence de NaHCO^3 .

Vers 1883, les eaux qui circulaient sous Bruxelles avaient à peu près la même somme de millivalences acides que les eaux

d'Appelterre et de Berchem, mais certaines étaient déjà dans la partie de nappe où se faisaient les échanges de bases :

	Zuen	Distillerie	Godin	Appelterre	Berchem
Σm a	6,19	6,32	6,48	6,07	6,30
mCl	0,36	0,25	1,06	0,40	0,90
Th	29,5°	27,6°	16,7°	0,25	3,20
Ta	29,6°	29,4°	25,2°	25,5°	24,8°

Le puits de la chaussée de Mons indiquait à première vue une situation particulière et paradoxale. Les millivalences (Na+K) y atteignaient à elles seules 8,49 unités. De plus, on y trouvait $m(\text{Na}+\text{K}) < m\text{Cl}$ et $\text{Ta} < \text{Th}$.

Il fallait bien admettre que ces eaux extraordinaires contenaient soit du chlorure de calcium, soit du chlorure de magnésium, soit les deux ensemble à concurrence de

$$(8,84 - 8,49) = 0,35 \text{ mCl.}$$

Actuellement, on rencontre fréquemment, sous les faubourgs de Bruxelles, des eaux du Grand Courant, qui, comme celles de la Fabrique de Bougies de la Cour, sont fortement chlorurées sodiques, quoique la dureté les fasse classer dans la zone des échanges de bases. Voici l'analyse de quelques-unes de ces eaux :

Nos		r	mCO ³	mSO ⁴	mCl	Σa	mCa	mMg	^m (Na+K)	E	T	Th	Ta
54	Quai des Usines	590	4,90	0,68	3,95	9,53	3,10	1,70	4,73	61,9	26°	24,00°	24,50°
55	Rue Bara	542	6,13	0,44	3,07	9,64	2,85	1,82	4,97	56,2	22,5	23,35	30,65
56	Rue Heyvaerts	444	4,22	0,33	3,24	7,79	2,36	1,55	3,88	57,-	19	19,55	21,10
57	Rue des Quatre-Vents	480	3,48	0,40	5,00	8,88	2,53	1,30	5,05	54,5	22	19,15	17,40
58	Rue des Goujons	684	3,16	0,91	7,06	12,03	1,57	1,59	8,87	56,8	—	15,80	15,80
59	Rue Verheyden	—	3,04	0,37	7,75	11,16	1,53	1,15	8,48	—	—	13,40	15,20
60	Rue Démosthène	555	4,20	0,41	4,48	9,09	0,90	1,00	7,19	61,0	8,5	9,50	21,00
53	Bougies de la Cour	724	2,71	0,42	8,84	11,97	2,10	1,38	8,49	60,5	—	17,40	13,55

T = dureté mesurée (Boutron et Boudet).

Ces eaux d'échange de bases déjà très chlorurées sodiques du Grand Courant ne sont pas spéciales à la région bruxelloise. On en connaît de pareilles au Nord de Lille (51), aux environs de Louvain et en Campine. L'origine de ces eaux serait difficilement explicable si nous ne connaissions les variations de la composition chimique des eaux d'un puits foré en 1887 à Koekelberg.

**§ 6. LE PUIIS A DE M. TOUBEAU ET LE PUIIS B
DE LA CHAUSSÉE DE MONS.**

Si l'on compare la planche V de ma première note aux planches de la seconde, on constate que j'ai dû modifier le tracé de la limite de salure à l'Ouest de Bruxelles.

Je connais, en effet, depuis fin 1936, par l'analyse des eaux du puits B, un point de la limite de salure dans le voisinage de Bruxelles. Le puits B, forage particulier, se trouve non loin du carrefour de la chaussée de Mons et de la rue Félix Decuyper. Traduite en millivalences, l'analyse des eaux est la suivante (n° 61) :

mCO ³ = 6,00	mCa = 0,57	r = 471 mgr ¹ litre
mSO ⁴ = 0,49	mMg = 0,69	E = 57,5
mCl = 1,70	m(Na + K) = 6,93	Ta = 30°
8,19	8,19	

La dureté totale de l'eau prise à l'hydrotimètre est de 5,1° degrés français. La dureté calculée est de

$$\frac{0,57 + 0,69}{0,20} = 6,3°.$$

Il y a donc lieu de croire que nous sommes sur la limite de salure ou dans son voisinage immédiat. Dès lors, le tracé de la limite de salure depuis la frontière française jusqu'à Anderlecht ne présente plus aucune difficulté.

Cette limite de salure s'amorce entre Mouscron et Lauwe. Les eaux du puits communal de Mouscron répondent aux qualités suivantes (n° 62) :

mCO ³ = 7,88		r = 504
mSO ⁴ = 1,02	m(Ca + Mg) = 7,20	E = 53,6
mCl = 0,51	m(Na + K) = 2,21	Th = 36°
9,41	9,41	Ta = 39,4°

$m(\text{Na} + \text{K}) > m\text{Cl}$ et $\text{Ta} > \text{Th}$ indiquent que Mouscron capte en zone d'échange de bases, mais au début de cette zone, la dureté étant encore très élevée (comparer à l'analyse de Saint-Léger en zone des eaux dures proprement dite).

Elle passe au Nord de Dottignies. Les eaux de la Brasserie de cette commune répondent à l'analyse suivante (n° 63) :

$m\text{CO}^3 = 6,90$	$m\text{Ca} = 0,66$	$r = 648$
$m\text{SO}^4 = 2,55$	$m\text{Mg} = 0,92$	$E = 63,5$
$m\text{Cl} = 0,75$	$m(\text{Na} + \text{K}) = 8,62$	$\text{Th} = 7,9^\circ$
$\Sigma a = 10,20$	$10,20$	$\text{Ta} = 34,5^\circ$

Elles sont captées au voisinage de la limite de salure (dureté $7,9^\circ$), mais encore en zone d'échange de bases.

Elle se prolonge vers l'Est et passe entre Berchem-Audenarde en zone de salure et Renaix-Tribury, dont les eaux ont la composition suivante :

$m\text{CO}^3 = 8,06$	$m\text{Ca} = 3,94$	$r = 477$
$m\text{SO}^4 = 0,42$	$m\text{Mg} = 3,34$	$E = 52,9$
$m\text{Cl} = 0,53$	$m(\text{Na} + \text{K}) = 1,73$	$\text{Th} = 36,4^\circ$
$\Sigma a = 9,01$	$9,01$	$\text{Ta} = 40,3^\circ$

Ces eaux sont captées au début de la zone des échanges de bases (Th encore élevé mais inférieur à Ta).

Enfin, elle passe entre Appelterre et Grammont (41) et (42), d'où elle se dirige vers le puits B de la chaussée de Mons.

En somme, en territoire belge et à l'Ouest de Bruxelles, la limite de salure du Grand Courant est presque rectiligne et orientée à peu près Ouest-Est.

A partir du puits B de la chaussée de Mons, nous ne possédons plus d'analyse d'eaux douces sodiques aux environs occidentaux de Bruxelles. Les premières eaux douces sodiques sont rencontrées à Vilvorde. Le tracé de la limite de salure sous ces réserves est indiqué dans la première note.

Ceci étant, reprenons l'étude des eaux chlorurées de la zone des échanges de bases et examinons le cas du puits A de Toubeau (52).

Ce puits particulier a été creusé en 1887, près de l'avenue de la Liberté, à Koekelberg; son eau provient d'une fissure, tapissée de quartz, rencontrée dans le terrain primaire. J'ai pu me pro-

curer une bonne analyse de ces eaux faites en 1928. Traduite en millivalences, elle est (n° 65) :

		r = 3,115
mCO ³ = 2,36	mCa = 4,18	E = 61,3
mSO ⁴ = 0,10	mMg = 4,40	Ta = 11,8°
mCl = 48,31	m(Na + K) = 42,19	Th = 42,95°
50,77	50,77	T = 40°

A première vue, il semblerait, en raison de la dureté et du résidu des eaux du puits A, que l'on capte en zone de sur-salure. Examinons les analyses faites par M. Toubeau depuis 1890.

Au cours des trente-neuf années d'observation, il a été constaté que les eaux sont toujours restées très faiblement sulfatées; on a toujours eu

$$m\text{SO}^4 < 0,195.$$

En 1890, le résidu sec est de 710 mgr. par litre, l'eau contient par litre 540 mgr. de NaCl et sa dureté est de 11°. Comme $m\text{SO}^4 < 0,195$, prenons une approximation qui ne gâtera pas le degré d'exactitude de nos calculs et posons $m\text{SO}^4 = 0,15$. La dureté étant égale à 11° français, nous en tirons

$$m(\text{Ca} + \text{Mg}) = 2,2.$$

Comme le chlorure de sodium domine, nous posons

$$E = 60; \text{ d'où } \Sigma a = \frac{710}{60} = 11,83.$$

Nous en concluons qu'en 1891 l'eau répondait à l'analyse suivante (n° 66) :

mCO ³ = 1,82		r = 710
mSO ⁴ = 0,15	m(Ca + Mg) = 2,20	E = 60
mCl = 9,86	m(Na + K) = 9,63	Th = 11° français
11,83	11,83	Ta = 9,10° français

Procédons de la même façon pour les autres analyses et nous trouverons :

N ^{os}	Date	mCO ³	mSO ⁴	mCl	Σα	m (Ca+Mg)	m (Na+K)	r	E	Th	Ta
66	1890	1,82	0,15	9,86	11,83	2,20	9,63	710	60	11°	9,40°
67	1891	2,65	0,15	25,70	28,50	2,70	25,80	1710	60	13,5	13,25
68	1896	1,80	0,15	35,13	37,08	3,40	33,68	2055	60	17	9,00
69	1897	6,80	0,15	37,08	44,11	4,10	40,01	2647	60	20,5	34,00
65	1928	2,36	0,10	48,31	50,77	8,58	42,19	3115	61,3	42,9	11,80

L'analyse de 1897 ne paraît pas aussi rigoureuse : l'alcalinité exprimée en millivalences CO³ n'est pas comparable aux autres. Sauf cette observation, on constate :

1° Qu'en 1890, les eaux étaient dans la zone d'échange de bases et qu'elles avaient une composition assez voisine de celles des eaux du puits « Les Bougies de la Cour », quoique déjà plus décalcifiées.

2° Que depuis lors la dureté n'a cessé d'augmenter de 11 à 42,9°.

3° Que depuis lors, également, et au moins jusqu'en 1928, les millivalences Cl ont augmenté régulièrement, semble-t-il, de 9,86 à 48,31.

4° Que la somme des millivalences Na + K augmentait pendant la même période de 9,63 à 42,19.

5° Que les eaux restaient constamment, ainsi que le spécifie textuellement Toubeau, peu sulfatées.

6° Qu'à part le résultat de 1897, qui est peut-être inexact, on trouve des alcalinités faibles, variant entre mCO³ = 1,80 et mCO³ = 2,65, comparables à celles déterminées par Klement pour les eaux du puits « Les Bougies de la Cour », où mCO³ = 2,71.

Il semble d'abord résulter de tout ceci que les eaux n'ont jamais été en régime de salure, puisque leur dureté ne semble jamais être au-dessous de 6°.

Dans l'analyse de 1928, nous trouvons

$$mCl > m(Na + K).$$

On peut établir que 48,31 — 42,19 = 6,12 millivalences chlore sont attribuables au calcium et au magnésium.

Mais comme m Mg = 4,40, nous en concluons que les eaux

du puits A, en 1928, contenaient au moins $6,12 - 4,40 = 1,70$ millivalences de chlorure de calcium.

Ces considérations assez ardues vont nous permettre d'examiner les faits avec plus de rigueur.

§ 7. FONCTIONS ZÉOLITIQUES ET ÉCHANGEURS DE BASES.

Nous pouvons, maintenant, deviner le rôle des échangeurs de bases. La présence de ceux-ci est démontrée dans tous les terrains perméables belges du Bartonien au Primaire, puisque j'ai pu déterminer approximativement les limites de salure des divers courants artésiens superposés dans des formations aussi diverses.

Les échangeurs de bases sont-ils de véritables zéolites ou des corps à fonctions zéolitiques? *Je l'ignore.*

Mais il est certain que les échanges de bases se produisent tout au moins dans le Siluro-Cambrien du Brabant et de la Flandre orientale, dans le calcaire carbonifère au Nord de Saint-Léger, vers Dottignies, dans la craie de Vilvorde et de Campine, de même que dans tous les sables tertiaires flamands: landéniens, yprésiens, paniséliens, bruxelliens, lédiens et bartoniens.

Constituons, comme l'a fait le Dr Tresh, un filtre avec du sable, de la craie ou des roches cambriennes broyées. *La matière importe peu. Il est seulement indispensable que les éléments de notre filtre soient des sédiments d'une couche aquifère de la zone de salure.*

Sur le filtre ainsi constitué, versons de l'eau dure provenant par exemple de la même couche aquifère, mais de sa zone des eaux dures. L'eau sortira du filtre avec la composition des eaux de la zone de salure. Elle sera devenue douce et sodique. La dureté tendra vers zéro degré français. Les bases sodiques, potassiques auront remplacé dans l'eau filtrée les bases calcaïques et magnésiennes de l'eau brute, pendant qu'une partie correspondante de calcium et de magnésium se sera intégrée dans l'échangeur de bases et se sera substituée à des alcalis.

Mais notre filtre n'épurera pas éternellement des eaux dures parce que les quantités de sodium et de potassium échangeables contenues dans les échangeurs de bases sont limitées.

Nous constatons donc, au bout d'un certain temps, que les échanges se font mal et que nous ne parvenons plus à abaisser la dureté de l'eau filtrée, par exemple au-dessous de 6 degrés français. Si nous persévérons néanmoins et continuons à ver-

ser de l'eau dure sur le filtre, il arrivera un moment où les eaux filtrées seront aussi dures que les eaux brutes.

Les corps à fonction zéolitique auront alors perdu leur pouvoir d'échanger les bases calciques et magnésiennes de l'eau contre les bases alcalines. Nous dirons que dans cet état *ils ont perdu leur pouvoir permutant positif*.

Dans la zone des eaux artésiennes dures proprement dites, les corps à fonction zéolitique contenus dans les sédiments de la couche aquifère ont perdu leur pouvoir permutant positif. Ils ne peuvent plus adoucir sensiblement les eaux, parce qu'ils en ont déjà trop adouci.

Ils sont dégénérés.

Dans la zone des échanges de bases et par définition, le pouvoir permutant positif existe, mais il est de plus en plus attaqué que l'on s'approche de la zone des eaux dures proprement dites. Il est d'autant plus puissant que l'on s'approche de la limite de salure. En effet, dès la zone de salure atteinte, les eaux sont douces, sodiques. *Le pouvoir permutant positif des sédiments de la zone de salure n'a donc guère été utilisé* puisque les eaux qui y pénètrent par la limite de salure sont déjà pratiquement dépourvues de chaux et de magnésie.

Il est maximum, puisque les corps à fonction zéolitique sont baignés dans les eaux uniquement sodiques et potassiques qui en assurent la régénération intégrale.

Pour faire image, on peut dire qu'au début de la zone de salure, les corps à fonction zéolitique sont conservés dans le sel. Ils tiennent intégralement leur pouvoir permutant positif, mais à l'état potentiel.

En résumé :

1° Dans la zone des eaux dures, les corps à fonction zéolitique sont dégénérés et ont perdu leur pouvoir permutant positif.

2° Dans la zone des échanges de bases, le pouvoir permutant positif est déjà attaqué et les échangeurs partiellement dégénérés.

3° A l'origine de la zone de salure ou des eaux douces sodiques, le pouvoir permutant positif est à son maximum, mais inutilisé et potentiel.

Avant le forage des premiers puits artésiens, les eaux dures des courants souterrains venaient dégénérer les corps à fonctions zéolitiques de la zone des échanges de bases et la limite de salure reculait dans le sens du courant au fur et à mesure de cette dégénération. L'étendue occupée par les zones dessa-

lées augmentait donc normalement avec le temps. Il pouvait même arriver que la zone des eaux dures proprement dite envahisse à la longue toute la zone de salure et même celle d'échange de bases. Telle paraît être le cas de la nappe artésienne de la craie sénonienne dans le Bassin de Paris.

Mais en Belgique, les faits sont autres et *si, en quittant la zone des échanges de bases, les eaux ne sont pas nécessairement très chlorurées sodiques, elles ne peuvent circuler longuement dans la zone de salure sans se charger de chlorure sodique qui, somme toute, tient en conserve le pouvoir permutant positif.*

En certains endroits de la Basse-Belgique, il est donc assez normal de rencontrer des eaux douces sodiques peu chlorurées comme à Berchem-Audenarde et Appelterre, mais ce sera toujours au voisinage d'une limite de salure.

Reprenons notre filtre à échangeur de bases dans l'état où nous l'avons laissé. Son pouvoir permutant positif est nul. Mais les corps à fonction zéolitique peuvent être régénérés par des eaux chargées de sels sodiques. Versons sur le filtre de l'eau chlorurée sodique. Il en sortira normalement de l'eau contenant du chlorure de calcium produit par le *pouvoir permutant négatif* pendant que les corps à fonction zéolitique seront régénérés et acquerront de nouveau leur pouvoir permutant positif.

Dans la pratique de l'usage des adoucisseurs industriels d'eaux par échange de bases, on sait que tout le chlorure de sodium ne sert pas à la régénération et *que les eaux de régénération sortent non seulement chlorurées calciques mais également chlorurées sodiques.* La restitution du sodium aux corps à fonction zéolitique dégénérés exige en effet beaucoup plus de NaCl que ne l'indique la réaction chimique.

Si nous employons d'autres sels sodiques, la régénération se fera également, mais l'eau de régénération contiendra du bicarbonate ou du sulfate calcique ainsi que l'excès de sels sodiques à l'état de bicarbonate ou de sulfate.

La régénération au NaCl, outre qu'elle est plus économique, a l'avantage de produire du chlorure de calcium beaucoup plus soluble que le bicarbonate ou le sulfate de calcium.

§ 8. LES CAPTAGES DANS LA ZONE D'ÉCHANGE DE BASES.

Si nous forons un puits en pleine zone de salure, sa partie captante sera entourée partout de sédiments perméables contenant des échangeurs de bases à pouvoir permutant positif. Il

est donc impossible que les eaux souterraines, d'où qu'elles proviennent, atteignent le puits autrement qu'à l'état d'eaux douces sodiques.

La composition ou, plutôt, le caractère chimique des eaux captées en zone de salure n'a donc aucune raison de se modifier avec le temps, pour autant que la limite de salure ne se déplace pas sensiblement. Si nous captions en zone des eaux dures proprement dite, les sédiments baignés par la nappe captée ont tous un pouvoir permutant positif nul. La composition ou, plutôt, le caractère des eaux de la zone des eaux dures proprement dite n'a donc non plus aucune raison de se modifier avec le temps. Toute variation importante de la dureté ou de la teneur en chlorure et en sulfates indiquera des contaminations biologiques ou industrielles.

Supposons, maintenant, que nous forions en zone d'échanges de bases. *Le forage est alors entouré par des sédiments de la couche aquifère qui possèdent les deux pouvoirs permutants : positif et négatif.*

En effet, au fur et à mesure que les échanges de bases se poursuivent dans le temps, les corps à fonction zéolitique échangent ici une partie de leur soude et absorbent du calcium et du magnésium. *Ils se dégèrent.*

Mais, du fait qu'ils ne sont pas complètement dégérés, ils conservent en partie leur pouvoir permutant positif.

Parce qu'ils le sont partiellement, ils ont acquis le pouvoir permutant négatif et ils peuvent, par conséquent, traversés par des eaux contenant des sels sodiques, donner des eaux contenant des sels calciques ou magnésiques.

En somme :

1° Au début de la zone de salure, le pouvoir permutant positif est maximum et le pouvoir négatif nul.

2° Dans la zone des échanges de bases, les deux pouvoirs positif et négatif existent.

3° Dans la zone des eaux dures proprement dite, le pouvoir positif est insignifiant et le pouvoir négatif maximum.

Voyons maintenant ce qui s'est passé depuis le forage des premiers puits artésiens de la région bruxelloise, c'est-à-dire depuis 1847 environ. Vers cette époque le puits artésien de la Gare du Nord équilibre ses eaux vers la cote 21 au-dessus de la mer. En 1876, l'équilibre hydrostatique du puits artésien du Grand-Central, à Louvain, est à la cote 38,60 au-dessus du niveau de la mer.

Dès les premiers forages du bas de la ville, *les eaux douces sodiques de la région de Louvain pouvaient donc se mélanger aux eaux d'échange de bases baignant normalement les terrains aquifères aux endroits choisis pour les captages.*

Vers 1880, le puits artésien de la Manufacture royale de Bougies, à Cureghem, dont les eaux s'équilibraient à la cote 16 pourrait recevoir :

1° Des eaux venant de la zone des eaux dures, infiltrées dans les craies de Hesbaye et le Siluro-Cambrien du Brabant.

2° Des eaux douces sodiques venant de la région de Louvain.

3° Des eaux sursalées de la branche inférieure du Grand Courant venant d'autres régions, puisque, en 1910, les eaux du puits d'Op-Grimby jaillissaient au-dessus de la cote 47,00 et contenaient plus de 7 grammes de sels par litre.

Rappelons d'abord l'analyse des eaux du puits de la Fabrique Royale faite à l'époque qui nous préoccupe; nous avons :

mCO ³ = 2,71	mCa = 2,10	
mSO ⁴ = 0,42	mMg = 1,38	r = 723,8
mCl = 8,84	m(Na + K) = 8,49	E = 60,5
<hr/>	<hr/>	
11,97	11,97	

Dureté calculée = 17,40° français

Titre alcalimétrique 13,55°

En raison de la valeur de la dureté, nous devons supposer que nous sommes en zone d'échanges de bases.

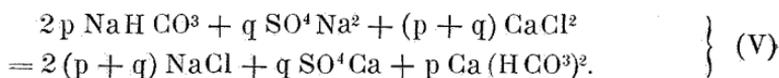
A cette époque, le puits reçoit des eaux venant de la zone des eaux dures proprement dite qui s'adoucissent en s'approchant du puits, parce que les corps à fonction zéolitique des terrains aquifères possèdent encore une partie de leur pouvoir permutant positif. Mais le puits reçoit également des eaux de la zone de salure en raison des sollicitations nouvelles du courant résultant de la multiplication des forages. *Ces eaux de la zone de salure ne peuvent atteindre le puits qu'en passant par la zone d'échange de bases.* En pénétrant dans la zone des échanges de bases, les eaux douces sodiques rencontreront des échangeurs de bases possédant un très faible pouvoir permutant négatif, puisqu'ils sont à peine dégénérés. Il y a formation par échange de bases d'un peu de chlorure calcique ou magnésique, de bicarbonates et de sulfates calciques ou magnésiques. Au fur et à mesure que les eaux approchent du puits,

le pouvoir permutant négatif augmente, puisque les corps à fonction zéolitique sont d'autant plus dégénérés dans la zone des échanges de bases que l'on s'approche de la zone de salure. Bref, en arrivant près du puits, ces eaux du *courant inversé* contiennent :

1° Des bicarbonates, des sulfates et des chlorures de calcium et de magnésium dus à l'échange des bases et au pouvoir permutant négatif.

2° Des chlorures, des sulfates et des bicarbonates alcalins, parce que, nous l'avons dit tantôt, la régénération des fonctions positives d'un échangeur de bases nécessite beaucoup plus de sels sodiques que ne l'exige la formule. *Le rendement de la régénération est en effet très mauvais.*

Le mélange des eaux venant de toutes les directions produit, en outre, des réactions que l'on peut synthétiser ainsi :



Cette réaction indique que le chlorure de calcium ne pourra abonder dans l'eau du puits que lorsque le sulfate et le bicarbonate de sodium venus du courant direct et des courants inversés auront été remplacés par du sulfate et du bicarbonate de calcium, en même temps que du chlorure de sodium sera régénéré.

Reprenons notre analyse. Nous trouvons

$$m(\text{Na} + \text{K}) < m \text{ Cl.}$$

Il y a donc des chlorures alcalino-terreux dans l'eau, mais seulement à raison de $8,84 - 8,49 = 0,35$ millivalence Cl.

Les millivalences CO³ sont remarquablement plus faibles que m(Ca + Mg). Elles sont, en outre, beaucoup plus faibles que celles des eaux dures ou douces sodiques de la région bruxelloise, qui sont 5,82 m CO³ à Zuen et de 6,00 m CO³ au puits B.

Les réactions complexes qui s'opèrent entraînent donc la précipitation de sels de chaux et de magnésie à l'état de carbonates simples ou doubles.

Comme $m(\text{Na} + \text{K}) < m \text{ Cl}$, on peut, en outre, admettre que tous les bicarbonates et sulfates de soude venus de la zone de salure et provenant des échanges de bases n'atteignent pas le puits.

De la sorte, nous justifions la composition de la plupart des eaux dures contenant du chlorure de sodium dans la région

bruxelloise. Les puits ont capté d'abord en zone d'échange de bases; ils ont reçu, en outre, des eaux de la zone des eaux douces sodiques. Il en est résulté des réactions très complexes que nous avons essayé d'expliquer.

Reprenons le cas du puits A de M. Toubeau. Il ne diffère, somme toute, pas essentiellement du précédent, mais les faits d'observation sont beaucoup mieux établis. L'eau a encore été captée à l'origine dans la zone des échanges de bases. Au fur et à mesure des nouvelles sollicitations du courant artésien résultant de la multiplication des forages, on constate :

- 1° que la quantité de chlorures dissous augmente;
- 2° que la dureté augmente;
- 3° que l'alcalinité reste faible;
- 4° que les chlorures alcalino-terreux commencent à abonder vers 1896;

5° qu'en 1928, la somme des millivalences Cl atteint 48,31, alors que les eaux légèrement sursalées d'Ostende Thermal donnent seulement m Cl = 33,47.

Les eaux du puits A sont donc actuellement plus chlorurées que certaines eaux sursalées.

On peut dans ce cas se demander d'où provient le chlorure de sodium en doses massives qui produira par *courant inversé* les chlorures de calcium et de magnésium dont la présence est indiscutable.

Il ne peut provenir que d'une zone de sursalure et l'inversion du courant est alors complète.

L'eau sursalée, en pénétrant dans la zone de salure, échange ses bases calciques et magnésiques du fait que la fonction zéolitique positive est conservée dans la zone de salure et tout se passera, dès lors, comme si les eaux de la zone de salure étaient seulement plus riches en sels sodiques qu'on le constate lorsque seuls les phénomènes naturels sont en jeu. Où se trouve cette zone de sursalure ? Elle ne peut être la mer contemporaine, parce que dans le Grand Courant nous constatons le long du littoral jusqu'à Gand et Menin, une sulfatation des eaux qui est incompatible avec celle très faible des eaux du puits A (49).

Elle ne peut être non plus dans la branche supérieure du Grand Courant puisque nous connaissons la limite de salure des eaux de la craie de Vilvorde à la frontière hollandaise. Elle passe près de Louvain (Grand-Central), de Lovenjoul, de Tes-

senderloo, de Quaedmachelen, d'Heppen et au Nord d'Eysden.

La zone de sursature qui intervient est donc celle de la branche inférieure du Grand Courant.

§ 9. SALURE ET SURSATURE DES EAUX CAMPINOISES.

Les renseignements relatifs à la composition des eaux artésiennes des sondages et des avaleresses de Campine sont rarissimes.

Quelle magnifique étude de la composition chimique des eaux artésiennes aurait pu être faite lors des campagnes de forages !

Quel parti matériel les communes de la province d'Anvers auraient pu tirer de ces sondages qui ont souvent amené des jaillissements à des pressions supérieures à 15 mètres au sol !

Je crains de n'être pas contredit en affirmant que rien d'utilisable ne subsiste concernant les forages de la province d'Anvers.

Dans le Limbourg quelques renseignements précis demeurent, mais trop souvent incomplets, hélas !

Il résulte des travaux de MM. Stainier, Lohest, Firket, Forir, Renier et Asselberghs (54 à 64), qu'il existe au moins deux branches du Grand Courant sous le Limbourg. Le premier niveau est dans les sables d'Orp, dans le tuffeau maëstrichtien et la craie; le second sous les sables argileux du Hervien, soit dans le Hervien lui-même, soit dans les sables d'Aix, le Jurassique, le Trias ou le Primaire.

Les seuls endroits où nous possédons des renseignements sur la nature des eaux captées à différents niveaux sont Beeringen et Winterslag (54, 55).

Encore nous manque-t-il certains dosages de sulfates.

Les eaux de la branche supérieure sont dures à Eysden n° 76 et à Geulle-village, comme nous l'avons dit tantôt (analyses n° 41 et n° 42). Lambroeck n° 70, Zwartberg n° 74, Zonhoven n° 86 ont donné des eaux de la zone d'échange de bases dans la branche supérieure.

A Beeringen, à Tessengerloo, Veldhoven (Quaedmechelen) et Heppen, les eaux sont douces et sodiques dans la même branche du Grand Courant.

A Diest, il semble, d'après une analyse incomplète, que l'on capte très près de la limite de salure qui se dirige de ce point vers Lovenjoul (53).

Le premier sondage de recherche du nouveau bassin houiller a été foré en 1899 par le sondeur E. Flasse, de Ville-Pommerœul, au procédé à chute libre, à sec. Une source d'eau chaude salée a jailli lorsque le forage a atteint, à 255,60 m., du « sable marneux, gris, renfermant du charbon de bois » (sic, *Annales des Mines*, 1899).

La cote d'orifice à Lanaeken est +53 et la branche captée est ici l'inférieure, à peu près au contact du houiller touché à 272 mètres (H1 a).

A Op-Grimby, la température indique que l'eau très salée qui a jailli est également captée dans le même horizon (58).

A Winterslag, sous les marnes herviennes, à la tête du houiller, on rencontra lors du fonçage une venue d'eau.

L'analyse est transcrite dans les *Annales des Mines* (55) :

Température	25°
Dureté totale	8,5°
Dureté permanente	6,0°
Résidu à 100°	3,032
Résidu de calcination	2,520
Chaux	0,030
Magnésie	0,000
Anhydride carbonique	0,176
Anhydride sulfurique	0,024
Chlorure de sodium ,	2,050

Nous en tirons en notant en millivalences (n° 70) :

$m\text{CO}^3 = 8,00$	$m\text{Ca} = 1,07$	$r = 3,032 ?$
$m\text{SO}^4 = 0,60$	$m\text{Mg} = 0,00$	$E = 69,5 ?$
$m\text{Cl} = 35,04$	$m(\text{Na} + \text{K}) = 42,57$	$\text{Th} = 5,35°$
43,64	43,64	$\text{Ta} = 40,00°$

La millivalence moyenne est trop élevée. Le degré hydrotimétrique mesuré est inexact, le degré calculé étant de 5,35°. Nous sommes ici dans la zone des eaux douces sodiques, mais tout près de la limite de sursalure, puisque la dureté est voisine de 6 et le résidu supérieur à 3.000.

A Beeringen, les eaux du Hervien au puits n° 2 ont été analysées; on a trouvé (54) :

Dureté totale	1,5°
Dureté permanente	1° (sic)
Dureté temporaire	0,5°
Résidu à 100° en gramme/litre.	3,0760
Chaux	0,0036
Magnésie	0,0129
Chlore	0,1360
Anhydride carbonique combiné	0,2530

Ceci nous donne (n° 71) :

$m\text{CO}^3 = 11,50$	$m\text{Ca} = 0,13$	$\text{Th} = 3,90^\circ$
$m\text{Cl} = 32,00$	$m\text{Mg} = 0,65$	$\text{Ta} = 57,50^\circ$

Les sulfates ne sont pas dosés. Nous sommes dans la même position qu'à Winterslag, en zone d'eaux douces sodiques mais près d'une limite de sursalure en raison de l'importance pondérale du résidu sec.

Nous savons que les eaux du Hervien à Lanaeken étaient salées, mais nous ignorons leur composition chimique. Un puits creusé, il y a quelques années à Maestricht, a donné des eaux qui ont un résidu sec de 3,215 gr. et 43 millivalences chlore. Elles sont vraisemblablement en sursalure légère et il y aurait moyen de s'en assurer puisque, à ma connaissance, le puits jaillit toujours. Un simple titrage hydrotimétrique nous renseignerait !

Nous n'ignorons pas que des eaux sursalées aient été captées à Lanklaer et Eelen (58).

Enfin, fait heureux, nous possédons deux analyses typiques d'eaux sursalées limbourgeoises.

A Beeringen, au puits n° 1, à 13,50 m. sous le contact des morts terrains, un coup d'eau s'est produit. Les eaux avaient la composition suivante (54) :

Dureté totale	22°
Dureté permanente	4°
Dureté temporaire	18°
Résidu à 100°	5,1364 gr. par litre
Chaux	0,034
Magnésie	0,0996
Chlore	2,3201
Anhydride carbonique combiné . .	0,3302

Nous en tirons (n° 72) :

mCO ³ = 15,01	mCa = 1,19	Th = 30,85°
mCl = 65,36	mMg = 4,98	Ta = 75,05°
		r = 5,136

La dureté est ici très supérieure à 6° français, et il ne peut s'agir d'eaux enfermées, l'alcalinité étant très élevée.

D'autre part, les eaux sont relativement peu sulfatées, car la somme des millivalences acides doit être voisine de

$$\frac{5.136}{60} = 85.10.$$

Donc mSO⁴ doit être voisin de

$$85,10 - (15,01 + 65,36) = 4,73$$

Nous captions donc en zone de sursalure dans la branche inférieure du Grand Courant campinois.

Ces eaux, beaucoup plus minéralisées que celle du puits n° 2, doivent provenir du Hervien ou du Houiller, mais à la faveur de diaclases dont le réseau doit se développer dans la direction de la zone de sursalure, soit vers le Nord-Est.

A Op-Grimby, nous avons (n° 73) :

mSO ⁴ = 5,11	mCa = 7,70	
mCl = 104,00	mMg = 4,28	r = 7.392

Pour E=60, nous trouvons :

mCO ³ = 14,09	mCa = 7,70	r = 7.392
mSO ⁴ = 5,11	mMg = 4,28	E = 60
mCl = 104,00	m(Na+K) = 111,22	Th = 59,90°
Σa = 123,20	123,20	Ta = 70,45°

Nous sommes encore en zone de sursalure, mais les eaux sont plus minéralisées encore qu'à Beeringen n° 1.

La limite de sursalure du Grand Courant dans le Limbourg (branche inférieure) est donc voisine de la ligne droite qui réunit Neerhaeren à Quaedmehelen.

On ignore son tracé sous la province d'Anvers. Toutefois, nous trouvons dans le Compte rendu de la séance du 28 juillet 1903 de la Société belge de Géologie, page 424, tome XVII, une note que nous reproduisons textuellement :

« M. Kemma ajoute qu'il a reçu des échantillons d'eau miné-

rale provenant du puits de Santhoven en Campine, eau que l'analyse a reconnue fortement salée, additionnée de beaucoup de chlore, de chaux et d'acide sulfurique, etc. »

La nappe dans laquelle cette eau est captée n'est pas indiquée, mais le sondage de Santhoven a jailli à 505 m. dans le Landénien. On peut en déduire que les courants souterrains, à partir du Landénien et jusqu'au Primaire, doivent probablement donner en cet endroit des eaux sursalées. La limite de sursalure passerait donc au Sud de Santhoven et vraisemblablement d'Anvers. Elle rejoindrait ainsi la limite de salure du Grand Courant sous les Flandres, qui est une ligne droite à peu près orientée Est-Ouest, passant au Nord de Gand, au Sud d'Eecloo et qui atteint le littoral aux environs de Middelkerke (49).

§ 10. LES COURANTS INVERSES.

L'étude systématique des forages de Campine et de la province d'Anvers au point de vue hydrologique aurait apporté des données particulièrement intéressantes pour les problèmes qui nous occupent. Peut-être, le présent ouvrage incitera-t-il l'Administration des Mines à grouper les éléments épars qui ont échappé au désastre et à faire publier un travail relatif à l'hydrologie des régions qui nous intéressent tant. Sans attendre ces communications qui pourraient avoir le plus grand intérêt pour les mineurs, les géologues, les hydrologues, les hygiénistes, le corps médical et les industriels, on peut néanmoins conclure à l'existence d'un courant d'eau sursalée au contact du Primaire dans le Nord du pays.

La limite de sursalure de ce Courant a été approximativement déterminée dans le présent travail.

Dès lors, les phénomènes de salure anormaux constatés dans la région bruxelloise seraient en fin de compte dus à des inversions de courants d'eaux quittant la zone de sursalure pour atteindre la zone d'échange de bases, après avoir traversé de part en part la zone des eaux douces sodiques.

C'est, vraisemblablement, l'étude de la sulfatation des eaux sursalées qui permettra plus tard de déterminer la trajectoire suivie par les éléments du *courant inversé*. Rappelons, en effet, que les eaux chlorurées sodiques des faubourgs de Bruxelles sont très peu sulfatées. Le courant inversé correspond à la branche inférieure du Grand Courant en Campine. Il circule donc dans les sables herviens, les sables et graviers d'Aix-la-Chapelle, le Jurassique, le Trias et le Primaire. *Il est donc*

normal, par suite des lacunes stratigraphiques, que ce soient les forages captant dans le Primaire, sous les faubourgs de Bruxelles, qui aient fourni de tous temps des eaux anormalement chlorurées sodiques.

Aux environs de Lille des faits semblables sont connus depuis longtemps (51). Mais ici, les courants inversés vont chercher leurs eaux sursalées dans le Bassin de Paris.

La sursalure des eaux de Bailleul (France) s'explique également de la sorte.

CONCLUSION DE LA TROISIÈME NOTE.

La complexité des cas envisagés nous incite à la prudence en ce qui concerne leur interprétation hydrologique, surtout en l'absence d'éléments essentiels : nous ne possédons, en effet, pas d'analyse d'eaux sursalées de la branche inférieure du Grand Courant sous la province d'Anvers.

Mais nous avons examiné des faits qui ne sont pas discutables, notamment l'augmentation progressive de la salure et de la dureté des eaux captées dans la zone des échanges de bases du Grand Courant, à l'Ouest et au Nord-Ouest de Bruxelles. *Il y a d'autres forages que le puits A de Toubreau qui donnent depuis quelques années des eaux anormalement chlorurées calciques et magnésiennes.*

Nous pouvons en conclure que la limite de salure qui protégeait anciennement Bruxelles des rentrées en contre-courant a disparu en certains points, et que les eaux sursalées des courants inversés pénètrent maintenant librement vers la capitale par une trouée atteignant notamment l'emplacement du puits A, avenue de la Liberté, à Koekelberg.

L'étude de la salure des eaux doit donc tenir compte de phénomènes naturels et de causes artificielles résultant du travail de l'homme. Ceci complique singulièrement la tâche entreprise.

Pour la mener à bien, il est nécessaire que je possède de nombreuses analyses d'eau en plus des quelques centaines que j'ai eues déjà à ma disposition. Sans relâche, je poursuis mes recherches.

Puis-je, en terminant, demander aux chimistes de considérer comme indispensables la détermination du résidu sec et celle de l'alcalinité par la méthode de Bonjean ?

Puis-je leur dire aussi que l'évaluation des duretés permanente et oxalique est sans valeur pour les eaux d'échange de bases, douces sodiques et sursalées ? Mais la détermination de la dureté totale est une chose très sérieuse qui mérite beaucoup

de méthode et d'application. C'est cette dureté, en effet, mesurée ou calculée, qui nous permet de classer une eau dans la zone de captage à laquelle elle appartient. Sur ce point, nous sommes actuellement tous d'accord.

Il convient, au point de vue hydrologique, de considérer une analyse d'eau comme un bilan dans lequel la formule sacramentelle « Divers à Divers » devient en millivalences $\Sigma a = \Sigma b$, en tenant compte ici du degré d'approximation tolérable.

Il résulte de ce travail que si nous connaissons Σa ou l'actif de notre bilan, nous établirons assez exactement les postes principaux de son passif, pour autant que nous connaîtrons la dureté des eaux étudiées. Bien entendu, en cas de contestation, tous les postes du passif doivent apparaître et les dosages de Ca, Mg, Na et K sont indispensables.

Saint-Ghislain, décembre 1938.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE.

- (1) à (26), voir index de la première note.
 (27) à (30), voir index de la deuxième note.
 (31) ROBERT TOURNIER, Nappes aquifères. Note pour servir à l'étude des nappes aquifères et notamment de la nappe albienne de la région de Paris et de la nappe artésienne cénomaniennne de la région de Tours (Arroult et Cie, Tours, 1935). — Cité incomplètement dans l'index de la deuxième note.
 (32) à (39), voir index de la deuxième note.
 (40) ARM. HACQUAERT, Watervoorraad in Vlaanderen (*Tijdschrift van de Belgische Vereeniging voor Aardrijkskundige studies*, 7^e jaargang, n^o 2, 1937).
 (41) ARM. HACQUAERT, La composition chimique des Eaux de la Flandre orientale et des régions limitrophes. Considération sur les phénomènes artésiens (*Bull. Soc. belg. de Géol., de Paléont. et d'Hyd.*, t. XLVIII, 1938, fasc. 2, pp. 347-355).
 (42) A. BAETSLE en A. HACQUAERT, Bijdrage tot de hydro-géologie van Oost-Vlaanderen (*Natuurwetenschappelijk Tijdschrift*, XX, 1938, congresnummer, pp. 165-171; Gent, Uitg. en Boekdr. Ad. Hoste, Galgenberg, 21-23, Gand).
 (43) E. G. TICKELL, A method for the graphical interpretation of water-analyses (*Rep. of California St. Oil and Gas Superv.*, vol. 6 1921).
 (44) H. DE CIZANCOURT, La question des eaux dans les gisements de pétrole (*Annales de l'Office national des Combustibles liquides*, 1931, n^o 2, pp. 195 à 224, et n^o 5, pp. 875 à 910; Impr. Nationale, Paris).
 (45) J. DELECOURT, Les eaux artésiennes salines du Bassin de Paris, de la Basse et de la Moyenne Belgique; deuxième note (*Bull. Soc. belge de Géol.*, t. XLVII, Bruxelles, 1938).
 (46) M. HUYBRECHTS, Le pH et sa mesure (*Bibliothèque Scientifique belge*, 2^e éd.; G. Thone, éd., Liège).

- (47) E. BREUIL, L'eau d'alimentation des chaudières (*Chaleur et Industrie*, mars 1938, p. 256; reproduit par la Soc. Gén. d'Impr. et d'Edit., 17, rue Cassette, Paris).
- (48) *Guide de l'Eau et de l'Assainissement* (1935-1936, p. 60; Edit. Olivier Lesourd, 3^{is}, rue Roussel, Paris).
- (49) J. DELECOURT, Sur la composition chimique des eaux du puits artésien de Blankenberghe (*Bull. Soc. belge de Géol.*, t. XLVIII, 1938, pp. 580-589).
- (50) E. CUVELIER et L. DUBUISSON, Note sur le puits artésien de la nouvelle Ecole Militaire (*Bull. Soc. belge de Géol.*, t. XVIII, 1904, pp. 153 à 171).
- (51) J. GOSSELET, Sur les eaux salines des sondages profonds (*Ann. Soc. géol. du Nord*, t. XXVIII, 1899).
- (52) J. TOUBEAU, Salure progressive d'eaux artésiennes (*Revue de l'Université de Bruxelles*, t. III, décembre 1898).
- (53) J. DELECOURT, Le puits artésien du Sanatorium de Lovenjoul (*Ann. Soc. géol. Belgique*, t. XLIX, 1926, pp. B 94 à 99).
- (54) V. FIRKET, Le Bassin Houiller du Nord de la Belgique. Situation au 31 décembre 1919 (*Ann. des Mines de Belg.*, t. XXI, 2^e livr., p. 714).
- (55) A. RENIER, Le toit du Houiller de la Campine dans la recoupe des puits de mines (*Ann. des Mines de Belg.*, t. XXI, 2^e livr., p. 727).
- (56) A. RENIER, Les gisements houillers de la Belgique. Hydrologie (*Ann. des Mines de Belg.*, t. XXII, 1^{re} livr., pp. 64 à 74).
- (57) F. SCHOOPS, Analyse d'une source minérale thermale à Op-Grimby (*Bull. Soc. Scienc. et Lettr. Limbourg*, Tongres, t. XXI, 1903).
- (58) S. VREVEN, Notice sur la composition et l'origine de l'eau minérale d'Op-Grimby (*Ann. Pharmac. Dr Rannez*, 1903; voir aussi *Bull. Soc. belge de Géol.*, t. XVII, p. 604).
- (59) M. LOHEST, A propos de la composition chimique des eaux du créta-cé (*Ann. Soc. géol. de Belg.*, t. XXXVIII, 1911, pp. B 246 à 268).
- (60) X. STAINIER, Le sondage n° 86 de Wyvenheide en Campine (*Ann. des Mines de Belg.*, t. XXIII, 1922, 2^e livr., Analyses, p. 399).
- (61) X. STAINIER, Résumé de nos connaissances sur la géologie de la Campine (*Ann. des Mines de Belg.*, t. XXV, 1924, 1^{re} livr., Nappes aquifères, pp. 184 et 185).
- (62) X. STAINIER, Coupe du sondage de Lambroeck (n° 70) (*Ann. des Mines de Belg.*, t. XXXVIII 1937, 3^e livr., pp. 649 à 666).
- (63) X. STAINIER, Charbonnage Limbourg-Meuse. Coupe des sondages n°s 20, 21, 32, 42, 45, 46, 49, 51, 52, 53, 63, 80 (*Bull. Soc. belge de Géol.*, t. XLVIII, 1938, fasc. 2, p. 250).
- (64) E. ASSELBERGHS, Les morts-terrains de la Campine dans la région Oostham-Quaedmechelen (*Bull. Soc. belge de Géol.*, t. XXXVI, 1926, fasc. 2, pp. 201 et 202).
- (65) TH. VERSTRAETEN, Essai de détermination hydrologique de la Campine (*Soc. belge des Ingén. et Indust.*, Comité d'étude, 12 janvier 1904; A. Lesigne, Bruxelles).
- (66) Dr C. GILLET, Composition des eaux du Crétacé de Hesbaye et de Campine (*Ann. Soc. géol. de Belg.*, t. XXXIX, 1912, pp. B 209 à 212).

**Charbonnage des Produits-du-Flénu.
Coupe du sondage Léon Gravez (Mons),**

par X. STAINIER,

Professeur émérite à l'Université de Gand.

Ce sondage a été entrepris, en 1928-1929, dans l'angle N.-E. de la concession, sur le territoire de Mons, un peu au Sud du raccordement du charbonnage de Ghlin à la gare de Mons et à 750 m. à l'Ouest du pont de la route de Ghlin à Mons. Coordonnées par rapport au beffroi de Mons : latitude nord : 680 m.; longitude ouest : 940 m.; altitude : 29^m60.

Le sondage a été pratiqué par la firme Foraky, de Bruxelles, en grande partie à la couronne dans les morts-terrains et entièrement dans le Houiller dont nous donnons ici la coupe. La coupe des morts-terrains a déjà été donnée par M. R. Marlière, *Le sondage Léon Gravez à Mons.* (ANN. SOC. GÉOL. DE BELG., t. LII, 1929, p. 184.)

Le sondage a reçu son nom en souvenir du regretté L. Gravez, directeur-gérant du charbonnage, qui l'avait entrepris.

Base des morts-terrains crétaciques à 389^m22.

Nos	DESCRIPTION	Epaiss.	Base à
HOULLIER.			
1.	Mur argileux, gris clair, altéré, avec grandes radicales. Base d'un mur. Cloyats altérés, bistre pâle. Quelques joints de glissement. Incl. 50° à 60°. A 389 ^m 67 commence une faille normale avec remplissage de brèches de faille très inclinée. Incl. 80° environ. Elle se poursuit jusqu'à 393 m. en ondulant au voisinage de la verticale. La roche est devenue verticale. Le mur devient psammitique. Le rejet de la faille doit être extrêmement faible, puisque c'est du mur de part et d'autre. Le terrain devient très bien stratifié. L'inclinaison diminue graduellement et tombe à 45° à 393 m. Diaclases perpendiculaires à la pente	4,38	393,50
2.	Nouvelle brèche de faille. Inclinaison de la faille : 85°. Direction presque perpendiculaire à celle des couches. La roche est du schiste gris, doux, à cassure conchoïdale, altéré. Incl. 60°. La faille finit à 394 ^m 50. Il y a eu assez bien de perte d'échantillons. Diaclases perpendiculaires à la pente. On voit apparaître quelques débris de végétaux et le schiste est psammitique	1,50	395,00

Nos	DESCRIPTION	Epaiss.	Base à
3.	Schiste gris-brun altéré, très bien stratifié, avec lits minces de sidérose. Nombreuses plantes de toit à plat. Grands <i>Calamites</i> abondants. <i>Calamites ramosus</i> , <i>C. Cisti</i> . Feuilles de <i>Sigillaria</i> , <i>Annularia</i> , <i>Neuropteris heterophylla</i>	0,66	395,66
	COUCHE (1). Mat. volat. : 18,03 %. Cendres : 7,50 %.	0,75	396,41
4.	Mur schisteux noir, radicelles transversales, mais il y a des lits avec <i>Calamites</i> et <i>Neuropteris heterophylla</i> à plat. Ces lits à plantes de toit deviennent plus abondants et la roche devient très feuilletée, bien stratifiée. Cloyats irréguliers. Il y a dans le mur des surfaces de glissement. <i>Asterophyllites</i> . Cloyats de mur	1,84	398,25
	COUCHE. Mat. volat. : 18,20 %. Cendres : 4,15 % ...	0,40	398,65
5.	Mur argileux gris, altéré, fracturé. Joints de glissement peu inclinés. Inclinaison des roches : 45°. Gros <i>Stigmaria</i> , <i>Calamites</i> , <i>Cordaites</i> . Cloyats de mur altérés. Feuilles de <i>Sigillaria</i> . Le mur devient légèrement psammitique, bien stratifié	1,98	400,63
6.	Schiste psammitique zonaire à joints noirs. Encore quelques radicelles. Incl. 60°. Le psammitite devient compact. Cassure conchoïdale. Stratification mal marquée. L'inclinaison baisse : 50°, et l'on revoit du psammitite zonaire très bien stratifié	1,97	402,60
7.	Grès zonaire fracturé. Quelques intercalations de schiste zonaire. Diaclases très inclinées. Quartz. Stratifications entrecroisées. Incl. 60° ...	3,26	405,86
8.	Schiste psammitique gris pâle, altéré, fracturé par de nombreuses diaclases très inclinées. Joints de glissement polis et striés. Pholélite. La veinette de 0 ^m 12 renseignée à 406 ^m 61 n'est certainement pas une veinette, car en dessous continue le même schiste psammitique zonaire qu'au-dessus. Il y a d'ailleurs, en dessous de cette prétendue veinette, une faille presque verticale dont le remplissage a probablement donné lieu de croire qu'on traversait du charbon. Vers 407 ^m 30, on rencontre du psammitite gréseux zonaire. Incl. 70°. La cassure met en présence, d'un côté, du schiste psammitique zonaire, de l'autre côté, du grès zonaire	3,75	409,61
9.	Grès un peu zonaire, à gros grain. Joints charbonneux micacés. Incl. 50°. Le grès devient fracturé	2,20	411,81

(1) Les analyses ont été faites par la méthode Meurice.

Nos	DESCRIPTION	Epais.	Base à
10.	Schiste gris, doux, altéré, pâle. Nombreuses plantes de toit. <i>Calamites Cisti</i> . Encore quelques lits de psammite zonaire. Les joints de stratification sont polis. A 413 ^m 26, encore une faille normale très inclinée avec remplissage de brèche de faille. Le remplissage de la faille est formé par le même schiste. Vers 415 m., le terrain failleux cesse et l'on rentre dans du schiste psammitique zonaire. Incl. 45°. A 415 ^m 35, le terrain redevient fracturé. Vers 416 m., on trouve encore de la brèche de faille très inclinée et peu épaisse. Incl. 55° à 60°. Végétaux hachés. Vers 417 ^m 50, le terrain redevient plus ferme. Incl. 50°. On est dans du schiste psammitique zonaire avec végétaux hachés. Cassure un peu conchoïdale. Incl. 54°. Joints pyriteux. <i>Anthracomya</i> à 419 m. Les coquilles sont très rares. Incl. 54°	7,93	419,74
	COUCHE. Mat. volat. : 18,52 %. Cendres : 7,30 % ...	1,10	420,84
11.	Il est probable que la partie supérieure du mur n'a pas été remontée. A 422 ^m 34, mur de schiste psammitique noir, pyriteux, <i>Stigmaria</i> . Couleur pâle. Le mur devient schisteux avec gros <i>Stigmaria</i> . A 424 ^m 60, un énorme cloyat cloisonné, géodique. Les empreintes du toit apparaissent. En dessous, encore du mur à radicules très rares, dérangé. Puis, à 425 ^m 25, un peu de brèche de faille	4,61	425,45
12.	Brusquement, grès zonaire. Incl. 70°	0,25	425,70
13.	Brèche de faille schisteuse dans du mur gris. Faille très inclinée. En dessous de la faille, qui dure environ 0 ^m 50, il y a du schiste noir un peu brunâtre avec quelques radicules et de nombreuses plantes de toit. <i>Annularia</i> , <i>Sphenopteris</i> . Cloyats. Incl. 60°. Feuilles de <i>Sigillaria</i> . Terrain très fracturé	0,77	426,47
	COUCHE. Mat. volat. : 17,10 %. Cendres : 9,60 % ...	1,15	427,62
14.	Brusquement, brèche de faille dans du mur noir, tendre, argileux, feutré de radicules, environ 0 ^m 50. Même mur plus régulier devenant de plus en plus ferme, pyriteux, brunâtre chocolaté. <i>Stigmaria</i> . Le mur devient compact, plus dur. Diaclases verticales. Le mur devient psammitique. Vers 430 ^m 32, il y a une cassure horizontale coupant brusquement le terrain	2,70	430,32
15.	Grès zonaire. Incl. 85°. Joints charbonneux. L'inclinaison diminue légèrement. A 431 ^m 42, inclinaison 65°. Diaclases peu inclinées. Le grès		

Nos	DESCRIPTION	Epaiss.	Base à
	<p>devient plus compact. Diaclases nombreuses. Incl. 70°. Vers 435^m40, incl. 55°. Le grès redevient zonaire par places. Le grès devient feldspathique, grossier, vers 439^m80. Quelques cailloux schisteux. A 443^m17, cailloux de sidérose. Grosses empreintes charbonneuses. Stratifications entrecroisées. Vers 444^m80, cailloux de sidérose. Incl. 60°. A 451^m60, conglomérat de cailloux de sidérose. Schiste et charbon, tantôt anguleux, tantôt arrondis. Il y a trois bancs de conglomérat voisins. A 456^m17, le grès devient compact</p>	27,05	457,37
16.	<p>Schiste gris et psammitique, un peu fracturé. Joints remplis de calcite colorée en vert par la glauconie. <i>Neuropteris</i>. La roche est très altérée, très pâle. Joints de glissement en tous sens. Un <i>Sigillaria</i> indique que la pente n'est plus que de 25°. Nombreuses diaclases verticales glauconieuses. Au delà d'un joint terreux on rencontre du mur gris avec radicules très rares. On passe au psammite zonaire. Incl. 20°. La roche devient fracturée par des brèches de faille avec enduits glauconieux. La pente augmente. Incl. 45°. On est dans du schiste psammitique gris fin. Puis viennent encore des brèches de failles. Incl. 65°. A la base, il y a du remplissage charbonneux</p>	8,20	465,57
	COUCHE. Mat. volat. : 15,85 %. Cendres : 12,17 % ...	0,85	466,42
17.	<p>Schiste noir, escailleux, extrêmement dérangé, avec <i>Calamites</i>, radicules. Inclinaison très forte, au moins 75° et baissant rapidement. Il y en a 35 cm. Au delà, l'inclinaison devient plus faible. Le terrain est très feuilleté, noir, bondé de <i>Calamites</i>, de radicules et de joints de glissement. Pholérîte, pyrite. On passe ensuite au mur psammitique. Radicules plus rares, puis plantes de toit. On passe au psammite fracturé. Diaclases dans tous les sens. La pente augmente : 50°. A 468 m., on passe au schiste psammitique compact, à cassure conchoïdale, fracturé. La pente a diminué, environ 30°. Quelques passages de brèche de faille. <i>Radicites</i>, <i>Calamites</i> et <i>Asterophyllites</i>. Les mêmes plantes de toit deviennent de plus en plus nombreuses. Vers 470 m., diaclases extrêmement inclinées. <i>Annularia</i>. On passe au schiste psammitique gris très dérangé. Végétaux hachés. Psammite zonaire régulier. Incl. 45°.</p>		

Nos	DESCRIPTION	Epais.	Base à
	Vers 471 ^m 50, l'inclinaison tombe à 35°. On passe au schiste psammitique. A 474 m., brèche de faille dans le schiste psammitique. Incl. 35°. 0 ^m 30 plus bas, nouvelle brèche de faille peu inclinée, comme les bancs. L'inclinaison diminue, encore 10° à 15°. Nombreux joints de glissement horizontaux, escailleux. Le terrain ne consiste plus guère qu'en schiste peu incliné, ondulé, laminé. On traverse une faille de refoulement peu inclinée, importante. A 477 m., assez brusquement, le terrain devient sain, à peu près horizontal. C'est du schiste psammitique gris zonaire, altéré, pyriteux	10,95	477,37
	VEINETTE	0,17	477,54
18.	Brèche de faille laminée dans du schiste psammitique zonaire, sans radicelles. En dessous, schiste psammitique très fracturé, presque horizontal. Incl. 5°. A 481 m., passage de brèche de faille peu inclinée, terreuse et laminée. En dessous, schiste psammitique zonaire à végétaux hachés. Incl. 0° à 15°. Diaclases en tous sens. On passe au psammite zonaire. A partir de 482 ^m 50, grosse veine de calcite avec pyrite cristallisée. A 484 ^m 82, schiste psammitique zonaire fracturé. Incl. 15° à 20°. Jusqu'à 485 ^m 22, on a ramené des morceaux de psammite schisteux, de schiste psammitique très fracturé, altéré, brun pâle, pyriteux, très pailleté, paraissant être horizontal	7,68	485,22
	COUCHE. Mat. volat. : 16,55 %. Cendres : 3,85 %	0,40	485,62
19.	On ne ramène d'abord que des fragments infimes paraissant être de la brèche de faille. Puis, on traverse du remplissage de faille peu inclinée de beziers et d'escailles, laminés, ondulés, inclinaison presque nulle. L'ensemble donne l'impression d'une brèche de faille laminée	0,63	486,25
20.	Mur bistre, psammitique, extrêmement dérangé. Tous les joints sont polis, striés, couverts de pholélite. Gros cloyat veiné. A 487 m., incl. 40°. Le terrain devient un peu plus régulier. On voit apparaître des empreintes de toit, mais il y a encore des radicelles. Rayure brune, joints de glissement. L'inclinaison diminue. A 487 ^m 50, incl. 20°. Toujours dans du mur. Passage de brèche de faille peu inclinée. En dessous, toujours la même roche. Inclinaison très variable mais faible. A 488 ^m 25, mur psammitique brun, découpé par des joints de glissement peu incli-		

Nos	DESCRIPTION	Epaiss.	Base à
	nés. Lits escailleux. Le même terrain continue avec, par places, des lits laminés et d'autres psammitiques, plus fermes. Toujours du mur brun à radicelles luisantes. De minces lits de brèche de faille sont parallèles à la stratification, dont l'inclinaison est remontée à 40°	3,00	489,25
21.	Schiste psammitique zonaire, gris brunâtre, très dérangé, laminé, joints polis striés, pholérite. Incl. 40°. <i>Calamites</i> , <i>Asterophyllites</i> , quelques rares radicelles. Il est presque impossible d'obtenir de la roche saine, non laminée. A 480 m., mur extrêmement laminé, brun	0,85	490,10
22.	Brusquement, psammite zonaire brun, très régulier qui doit faire suite à la roche précédente. (Quérelle de mur.) Incl. 20°. Diaclases verticales. On passe graduellement au psammite zonaire, gréseux, brun	0,80	490,90
23.	Grès bistre clair, à grain fin, psammitique, un peu zonaire. Veines blanches. A 491 ^m 10, on a percé un lit tendre et charbonneux. Incl. 20°. A partir de 492 ^m 15, on passe au psammite gréseux zonaire; puis, graduellement, au psammite de plus en plus schisteux et au schiste psammitique zonaire toujours brun. A la base, 15 à 20 cm. de schiste doux, feuilleté, noir, laminé, pholérite... ..	2,75	493,65
	COUCHE. Mat. volat. : 15,25 %. Cendres, 11,22 % ...	0,62	494,27
24.	Mur extrêmement laminé, avec cloyats. Pholérite. Puis, mur compact, psammitique, noir, avec rares radicelles, assez régulier, passant au schiste psammitique zonaire à végétaux hachés. Incl. 26°. Joints de glissement	1,43	495,70
25.	Schiste noir, feuilleté, rempli d'énormes feuilles de <i>Sigillaria</i> , <i>Calamites</i> . Joints de glissement parallèles à la stratification	0,60	496,30
26.	Passée charbonneuse sans mur (dérangement). Mat. volat. : 15,70 %. Cendres : 14,50 %	0,25	496,55
27.	Schiste fin, feuillé, noir-gris, doux. <i>Carbonicola</i> . Lits de sidérose. Passe rapidement à du schiste un peu psammitique avec végétaux de toit. Diaclase verticale. Terrain assez régulier. <i>Calamites</i> , <i>Annularia</i> , <i>Asterophyllites</i> . On passe au psammite zonaire stérile mais très régulier. Incl. 30°	1,45	498,00
28.	Banc de carbonate de fer à grain fin, à cassure conchoïdale, très calcareux. A la base, de nombreuses veines blanches géodiques. Teinte légèrement brunâtre, débris végétaux	0,70	498,70

Nos	DESCRIPTION	Epaiss.	Base à
29.	Schiste psammitique zonaire. Diaclasses nombreuses. Petite cassure normale. On passe au schiste psammitique zonaire, plus fin, doux ...	1,50	500,20
30.	Schiste noir, fin, doux, à cassure conchoïdale. Lits de sidérose. <i>Carbonicola</i> bivalve. Par places, nombreux débris de coquilles aplaties ...	0,15	500,35
	VEINETTE	0,12	500,47
31.	Mur noir schisteux, feutré de radicelles. <i>Sigillaria</i> . A 0 ^m 50, sous la veinette, mur dur avec énormes cloyats. <i>Sphenopteris</i> , feuilles de <i>Sigillaria</i>	1,42	501,89
32.	Schiste psammitique zonaire régulier; quelques radicelles au début, végétaux hachés, gros lit de sidérose. <i>Stigmaria</i> . A 503 ^m 80, encore des radicelles, <i>Calamites</i> , <i>Lepidodendron</i> . Les plantes de toit deviennent plus nombreuses. A 504 ^m 50, incl. 30°. Épis de <i>Cordaites</i> . A 505 m., on passe au psammite zonaire, puis au grès psammitique zonaire. A 505 ^m 85, schiste psammitique zonaire très régulier. De 511 ^m 32 à 511 ^m 82, passe de grès zonaire très régulier. En dessous, schiste psammitique zonaire avec lits de sidérose. A la base, on passe au schiste gris, doux, fin, à cassure un peu conchoïdale, végétaux hachés	11,03	512,92
	COUCHE	0,45	513,37
33.	Mur très compact, tendre, feutré de radicelles. A 0 ^m 40, on voit apparaître des plantes de toit. <i>Calamites</i> , <i>Neuropteris</i> ; les radicelles deviennent rares, cloyats. Plus bas, le mur devient mieux caractérisé. A 514 ^m 52, glissement horizontal. <i>Pholérîte</i> , <i>Stigmaria</i> . Vers 515 m., le mur devient psammitique et zonaire; radicelles toujours nombreuses. Terrain très régulier. Inclinaison 15°	2,88	516,25
34.	Grès gris à grains fins, zonaires	0,27	516,52
35.	Psammite zonaire régulier. A partir de 518 ^m 22, psammite gréseux zonaire. A 519 ^m 80, schiste psammitique zonaire	5,80	522,32
PASSÉE.			
36.	Mur compact avec radicelles rares. <i>Stigmaria</i> . Le mur passe au schiste psammitique zonaire très régulier; végétaux hachés. A partir de 524 ^m 50, le terrain devient fracturé par des diaclasses verticales. On passe ensuite au schiste gris, doux, zonaire	2,68	525,00

Nos	DESCRIPTION	Epaiss.	Base à
37.	Mur schisteux, feutré de radicelles, fracturé par places, cloyats, glissements. En descendant apparaissent des <i>Calamites</i> . Il devient psammitique, très fracturé à partir de 526 ^m 50. Pholérite abondante. Incl. 15°	2,40	527,40
38.	Psammite zonaire régulier. A 527 ^m 70, schiste psammitique zonaire. Diaclase verticale. Quelques alternances de psammite zonaire. Incl. 24°. Terrain régulier. On passe au schiste gris, doux, à cassure conchoïdale	3,42	530,82
	COUCHE. Mat. volat. : 15,00 %. Cendres : 5,80 % ...	0,73	531,55
39.	Mur ? 0 ^m 45 sans échantillons, puis mur psammitique. <i>Stigmaria</i>	2,35	533,90
40.	Psammite zonaire à joints noirs, pyriteux, très régulier. Incl. 30°. On passe au schiste psammitique zonaire un peu fracturé. Diaclases verticales. A partir de 536 m., quelques lits escailleux laminés de schiste noir, très doux, finement feuilletés. Quelques débris végétaux. Feuilles de <i>Sigillaria</i> . Elles deviennent très abondantes (faux-toit)	2,12	536,02
PASSÉE.			
41.	Mur terreux, pourri, escailleux, 0 ^m 20. Mur psammitique gris, régulier. Incl. 35°. Quelques diaclases verticales, <i>Calamites</i> nombreux. Le terrain devient dérangé par places. Glissements peu inclinés	1,98	538,00
42.	Psammite zonaire, gréseux par places, avec des radicelles	0,50	538,50
43.	Grès zonaire très fracturé par des diaclases nombreuses remplies de calcite	0,50	539,00
44.	Schiste psammitique zonaire, nombreuses diaclases. L'inclinaison diminue et devient presque horizontale. A 540 ^m 50, un petit lit gras, escailleux, horizontal. En dessous, schiste noir, doux, à cassure conchoïdale. Incl. 35°. Assez régulier. A 542 ^m 03, un beau petit crochon ouvert venant buter contre un dérangement horizontal. En dessous, terrain très dérangé, fracturé jusque 543 ^m 25. Allure presque indiscernable. Puis apparaît du schiste psammitique un peu plus régulier, fin, doux, avec débris végétaux. Incl. 15°. En descendant, la roche devient de plus en plus psammitique	4,53	543,53
45.	Grès. A 554 m., banc de brèche de sidérose et de schiste. A partir de 560 m., on passe au grès psammitique zonaire. Incl. 16°	18,87	562,40

Nos	DESCRIPTION	Epaiss.	Base à
46.	Schiste psammitique à joints pyriteux. Il perdure jusque sur la couche. Dans le toit immédiat, un gros <i>Calamites</i>	0,98	563,38
	COUCHE. Mat. volat. : 15,00 %. Cendres : 13,20 % ...	0,80	564,18
47.	Intercalation	0,35	564,53
	COUCHE	0,74	565,27
48.	Mur compact, bien stratifié, feutré de radicelles, passant rapidement au psammite zonaire avec zones gréseuses. On passe graduellement au psammite zonaire gréseux. Incl. 16°. Toujours des radicelles, joints de stratification polis. Diaclases. Quelques lits plus schisteux, broyés, laminés. A 563 ^m 45, les radicelles disparaissent. A partir de 568 ^m 45, les inclinaisons varient beaucoup et sont très faibles, ondulées; joints de stratification polis, nombreuses diaclases. Par places, lits broyés plus schisteux	4,28	569,55
49.	Mur compact avec radicelles. Nombreux glissements dans les joints de stratification. La pente augmente. Le mur devient psammitique, plus ferme. Incl. 32°	0,85	570,40
50.	Psammite zonaire régulier. A partir de 572 ^m 40, schiste psammitique zonaire. A partir de 574 ^m 40, on passe au schiste doux, feuilleté. A la base, un petit lit de psammite brun, grossier. Inclinaison 29°	4,50	574,90
	COUCHE. Mat. volat. : 14,37 %. Cendres : 12,35 % ...	0,50	575,40
51.	Un banc de 0 ^m 20, escailleux, plissé, laminé; puis, brusquement, mur psammitique avec nombreux glissements, quelques radicelles. <i>Neuropteris heterophylla</i> , pholélite. A 576 ^m 30, terrain extrêmement dérangé par d'innombrables joints de glissements dans tous les sens avec pholélite. Terrain très schisteux. Les inclinaisons sont très faibles. Vers 578 m., on voit des glissements très fortement inclinés. Schiste psammitique plus ferme. Vers 578 ^m 70, terrain un peu plus régulier. Incl. 25°. Nombreux glissements. Vers 579 m., le terrain devient fracturé et la pente un peu plus forte. A partir de 580 m., le terrain devient plus schisteux. Toujours fracturé. Même pente. Végétaux hachés. Pholélite abondante. Des débris de coquilles paraissent dans du schiste assez fin, vers 581 ^m 50. En descendant, le schiste devient de plus en plus fin, de plus en plus feuilleté, laminé et escailleux par places. Inclinaison assez variable. Vers		

Nos	DESCRIPTION	Epaiss.	Base à
	le bas, des lits noirs, mats, avec lits de sidérose grise. Incl. 45°	7,71	583,11
	VEINETTE. Mat. volat. : 15,15 %. Cendres : 37,12 %	0,20	583,21
52.	Mur brun chocolaté, avec radicules luisantes. Incl. 50° à 60°. A 583 ^m 77, le mur devient psammitique et compact, bistre clair. En descendant, il devient plus noir, la pente diminue. A 585 m., incl. 35°. Toujours du mur psammitique noir-brun, avec quelques glissements. Cloyats nombreux. A 586 m., le terrain devient très fracturé par des cassures normales. Remplissages de brèche de faille. Toujours dans du mur. A 586 ^m 65, mur psammitique. Incl. 30°	4,42	587,63
53.	Schiste psammitique avec lits broyés, devenant plus régulier en profondeur. Incl. 45°. Quelques lits gréseux avec veines blanches dans des diaclases	2,15	589,78
125.	Schiste psammitique gris. Incl. 46°. Joints de stratification courbes, polis, striés. Devient zonaire	1,02	590,80
126.	Grès zonaire avec intercalations de schiste psammitique. Joints de stratification broyés	0,78	591,58
127.	Schiste psammitique zonaire. Joints de stratification polis et striés. Inclinaison très forte, 60°. Joints de glissement moins inclinés, 40°	2,42	594,00
128.	Terrain laminé, escailleux, plissé. Ce terrain dérangé continue jusque sur la couche. (FAILLE DU PLACARD)	7,56	601,56
	VEINETTE. Mat. volat. : 18,25 %. Cendres : 10,28 %	0,32	601,88
129.	Mur gris carbonaté, assez compact, dérangé par de nombreuses cassures. Teinte claire. On passe au schiste psammitique zonaire avec radicules. Incl. 12°. Quelques glissements fort inclinés	3,12	605,00
130.	Terrain dérangé. Psammite et schiste psammitique, dérangés par des glissements très inclinés. Perte importante d'échantillons	3,40	608,40
	VEINETTE	0,10	608,50
131.	Psammite zonaire gréseux. Le terrain se régularise. Incl. 10°. On passe au grès gris à grain très fin, puis au quartzite brun. A 611 ^m 30, on passe au psammite zonaire d'inclinaison presque nulle	3,66	612,16
132.	Schiste psammitique zonaire régulier à cassure un peu conchoïdale. <i>Mariopteris muricata</i> , <i>Calamites</i> . Les débris de plantes deviennent abondants. Feuilles de <i>Sigillaria</i> , schiste à rayure		

Nos	DESCRIPTION	Epaiss.	Base à
	brunâtre. Le terrain se dérange. Petite cassure normale	0,80	612,96
133.	Incl. 18°. Schiste psammitique gris, assez fracturé. Diaclase perpendiculaire à l'inclinaison. Plusieurs joints de glissements inclinés à 38°. Glissement avec pholélite. A partir de 613 ^m 91, le terrain se régularise. De très nombreux <i>Calamites</i> . Pente très faible. Schiste psammitique. A partir de 615 ^m 16, les terrains deviennent très fracturés et les roches plus schisteuses. <i>Neuropteris</i> . A 616 m., <i>Septaria</i>	4,00	616,96
	COUCHE. Mat. volat. : 17,70 %. Cendres : 9,86 % ...	0,96	617,92
134.	Mur frotté, laminé, devenant plus compact. <i>Stigmarmaria</i>	0,72	618,64
	VEINETTE	0,10	618,74
135.	Mur psammitique dérangé, fracturé, cloyats, joints de glissement, terrain très dérangé	2,18	619,92
136.	Mur argileux, tendre, teinte extrêmement pâle, radicules luisantes. Mur dérangé par de nombreux glissements	0,40	620,32
137.	Schiste psammitique gris, végétaux hachés. Inclinaison très faible. Diaclase verticale. Passe de psammite zonaire, gréseux, brunâtre. A 621 ^m 84, le terrain se régularise fortement. Incl. 14°. Vers la base on passe au schiste psammitique zonaire, gris. Végétaux hachés	3,27	623,59
	VEINETTE	0,13	623,72
138.	Le mur manque. A 623 ^m 90, schiste psammitique régulier avec quelques radicules. Inclinaison très faible. Diaclase verticale	2,78	626,50
139.	Brusquement, mur tendre, brun. Radicules luisantes, devenant compact, <i>Stigmarmaria</i> . Il devient psammitique et zonaire, cloyats. Il y a des radicules jusque sur la veinette	1,05	627,55
	VEINETTE	0,13	627,68
140.	Mur brun clair, à surfaces vernissées. <i>Stigmarmaria</i> . Mur très tendre, joints de glissement obliques, nombreux glissements horizontaux	0,47	629,15
141.	Schiste psammitique zonaire. <i>Calamites</i> , végétaux hachés. Encore quelques glissements. Sidérose. Terrain plus régulier, <i>Calamites</i> , diaclases verticales. Banc de sidérose de 0 ^m 12. Schiste psammitique, terrain très régulier, pente à peu près nulle. Joints pyriteux. A 634 ^m 40, le terrain devient plus tendre	5,25	634,40

Nos	DESCRIPTION	Epaiss.	Base à
142.	Schiste gris, doux, débris de coquilles. Il devient plus psammitique, lits de sidérose. Il redevient doux, teinte très pâle, zones brunes, rosettes de pyrite abondantes, la rayure devient grasse. Schiste très pyriteux. A la base, banc sonore luisant à rayure grasse, très pyriteux	2,12	636,52
	LAYETTE	0,12	636,64
143.	Mur psammitique, noir, pyriteux	0,52	637,16
	VEINETTE	0,17	637,33
144.	Mur schisteux, joints de glissements horizontaux, terrain fracturé	0,22	637,55
145.	Passage de faille normale, puis schiste noir, fin, doux. Incl. 12° à 15°. Enorme banc de sidérose. <i>Calamites</i> . Diaclases obliques. Le schiste devient un peu psammitique. Terrain très régulier. Incl. 10°. A 642 ^m 90, on passe au psammitite zonaire à stratifications entrecroisées. Psammitite gréseux. A 646 ^m 70, cassure normale inclinée à 45°. En dessous, terrain fracturé	9,15	646,70
146.	Grès zonaire. En dessous, plusieurs petites failles normales visibles. Les pentes deviennent très fortes. On perce plusieurs remplissages de failles normales. A 648 ^m 50, le terrain redevient régulier, avec une inclinaison de 10°. Schiste gris, doux, pâle, beaucoup de diaclases. Les terrains se foncent en descendant. Zones brunes. A 0 ^m 40 de la couche, schiste gris, doux, pyriteux. <i>Lingula mytilloïdes</i> . En descendant, la roche devient extrêmement pyriteuse, légèrement psammitique comme au puits de l'Espérance, à Baudour. <i>Lepidophyllum triangulare</i> . Assez bien de <i>Lingula</i> . Incl. 18°	4,40	651,10
	COUCHE. (21 ^e veine de Ghlin. Niveau de Quaregnon). Mat. volat. : 19,40 %. Cendres : 15,70 % ...	0,40	651,50
147.	Mur schisteux, pyriteux, radicules rares. Le mur devient fracturé. <i>Alethopteris</i>	1,00	652,50
148.	Schiste doux, fin, rempli de <i>Calamites</i> . A partir de 653 m., brèche de faille normale avec queues assez inclinées	1,00	653,50
	PASSÉE.		
149.	Mur. Inclinaison 25°, avec lits bruns, radicules luisantes. Le mur devient schisteux et feuilleté. Incl. 24°. La pente baisse graduellement. On passe à du schiste feuilleté avec plantes de toit. Plantes charbonneuses. Incl. 12°	2,86	656,36
	VEINETTE	0,15	656,51

Nos	DESCRIPTION	Epaiss.	Base à
200.	Mur feuilleté, tendre, brun, radicelles luisantes, surfaces comme vernies. Il est pyriteux et très argileux. Le mur devient plus compact. Inclinaison 16°. <i>Stigmaria</i> . Devient psammitique régulier. A 657 ^m 93, énorme cloyat cloisonné. <i>Septaria</i> . En dessous, le schiste devient gris très psammitique	1,49	658,00
201.	Grès psammitique gris, très micacé, diaclasses verticales. A 659 ^m 40, pistes de vers; la roche devient zonaire, empreintes charbonneuses. A 659 ^m 71, végétaux hachés. On passe au schiste psammitique de couleur plus foncée	2,50	660,50
202.	Grès gris, très dur, cailloux de schiste au sommet. Empreintes charbonneuses. Paillettes de mica. Diaclasses très inclinées. A 664 m., joints charbonneux bruns. Nombreuses empreintes charbonneuses. A 670 ^m 50, un banc de grès grenu, feldspathique. A la base, banc bondé d'empreintes charbonneuses, de cailloux de sidérose et d'amas brun clair	12,95	673,45

PASSÉE.

203.	Mur argileux bistre clair, glissé, pyriteux, radicelles luisantes, foncées, <i>Stigmaria</i> . A 0 ^m 60 plus bas, les cloyats deviennent abondants, la roche est toujours pâle. A 674 ^m 40, <i>Calamites</i> , <i>Neuropteris</i> . La roche passe au schiste psammitique. <i>Sphenopteris</i> , <i>Asterophyllites</i> , énorme cloyat. Les <i>Calamites</i> sont abondants par lits. <i>Calamites cisti</i> . A partir de 674 ^m 90, les <i>Calamites</i> sont extrêmement abondants. <i>Calamites ramosus</i> . Le schiste devient très fin sur 0 ^m 25, puis on repasse au psammite zonaire. Les végétaux disparaissent. Incl. 14°. Terrain très régulier, quelques intercalations de schiste psammitique.	3,65	677,10
204.	Schiste psammitique clair, diaclasse verticale, perpendiculaire à la direction, quelques cloyats. A 677 ^m 60, la rayure devient brune. Un petit banc de schiste noir à rayure brune, grasse, sonore (faux-gaillet), bondé de débris végétaux. En dessous, schiste finement feuilleté, escailleux, lamellaire, à rayure brune, devenant bistre. Plus bas, des radicelles foncées apparaissent. La roche devient friable, feuilletée, très pâle, à aspect calciné sur 0 ^m 30	0,60	677,70

Brusquement, en dessous d'un joint glissé, mur noir, feuilleté, avec radicelles à plat. Terrain bien stratifié. Le mur devient noir, charbon-

Nos	DESCRIPTION	Epaiss.	Base à
	neux, bondé de débris de radicules et de <i>Stigmarmia</i> , pyriteux, <i>Sigillaria</i> . Sur 1 m., c'est un véritable schiste charbonneux, bondé de débris végétaux alternant avec des lits de mur bistre, feuilleté, à surfaces comme vernies. A 680 m., on passe au mur compact, de teinte claire bistrée, psammitique. La roche devient rapidement zonaire. On passe au psammite zonaire avec radicules	3,55	681,25
206.	Schiste feuilleté bondé d'empreintes végétales mal conservées. Tiges de <i>Sphenopteris</i> . Par places, encore quelques radicules, <i>Aulacopteris</i> , <i>Lepidodendron</i> , <i>Calamites</i>	0,50	681,75
207.	Psammite zonaire avec zones gréseuses, gouttes de pluie, stratifications entrecroisées	0,85	682,60
208.	Schiste fin, doux, un peu zonaire, pistes de vers. On repasse au schiste psammitique zonaire. Incl. 16°. Joints noirs, charbonneux, rayure brune. Diacalse perpendiculaire à la pente, pistes de vers, gouttes de pluie. A partir de 685 ^m 40, schiste psammitique zonaire à végétaux hachés, joints noirs charbonneux, rayure brune. Par places, on passe au psammite zonaire ...	5,06	687,66
209.	Schiste gris, doux, pailleté, rayure blanche. A 689 m., apparaissent des débris de coquilles d'eau douce, indéterminables. A 0 ^m 30, au-dessus de la couche, coquilles d'eau douce, bivalves. <i>Anthracomya</i> à 689 ^m 81. Les coquilles sont rares et le plus souvent en débris. Contre la couche, le schiste devient plus fin et toujours pailleté, rayure blanche, grandes rosettes de pyrite. Pyrite très abondante à la base, sur 0 ^m 05 à 0 ^m 06, schiste excessivement fin, nombreuses mouches de pyrite	2,45	690,11
	COUCHE. (19 ^e veine de Ghlin.) Mat. volat. : 19,95 % Cendres : 1,57 %	0,95	691,06
210.	Mur argileux, bistre, bondé de radicules foncées, luisantes, devient rapidement psammitique, mais toujours très pâle, pyriteux, cloyats. A 692 ^m 30, <i>Calamites</i> déchiquetés. <i>Stigmarmia</i> , longues radicules. A 693 ^m 55, psammite passant au psammite zonaire avec quelques radicules au sommet, teinte très claire, un peu bistrée. Vers 695 m., zones gréseuses	4,49	695,55
211.	Grès psammitique zonaire à stratification entrecroisée. A 697 ^m 10, banc de 0 ^m 35 de grès avec un lit de conglomérat schisteux, au sommet	2,05	697,60

Nos	DESCRIPTION	Epaiss.	Base à
212.	Un mètre de brèche dans du grès à grain fin, allant jusqu'à 699 ^m 10. Puis, grès grenu avec empreintes charbonneuses, stratifications entrecroisées	4,07	701,67
213.	Schiste psammitique zonaire, lit schisteux avec <i>Stigmaria</i> , quelques radicules, lits très pyriteux. A 703 m., on trouvé encore des radicules.	1,33	703,00
214.	Brusquement, schiste doux, fin, feuilleté, abondance de <i>Naiadites quadrata</i> , la rayure a pris une teinte brunâtre. Au sommet, il y a encore quelques radicules à texture concentrique. Le schiste devient de plus en plus fin, à rayure de plus en plus brune et les fossiles de plus en plus abondants. Quelques glissements. Le terrain devient un peu fracturé, pyriteux	0,82	703,82
	VEINETTE PIERREUSE PYRITEUSE	0,03	703,85
215.	Brusquement, mur gris, bistré, avec radicules abondantes, carbonatées par places, <i>Stigmaria</i> . Devient très dur et très compact, psammitique, très carbonaté. A 704 ^m 85, le mur devient gris. A 705 ^m 27, le mur devient pâle, pyriteux	2,65	706,50
216.	Schiste feuilleté, doux, <i>Cordaites</i> , quelques rares radicules	0,15	706,65
	PASSÉE.		
217.	Brusquement, mur argileux, brun bistré, pyriteux, à aspect de boue séchée, surfaces vernissées, joints de glissement. En descendant, il devient rapidement noir avec radicules abondantes. A 707 ^m 22, dans le mur enore bien marqué, apparition de plantes de toit. Le mur devient friable, brun, terreux, encore bistre, cloyats, <i>Stigmaria</i> . Le mur continue jusque sur la veinette. Sur 0 ^m 01, à la base, <i>Calamites</i>	2,12	708,77
	VEINETTE	0,22	708,99
218.	Mur devenant rapidement bien stratifié, avec radicules à plat. Grandes radicules, diaclases à partir de 710 ^m 07, très inclinées	2,18	711,17
219.	Schiste gris, doux, fin, avec d'innombrables petits débris de coquilles. Le schiste alterne avec du schiste psammitique, zonaire, les coquilles disparaissent rapidement. Une passe gréseuse de 0 ^m 15 à 711 ^m 80. En dessous, schiste psammitique. Sur 0 ^m 50, passe de schiste gris, doux. Coquille bivalve à 713 ^m 50. <i>Mariopteris</i> . En descendant, la rayure devient brunâtre, nombreuses mouches de pyrite. Petits débris		

Nos	DESCRIPTION	Epais.	Base à
	de fusain. A la base, mince lit grossier, pyriteux, avec fragments de fusain. <i>Naiadites</i>	3,10	714,27
	COUCHE. (18° veine de Ghlin.) Mat. volat. : 19,20 %.		
	Cendres : 3,82 %	0,55	714,82
220.	Mur schisteux feuilleté, <i>Lepidodendron</i> , <i>Neuropteris</i> , charbonneux, brunâtre par places, passant au mur bistre, argileux, compact, puis brun. A 714 ^m 92, le mur devient psammitique, gris, très dur. Ensuite, 0 ^m 25 de psammite zonaire; puis, 0 ^m 80 de grès gris, zonaire	1,18	716,00
221.	Schiste gris, doux, fin, quelques radicelles. <i>Lepidostrobus</i> . Diaclases verticales. A 717 ^m 60, des débris de coquilles indéterminables apparaissent. En descendant, le schiste devient plus psammitique, les coquilles disparaissent; vers 718 m., le schiste redevient fin, noir, à rayure brune. Puis, schiste à rayure grasse et sonore (faux-gaillet). En dessous, schiste gris, doux, fin, <i>Naiadites</i> . Lit pyriteux, pesant, bondé de coquilles	2,57	718,57
PASSÉE.			
222.	Mur compact un peu brunâtre, très dur, passant rapidement au psammite zonaire	0,70	719,27
223.	Psammite zonaire avec quelques radicelles au sommet. Incl. 22°. Cloyats, banc schisteux intercalé, bondé de radicelles, enduits pyriteux ...	0,80	720,07
PASSÉE.			
224.	Mur schisteux feuilleté, tendre, très doux, devenant terreux, bistre foncé, radicelles luisantes, surfaces vernissées (0 ^m 40). Passe brusquement au psammite brun très micacé, encore quelques radicelles, très pyriteux, végétaux hachés. A 721 ^m 12, on passe au psammite zonaire. Toujours brun, très pyriteux, diaclases verticales	1,50	721,57
225.	Brusquement, mur argileux, bistre, typique. Inclinaison 10°. Cloyats. Devient fracturé à 721 ^m 67 et très pâle, altéré. (Voisinage d'une faille normale.) En descendant, la roche devient psammitique, mais toujours pâle	1,13	722,70
226.	Schiste psammitique pâle, un peu brunâtre, avec encore des radicelles. <i>Neuropteris</i> . Diaclase verticale remplie de calcite. Incl. 18°	0,63	723,33
	Echantillons non remontés	0,60	723,93
Profondeur finale : 723 ^m 93.			

INTERPRÉTATION.

STRATIGRAPHIE.

Le sondage a traversé deux massifs séparés par la faille du Placard. Ces deux massifs appartiennent à l'assise de Charleroi. Vu l'absence de niveau directeur, dans le massif supérieur, il n'est pas possible de déterminer son niveau exact dans l'assise. La présence de plusieurs failles normales et aussi de plusieurs failles de refoulement, toutes à rejet inconnu, ne permettait d'ailleurs pas de dresser une stampe normale sérieuse de ce massif. Tout au plus peut-on dire qu'il appartient, très probablement, à la moitié inférieure de l'assise.

Par contre, la rencontre, dans le massif inférieur, du niveau marin de Quaregnon, a permis d'établir, avec une certitude complète, le raccordement, même couche par couche, des éléments principaux de ce massif.

En effet, si l'on compare la stampe normale de ce massif du sondage, avec les stampe contemporaines du charbonnage de Ghlin, du puits de Jemappes, n° 28 (Produits-du-Flénu) et du sondage des Prés-à-Charbon (Nord du Rieu-du-Cœur), il est facile de faire le raccordement auquel nous nous sommes arrêtés dans la coupe précédente. Les différences, d'ailleurs minimes, proviennent, soit de la variabilité des éléments de la stampe, soit aussi de la perturbation produite par les failles normales qui découpent le massif inférieur à ce sondage.

L'examen des diverses stampe voisines, que nous venons de citer, permet de faire les quelques remarques suivantes :

1. La veine n° 19 de Ghlin se montre, dans la région, très régulière, dans sa puissance voisine de 1 m. et dans les caractères de son toit de schiste feuilleté, à faune de coquilles d'eau douce.

Au-dessus de ce toit il y a un épais banc de grès, passant parfois au conglomérat et qui est fort constant.

2. Comme il y a, au-dessus de la veine n° 21, un autre conglomérat, encore plus constant et plus général, on peut dire que le niveau de Quaregnon, au toit de cette veine n° 21, est compris entre deux niveaux de conglomérat. J'ai constaté la même chose, ailleurs, notamment au charbonnage de Forte-Taille, bien loin de Mons donc. C'est un fait curieux et peu explicable.

3. Comme le montre la coupe, sous la profondeur de 574 m., à peu près toutes les veines, veinettes ou passées ont ce type de mur que j'appelle *mur bistre*, de couleur très pâle, argileux. C'est un cas exceptionnel bon à noter.

TECTONIQUE.

Il n'y a guère de doute que l'importante faille du Placard passe, au sondage, vers 600 m. Jusque-là on peut établir aisément la synonymie des couches du massif, sous la faille, avec celles du massif en place, du bord nord du bassin. Plus haut cela devient impossible.

A ce niveau il y a un changement brusque et systématique dans la composition chimique des couches. Au-dessus elles sont plus pauvres en matières volatiles d'au moins 3 %. Ce changement est caractéristique de cette faille partout.

Les strates au-dessus de la faille sont plus inclinées qu'en dessous. C'est encore un autre caractère fréquent de part et d'autre de la faille. Le massif supérieur à la faille, le massif dit du Placard donc, est lui-même découpé au moins par deux failles de refoulement. Vu l'absence de données formelles sur l'importance de leur rejet, il est impossible de dire si l'une d'elles est la faille du Centre. Peut-être ne sont-elles que parmi celles que l'on voit partout, si nombreuses, constituant la *Grande zone failleuse du Centre et du Borinage*.

Comme je l'ai déjà dit plusieurs fois, cette zone failleuse se présente sous deux types :

1° Le type redressé, raide et relativement étroit, aux affleurements;

2° Le type étalé, moins incliné et plus étendu aux affleurements.

Le sondage des Bruyères de Mons, 4 km. à l'Est de celui-ci, est tombé dans la faille du premier type. Au contraire, le puits n° 28 de Jemappes, à peu près à la même distance, à l'Ouest, a reconnu la faille sous le second type. Il en est évidemment de même au sondage Léon Gravez. Le passage d'un type à l'autre se fait donc entre ce sondage et celui des Bruyères et ce passage est donc assez brusque et suivant une surface gauchie qui reporte la lèvre sud de la zone failleuse assez bien au Sud. Comme on a recoupé les couches du massif en place à la profondeur où elles figuraient sur une coupe théorique dressée, en admettant que les allures connues de ces couches, à la limite sud de la concession de Ghlin, se prolongent, sans changement, jusqu'au sondage, on peut admettre que cette supposition correspond à la réalité. Ces couches, au sondage, seraient donc dirigées E.-O., avec pente au Midi, comme à Ghlin.

La coupe montre que le sondage a traversé plusieurs failles normales typiques, parfois même avec remplissage et retroussé-

ments au voisinage. C'est à la présence de failles de ce genre que l'on doit la réduction de puissance du conglomérat au-dessus du niveau marin de Quaregnon. A tous les sondages de la région, le même fait a été constaté.

Les constatations faites au sondage L. Gravez permettent de supposer que plusieurs de ces failles affecteraient le type de faille normale N.-S., avec décrochement horizontal, dans le genre de celles contre lesquelles les travaux du puits de Ghlin sont venus s'arrêter, à l'Est de ce puits et près de la méridienne du sondage.

Mais il y a un fait que nous avons cité plus haut et qui montre que les failles N.-S. de Ghlin ne se prolongent pas, au Sud, jusqu'à la latitude du sondage L. Gravez. En effet, si elles se prolongeaient, on n'aurait pas pu rencontrer, au sondage, les couches de Ghlin là où une coupe théorique les plaçait, dans l'hypothèse où ces couches de Ghlin ne seraient pas modifiées, dans leur allure vers le Sud. Comme le sondage est à 300 m. à l'Est du point où ces failles N.-S. passeraient, si elles se prolongeaient, elles n'auraient pas manqué de modifier la position des couches, dans le cas où elles se seraient étendues jusqu'à la latitude du sondage.

Au voisinage de la grande zone failleuse on rencontre fréquemment des failles normales d'un type particulier. Elles sont faiblement inclinées au Nord et elles sont incurvées en cuvette, dans le sens E.-O. Il est probable que plusieurs des failles normales du sondage sont dans ce cas. Mais, dans un sondage vertical, rien ne permet de les distinguer des failles normales inclinées fortement au Sud, quand les échantillons ne permettent pas d'observer nettement l'allure des lèvres de la cassure, ce qui est malheureusement presque toujours le cas.

La faille du Placard, dans la région, a presque toujours une inclinaison au Sud très voisine de celle des couches du massif en place situé sous la faille. Si tel est le cas, au sondage L. Gravez, alors la faille du Placard passerait à la profondeur de 900 m. environ, à 1.000 m. au Sud du sondage. Or, le sondage des Bruyères a recoupé la faille à la profondeur de 1.025 m., comme le montre la coupe que j'en ai publiée récemment (1). Ce sondage est à 1.000 m. plus au Sud que le sondage L. Gravez et 4.000 m. à l'Est. Sur cette distance de 4 km. la faille remonterait donc vers l'Ouest de plus de 100 m.

(1) Charbonnages du Levant-du-Flénu. Coupe du sondage des Bruyères de Mons (*Bull. Soc. belge de Géologie*, t. XLVII, 1937, p. 447).

Elle ferait donc comme les autres failles de la grande zone failleuse qui, dans la région, remontent toutes vers l'Ouest, jusque sous l'anticlinal transversal du Flénu. Le plongement vers l'Est de toutes ces failles est évidemment une conséquence de l'introduction du massif de poussée de Saint-Symphorien, au beau milieu du bassin houiller du Centre.

C'est ce que je montre dans un travail sous presse et qui paraîtra dans le *Bulletin de la Société belge de Géologie* (1938) et où j'écris la coupe du sondage n° 3 de Saint-Symphorien (Ouest).

Au sondage des Bruyères le massif inférieur à la faille et en place est réduit, par la faille du Placard, à ses deux couches inférieures de l'assise de Charleroi. Si le sondage L. Gravez avait été poursuivi jusqu'à ces deux couches, il les aurait rencontrées vers 875 m. Il n'est pas téméraire de supposer qu'elles se poursuivent, au Sud et sous la faille, au moins jusqu'à 1.000 m. au Sud du sondage. Le fait que la faille se relève vers l'Ouest permet même d'espérer qu'elles peuvent, même avec d'autres, supérieures, du même massif, aller plus au Sud encore, mais aucun fait connu ne permet, actuellement, de savoir au juste jusqu'où et comment se poursuit, vers le Sud, ce massif en place, dans la méridienne du sondage.

Un « puits naturel » s'ouvre au sol à Ville-Pommerœul (Hainaut),

par JULES DELECOURT et RENÉ MARLIERE (*).

On peut actuellement observer un important effondrement du sol dans le Bois-de-Ville (territoire de Ville-Pommerœul) à proximité immédiate de la grand'route de Tournai. Par rapport au centre du Rond-du-Bois-de-Ville, on comptera sur la carte 648 m. en suivant la route vers Hautrage; on pénétrera sous bois perpendiculairement à la route, vers le S.-S.-O.; dans cette direction le centre du puits est à 86 m. de l'axe de la route.

On se trouve en présence d'une *dépression en forme de cirque*, atteignant 40 m. de diamètre, dont le fond est dénivélé de 4 m. environ par rapport aux bords, auxquels il se raccorde par un talus nettement incliné, large de 10 m. Le fond même de la cuvette ainsi formé a donc environ 10 m. de rayon. *Trois entonnoirs* y sont ouverts (fig. 1); ils sont sensiblement alignés dans la direction Nord, 150° (soit Nord 30° W.), et possèdent les caractéristiques suivantes :

	Puits n° 1. (Sud-Sud-Est)	Puits n° 2. (Central)	Puits n° 3. (Nord-Nord-Ouest)
Diamètre	5 m.	8 m.	4 m.
Profondeur . . .	3 m.	6 à 7 m.	2 m.
Forme	Entonnoir.	Entonnoir.	Entonnoir.
Fond	Obstrué.	Ouvert.	Obstrué.
Coupe visible . .	Dièves.	Dièves, Tourtia, Meule.	Dièves.

La végétation herbacée couvre uniformément le sol et ne montre absolument aucune différence avec celle de la forêt aux environs. Les arbres n'offrent aucune disposition anormale, ni dans leur alignement, ni dans l'inclinaison des troncs. Seul un frêne, arrivé au même développement que ses congénères, âgés de 25 ans environ, a été entraîné au fond de l'entonnoir central et git actuellement à demi-couché contre la paroi (fig. 2); ses rameaux obéissent au géotropisme et se redressent vers le ciel; on pouvait ainsi lire sur l'arbre, en juin 1938, qu'il com-

(*) Note présentée à la séance du 21 juin 1938.

mençait le troisième été dans cette position. On situe donc en toute certitude le moment où ce frêne a glissé au fond de l'entonnoir à la période juin 1935-juin 1936. Selon toute vraisemblance c'est à la même époque que l'entonnoir s'est ouvert par effondrement.

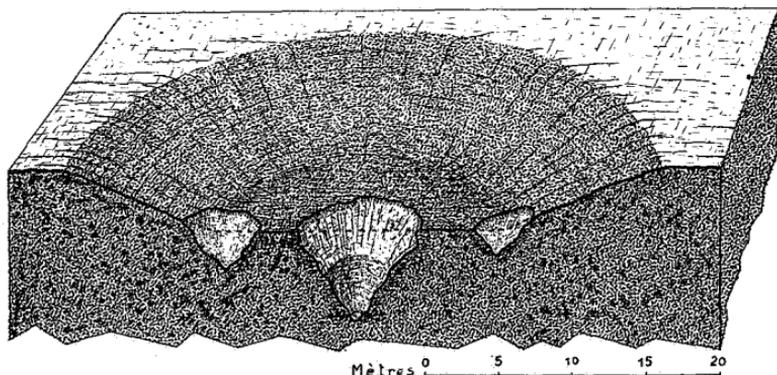


FIG. 1. — Bloc-diagramme.

Ce dessin donne un aspect d'ensemble du « puits naturel » du Bois-de-Ville, et montre notamment la situation des trois entonnoirs au fond de la dépression circulaire. La coupe qui passe par les entonnoirs (premier plan) est établie à l'échelle. — Puits n° 1 à gauche. Puits n° 3 à droite.

Sur la paroi de ce même puits on voit encore dans un état de fraîcheur parfaite, la coupe géologique suivante :

- 3 m. de *marnes crayeuses* jaunâtres, avec *Terebratulina rigida* (TURONIEN MOYEN);
- 3 m. de *marnes argileuses* bleues, plastiques (TURONIEN INFÉRIEUR et CÉNOMANIEN SUPÉRIEUR);
- 0^m50 de *Tourtia* : conglomérat riche en cailloux de phtanites et de grès houiller, réunis par un ciment marno-sableux très glauconifère, renfermant *Pecten asper*, *Ditrupa deformis* (CÉNOMANIEN SUPÉRIEUR, tourtia de Mons);
- 0^m25 de *calcaire grenu* à texture sableuse par places, et localement cimenté en gros nodules siliceux (« Meule » d'âge CÉNOMANIEN INFÉRIEUR, assise de Bernissart).

Le fond de ce puits est percé et on y voit l'entrée d'un gouffre obscur qui mène... on ne sait où.

HISTORIQUE. — Aucun observateur n'a assisté à l'effondrement. On s'explique aisément la chose en considérant qu'il s'est produit dans un endroit désert, sous bois.

D'après les renseignements recueillis, notamment auprès du garde-chasse au service de la Princesse de Ligne, propriétaire du bois, les faits semblent devoir être ainsi reconstitués : Depuis quelques années peut-être de l'eau séjournait par intermittence à l'emplacement de l'actuelle cuvette, mais on n'avait prêté à cela aucun intérêt spécial, les arbres continuant à croître normalement. Au cours d'une tournée dans le bois, dit le garde-chasse, il y a trois ou quatre ans, il eut la surprise de constater



FIG. 2. — **L'entonnoir central.**

Cette vue, prise en avril 1938, est orientée de la même façon que le bloc-diagramme. On y voit l'entonnoir central, duquel sortent quelques branches du frêne qui y a glissé. Un autre arbre est encore debout sur le bord. Vers la gauche, on aperçoit en partie l'entonnoir n° 1.

que la « mare » était vide, et les trois puits encore visibles aujourd'hui apparaissaient au fond, un arbre ayant été entraîné dans l'entonnoir central.

En 1937, M. Delecourt forait un puits d'alimentation en eau (dit forage de Ville-la-Forêt) à 70 m. environ au N.-O. de l'effondrement; les eaux de pompage furent dirigées vers l'entonnoir et s'évacuèrent sans difficulté. Par cette heureuse occasion M. Delecourt découvrait le « puits naturel »...

Ajoutons que ce curieux accident géologique a été visité, au cours de l'été 1938, par la Société géologique du Nord (Lille), par la Société des Naturalistes de Mons et du Borinage (Mons),

par la Société belge de Géologie (Bruxelles) (1). Au cours de cette dernière visite il a été décidé d'entreprendre des démarques pour que ce site géologique soit *classé et protégé par l'Etat*.

ORIGINE GÉOLOGIQUE. — On doit éliminer toute possibilité d'intervention humaine dans la genèse des trois entonnoirs. Cela est de toute évidence. Mais la question peut être posée en ce qui concerne le cirque, et l'on se demande, notamment, si l'on n'est pas en présence d'une ancienne exploitation. Ni les renseignements recueillis, ni l'aspect du site, ni les documents consultés ne laissent supposer pareille possibilité. En effet, seules les marnes blanches (dièves crayeuses) auraient pu tenter l'exploitant; mais on remarquera que la couche a encore 3 m. d'épaisseur et que les dièves atteignent 6 m. à 6^m50 sur la paroi du puits central. Ces chiffres sont un maximum pour la région et indiquent qu'aucune extraction de dièves n'a eu lieu à l'emplacement de la cuvette. La carte topographique levée en 1866, révisée sur le terrain en 1883 et 1907, n'indique pas la présence d'une cuvette ou d'une exploitation. Les dossiers du Service géologique de Belgique ne font mention d'aucun affleurement à ce point (2). Pour ces raisons nous croyons — nous avons même l'assurance — que le lent affaissement du sol qui a déterminé la formation de la dépression en cuvette a été le prélude de l'effondrement des entonnoirs et qu'il relève d'une même cause; peut-être s'est-il produit par un système de petites failles à disposition périphérique, ou, au contraire, par des déformations plastiques étant donné le caractère marneux du substratum.

Mais il reste à rechercher la présence d'un vide souterrain où ont pu s'engouffrer, en foisonnant, les terres arrachées aux entonnoirs et celles qui correspondent au volume de la cuvette (de l'ordre de 3.000 m. cubes). Les exploitations minières sont éloignées, et seule la structure géologique locale est à considérer.

Le forage de *Ville-la-Forêt*, 70 m. au N.-O., donne la coupe suivante :

	Épaisseur.	Base à
PLEISTOCÈNE (0 ^m 90).	—	—
Sable jaune et cailloux	0,90	0,90

(1) Sous la conduite de MM. Delecourt et Marlière les participants se sont encore rendus, le 18 juin 1938, dans quelques carrières de grès de Grandglise et au captage de Caraman, à Hautrage.

(2) Sauf les observations rapportées le 31 mars 1938 par M. F. Halet (Dossier 139 gauche, point n° 178), relatives au même accident ici décrit.

	Épaisseur.	Base à
LANDÉNIEN (2 ^m 60).		
Sable argileux glauconifère, jaune... ..	2,60	3,50
TURONIEN et CÉNOMANIEN SUPÉRIEUR (1 ^m 40).		
Marne grise plastique avec cailloux roulés de phtanite à la base (<i>tourtia de Mons</i>)... ..	1,40	4,90
CÉNOMANIEN INFÉRIEUR (9 ^m 10).		
Calcaire marneux ou cristallin, gris clair, contenant de nombreux cailloux mal roulés de phtanite (Meule cénomaniennne)... ..	6,10	11,00
Cailloux de phtanite légèrement arrondis	1,00	12,00
Argile brunâtre encore calcarifère	2,00	14,00
WEALDIEN (7 ^m 50).		
Argile noirâtre pyriteuse par endroits, ligniteuse à d'autres, non calcarifère	7,50	21,50
HOULLER (5 m.).		
Grès blanc quartziteux, très dur.	5,00	26,50

Le sondage n° 1, de *Ville-Pommerœul*, du charbonnage du *Grand-Hornu* (1855), situé à proximité, mais dont l'emplacement exact n'est pas connu, a traversé des épaisseurs plus considérables de « Meule » (15 m.) et de Wealdien (23^m55) (1).

Sous le puits naturel du Bois-de-Ville, chacune des assises crétacées doit avoir au moins l'épaisseur des couches correspondantes du forage de *Ville-la-Forêt*; cela résulte des allures régionales du Crétacé; on aurait ici :

CRÉTACÉ :		
Dièves (visibles)	6 ^m 00	
Tourtia (visible)	0 ^m 50	
Meule calcarifère (visible sur 0 ^m 25)... ..	9 ^m 10	<i>au moins</i>
Argiles wealdiennes	7 ^m 50	<i>au moins</i>

HOULLER IMPRODUCTIF :		
Grès du Bois-de-Ville..	5 ^m 00	<i>au moins</i>
Phtanites : 60 m. en stamper normales, soit, en tenant compte des inclinaisons observées au Rond du Bois-de-Ville, environ.	72 ^m 00	

Total... .. 100^m10 *au moins*.

Le CALCAIRE CARBONIFÈRE est donc à 100 m. au moins sous la surface du sol.

(1) Voir JULES CORNET, *Bull. Soc. belge de Géologie*, t. XVI, Mémoires, 1902, p. 182; *Ann. Soc. géol. de Belgique*, t. XLV, Mémoires, 1923, pp. 68-69. X. STAINIER, *Bull. Soc. belge de Géologie*, t. XXVI, P. V, 1912, pp. 210-231.

Tout géologue recherchera la présence d'une caverne souterraine dans les couches calcaires du sous-sol. Et l'on pense volontiers à un *puits naturel* au sens où l'entendent les mineurs hennuyers ⁽¹⁾, creusé dans le calcaire carbonifère, et qui serait parvenu jusqu'à la surface par des effondrements successifs ou en masse de la voûte.

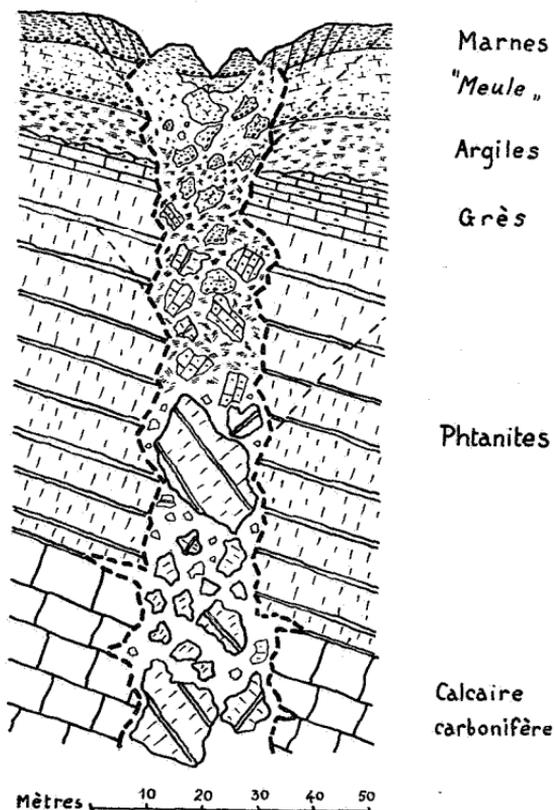


FIG. 3. — Coupe géologique supposée.

Cette coupe représente, telle que nous la comprenons d'après les observations de surface et le sondage de Ville-la-Forêt, la situation de gisement du « puits naturel ».

On objecte non sans pertinence que la « Meule », ici recouverte par des couches marneuses imperméables, affleure un peu au Nord et s'y trouve alimentée en eaux d'infiltration; les calcaires grenus et poreux qui existent dans cette formation pourraient être soumis à une dissolution souterraine active capable

(1) Voir *Bull. Soc. belge de Géologie*, t. XLIII, 1933, pp. 182-183.

de créer des vides nombreux et peut-être importants par leur volume.

Mais ces calcaires sont en grande partie silicifiés et ils renferment des *cherts* nombreux; ils sont mêlés, ici comme ailleurs, à des sables, des marnes sableuses et des conglomérats peu sensibles à l'action dissolvante des eaux souterraines; en outre, l'épaisseur globale de la Meule serait ici de l'ordre d'une dizaine de mètres, alors que l'affaissement de la surface du sol est de 11 m.

On ne trouve plus de calcaire avant les couches dinantiennes et l'on doit pour les atteindre traverser les argiles plastiques wealdiennes et environ 70 m. de phtanites et schistes siliceux. En dernière analyse, *c'est bien dans le Calcaire carbonifère, à 100 m. sous le sol, qu'il faut rechercher la caverne inconnue, qui, après avoir causé l'effondrement des roches de sa voûte, s'est finalement manifestée en surface.*

Notre conclusion ne surprendra pas les géologues familiers de la région hennuyère; ils savent que les vides profonds, d'origine si problématique, y rongent de bas en haut, sur *des centaines de mètres*, le terrain houiller et les couches créacées (jusqu'à la craie blanche); ces « puits naturels » sont très nombreux au bord nord du bassin houiller dans le Couchant-de-Mons; mais jamais, à notre connaissance, on n'avait pu observer en surface des effets aussi évidents, ni démontrer d'une manière aussi éclatante leur actuelle mobilité.

Un calcaire post-rupélien au Pays de Waes,

par R. TAVERNIER (*).

Lors du déblaiement de la couverture quaternaire, en vue de l'exploitation de l'argile rupélienne, à la partie méridionale des grandes argilières de la firme « Scheerders-Van Kerchove's Vereenigde Fabrieken », à Saint-Nicolas-Waes ⁽¹⁾, des amas lenticulaires d'une roche blanchâtre, calcareuse, meuble et très friable, s'intercalant entre le Quaternaire sableux et l'argile,

(*) Note présentée à la séance du 19 juillet 1938.

(1) L'emplacement de cette exploitation est indiqué par la lettre E à la figure 1 d'une note de M. F. Halet, parue récemment dans ce *Bulletin*, t. XLVIII, p. 481.

ont été observés. D'après les observations que nous avons pu faire, la coupe est la suivante (fig. 1) :

1. Sous la terre végétale sableuse on voit un sable limoneux gris pâle, légèrement calcarifère, avec localement des taches brunâtres, limoniteuses.

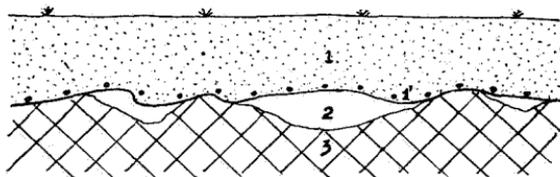


FIG. 1.

1'. Cailloutis de base, composé de nombreux galets de silex, de quartz hyalin roulé, de débris d'ossements de Cétacés et de dents de poissons roulées. Des amas de sable graveleux calcarifère sont localement intercalés dans ce gravier. Beaucoup de ces éléments, notamment les dents de poissons, les ossements et le sable glauconifère, sont empruntés au Néogène (Crag d'Anvers).

2. Roche carbonatée blanchâtre, faisant fortement effervescence à l'acide chlorhydrique dilué. Ce dépôt est raviné au sommet par le cailloutis de base décrit sous le numéro 1'; quelques cailloux sont descendus dans cette formation. D'autre part, cette roche repose sur le sommet irrégulier et raviné de l'argile rupélienne, altérée (« argile à potier »), à laquelle elle passe graduellement.

3. Partie supérieure de l'argile rupélienne, formée d'une argile altérée jaunâtre avec des taches limoniteuses brunâtres.

Les termes 1 et 1' de la coupe représentent incontestablement le Quaternaire, tandis que le terme 3 appartient sans aucun doute à l'Oligocène rupélien.

Quelle est la signification du dépôt calcaireux n° 2 ?

M. F. HALET, dans une note récente ⁽¹⁾, considère cette formation comme faisant un tout avec l'argile n° 4 de sa coupe. Il la considère comme « un dépôt argilo-sableux de très faible épaisseur, très compact et très riche en petites poupées calcaires ». La texture spéciale de cette argile serait due, d'après

(1) F. HALET, Note sur les gisements d'argile à potier, aux environs de Saint-Nicolas (*Bull. Soc. belge de Géol.*, t. XLVIII, 1938, pp. 481-492).

TABLEAU I.

	Opagues	Tourmaline	Zircon	Grenat	Rutile	Brookite	Titanite	Staurolite	Disthène	Andalousite	Sillimanite	Epidote	Saussurite	Amphibole	Glaucophane
1. Calcaire post-rupélien (Saint-Nicolas) . . .	59	6	20	49	16	1	—	2	6	4	—	15	1	10	—
2. Id.	50	6	25	27	10	—	—	4	2	2	—	40	1	12	1
3. Id.	56	7	31	20	9	—	—	3	4	3	—	41	—	12	—
4. Sable glauconifère (fig. 2, 2.)	37	6	25	26	8	—	—	5	4	3	—	13	1	9	—
5. Id.	55	2	37	18	10	1	=	4	3	4	1	11	1	6	1
6. Sable gris, quaternaire (Saint-Nicolas) . . .	61	6	32	29	6	1	—	4	4	3	1	6	1	6	1
7. Anversien (Anvers)	63	2	25	39	7	—	—	4	5	1	—	5	1	9	—
8. Diestien (Waesrode)	26	5	52	2	18	—	—	—	1	1	—	13	1	5	—
9. Scaldisien (Anvers)	70	8	31	15	9	—	—	3	—	—	—	12	1	22	—
10. Diestien (Walsoorden)	65	15	37	21	4	—	—	5	1	—	—	15	—	22	—
11. Id.	43	6	42	44	6	—	2	5	7	—	—	14	—	4	—
12. Rupélien (Sluiskil)	14	6	13	58	4	2	2	6	3	—	—	7	—	1	—

M. HALET, à des précipitations chimiques provenant de la circulation des eaux superficielles.

Examinons la roche de plus près. Quelques dosages du calcium soluble dans l'acide chlorhydrique dilué montrent que la teneur moyenne en carbonate de chaux atteint 65 % (1). Le résidu insoluble est composé d'un mélange de sable et d'argile. L'étude de la composition minéralogique de ce résidu argilo-sableux a été entreprise d'après la méthode préconisée par C. H. EDELMAN (2). Nous avons trouvé que la teneur en minéraux denses (densité > 2,9) est très élevée. Ces minéraux, séparés à l'aide du bromoforme, furent montés sur verre à la kolloolith (mélange de baume de Canada et de xylol, dont l'indice de réfraction est 1,5354). En opérant suivant la méthode dite linéaire, nous avons déterminé la nature de cent grains des minéraux transparents : leurs pourcentages respectifs sont donnés aux trois premières lignes du tableau I. Les pourcentages des minéraux opaques, par rapport à cent minéraux transparents, sont également mentionnés.

Quant à l'élément calcaire, on remarque qu'il est formé en très grande partie par des fragments de très petite taille; cependant, de petites poupées, atteignant 5 mm. de plus grande dimension, s'y observent aisément. En outre, des fragments de coquilles, malheureusement fort fragiles et se débitant quelquefois en petits prismes, ont également été observés.

Il est incontestable que la circulation des eaux superficielles a largement contribué à donner à cette roche son aspect actuel; c'est notamment grâce à elle que cette formation passe graduellement à l'argile (altérée) sous-jacente. Il est cependant possible que des *septaria* aient contribué, en une certaine mesure, à l'enrichissement en calcaire (3).

Nous pensons cependant que la grande quantité de calcaire provient d'amas de coquilles néogènes. A l'appui de cette hypothèse, remarquons que dans le gravier de base du Quaternaire existent des paquets de sable glauconifère, provenant sans aucun doute du Néogène. Nous avons, d'ailleurs, observé des grains de glauconie dans la roche calcaireuse. La quantité de

(1) Le calcium fut précipité comme oxalate et redissous dans l'acide sulfurique après filtration; l'acide oxalique ainsi mis en liberté fut titré au permanganate de potasse.

(2) C. H. EDELMAN, De petrographische provincies in het Nederlandsche Kwartair (*Proefschrift*, Amsterdam, 1930).

(3) Sigalons toutefois l'absence des ions SO_4 dans cette roche.

sable glauconifère remanié dans le gravier de base du Quaternaire n'est nullement négligeable, comme le montre la figure 2, représentant une coupe visible dans la même argilière et à peu de distance du gisement du calcaire.

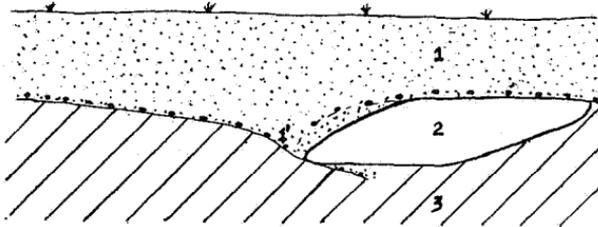


FIG. 2.

1. Sable limoneux gris pâle.

1'. Cailloutis de base présentant les mêmes caractères qu'à l'endroit de la coupe figure 1.

2. Amas de sable glauconifère, reposant partiellement sur le gravier et partiellement sur l'argile.

3. Argile rupélienne, légèrement altérée.

Nous avons entrepris l'étude minéralogique du sable glauconifère 2 de cette coupe, d'après la méthode EDELMAN. La composition minéralogique du résidu dense est donnée par les 4^e et 5^e lignes du tableau I. Nous indiquons au même tableau la composition minéralogique de différents sables, à savoir :

Sable gris pâle de Saint-Nicolas (Quaternaire) : 6^e ligne.

Sable noir d'Anvers (Anversien) : 7^e ligne.

Diestien (sable de Diest) : 8^e ligne.

Scaldisien d'Anvers : 9^e ligne.

Diestien de Walsoorden : 10^e et 11^e lignes.

Rupélien de Sluiskil : 12^e ligne.

Les lignes 10, 11 et 12 se rapportent à des sables analysés par EDELMAN et DOEGLAS ⁽¹⁾ et provenant de sondages exécutés en Flandre zélandaise.

En comparant ces différents chiffres, on constate que tous

(1) C. H. EDELMAN en D. J. DOEGLAS, Bijdrage tot de petrologie van het Nederlandsch Tertiair (*Verhandelingen van het Geol. Mijnb. Genootsch.*, t. X, pp. 1-39, 1933).

ces sédiments appartiennent à une même « province pétrologique » et notamment au « groupe A » d'EDELMAN. Néanmoins, des influences continentales (proximité du rivage ou remaniement) ont modifié légèrement leur composition et l'on y constate la présence de faibles pourcentages de minéraux métamorphiques (disthène, staurolite et andalousite), qui caractérisent les facies continentaux du Tertiaire supérieur (groupe B d'EDELMAN).

Rappelons, enfin, que M. A. HACQUAERT a signalé à Exaerde l'existence d'un dépôt riche en calcaire trouvé à la base du Quaternaire à dix mètres de profondeur ⁽¹⁾. Ce dépôt comprend, à côté de cailloux divers, des éléments reconnaissables parmi lesquels figuraient des coquilles empruntées au Néogène.

Gent, Geologisch Laboratorium van de Universiteit.

(1) A. HACQUAERT, Boringen te Eksaarde. Korte bijdragen tot de geologie van het Vlamsche Land. 2 (*Natuurwet. Tijdschr.*, XX, pp. 279-284, Gand, 1938).