

SÉANCE MENSUELLE DU 19 MAI 1936

Présidence de M. V. VAN STRAELEN.

Les procès-verbaux des séances du 17 mars et du 21 avril sont lus et approuvés.

Le Président annonce le décès de M. J. ANTEN, membre effectif de la Société, professeur de pétrographie à l'Université de Liège.

Le Président proclame membres de la Société :

M. OLIVIER SPIERS, entrepreneur de sondages, rue de la Basse-Cour, à Renaix;

LES CHARBONNAGES LIMBOURG-MEUSE, société anonyme, à Eysden (Mines); présentés par MM. Ch. Stevens et A. Grosjean.

Le Président félicite M. P. Fourmarier à l'occasion de sa nomination de membre correspondant de la Société géologique d'Amérique.

Le Secrétaire général annonce que la Société d'Acclimatation de France a octroyé sa grande médaille à M. Van Straelen et lui adresse les félicitations des membres de la Société.

Le Président attire l'attention sur l'ouvrage de M. H. Gignoux: *Géologie stratigraphique*, dont un exemplaire a été offert par l'auteur à la bibliothèque de notre Société.

Les membres de la Société sont informés que les excursions suivantes auront lieu : le samedi 23 mai, sous la direction de MM. Ch. CAMERMAN et G. MORTEMANS : Étude de quelques points nouveaux de la Tectonique du Tournaisis; le jeudi 28 mai, sous la direction de M. HACQUAERT : Étude de l'Éocène de la colline Saint-Pierre, à Gand. D'autre part, la session extraordinaire aura lieu sous les auspices de la Société géologique de Belgique, à Mons, du 19 au 22 septembre. Les excursions seront dirigées par M. MARLIÈRE, professeur à l'École des Mines de Mons. Un programme détaillé sera distribué sous peu.

Dons et envois reçus :

1° de la part des auteurs :

8940 *Asselberghs, E., Henke, W., Schriël, W. und Wunstorf, W.*
Ueber eine gemeinsame Exkursion durch die Siegener Schichten des Rheinischen Schiefergebirges und der Ardennen. Berlin, 1936, 47 pages et 6 figures.

- 8941 *Dangeard, L.* Atlas de France publié par le Comité national de Géographie. Planches n^{os} 24 et 25. Mers et côtes.
- 8942 *Borgniez, G.* Sur la possibilité d'existence de périodes à climat désertique dans la région centrale du Congo belge. Paris, 1933, 2 pages.
- 8943 *Borgniez, G.* Esquisse géologique de l'Oubangui-Chari occidental et des régions voisines. Saint-Étienne, 1935, 19 pages et 1 carte.
- 8944 *Bryan, K.* The formation of pediments. Washington, 1935, 11 pages.
- 8945 *Bryan, K.* Processes of formation of pediments at Granite Gap, New Mexico. 1936, 12 pages et 6 figures.
- 8946 *Corbin, P. et Oulianoff, N.* Carte géologique du Mont-Blanc (partie française) à l'échelle du 1 : 20.000^e. Feuille Talèfre avec notice explicative.
- 8947 *Davis, W. M.* Geomorphology of Mountainous Deserts. Washington, 1936, 12 pages.
- 8948 *Gignoux, M.* Géologie stratigraphique. Deuxième édition. Paris, 1936, 709 pages et 145 figures.
- 8949 *Grange, L.-I.* Rhyolite sheet flows of the North Island, New Zealand. Wellington, 1934, 11 pages et 6 figures.
- 8950 *Herlin, P. A.* Mathematical treatment of structure analyses according to the Debye Scherrer method. II. The hexagonal system. Lund, 1936, 27 pages.
- 8951 *Marwick.* The geology of the Wharekuri basin, Waitaki valley. Wellington, 1935, 20 pages et 8 figures.
- 8952 *Ongley.* Manawatu gorge. Wellington, 1935, 14 pages et 4 figures.
- 8953 *Palmqvist.* Ueber die Herstellung von kristallinischen Uranylammmoniumphosphat, $UO_2 \cdot NH_4 \cdot PO_4 \cdot 3H_2O$ durch Ausfällung in sauren Lösungen. Lund, 1936, 7 pages.
- 8954 *Palmqvist.* Ueber die quantitative Bestimmung von Phosphorsäure durch Ausfällung als Uranylammmoniumphosphat in stark ameisensauren Lösung. Lund, 1936, 8 pages.
- 8955 *Stevens, Ch.* Les déformations naturelles et récentes du sol belge. Bruxelles, 1935, 11 pages et 12 figures.
- 8956 *Williamson, J. H.* Quartz Lodes of Otarehua, Nenthorn and Macraes Flat, Otago. Wellington, 1934, 19 pages et 7 figures.
- 7192 *Torcelli, A. J.* Obras completas y correspondencia científica de Florentino Ameghino. Volumen XIX. Obras postumas y trucas. La Plata, 1935, 1,038 pages.

2° Nouveaux périodiques :

- 8957 *Bogota.* Boletín de Minas y Petróleo. N^{os} 49 à 54, 55 à 60, 63 à 65, 66, 67 et 72, 73 à 78 (1933-1935).

8958 *Porto*. Revista de chemica pure e applicada orgao da Sociedade Portuguesa de Quimica e Fisica. 3^e série, tome VII, n^{os} 3 à 4; tome VIII (1932), n^{os} 1 à 4; tome X (1935), n^{os} 1 à 4; tome XI (1936), n^o 1.

Communications des membres :

CH. CAMERMAN. — *Exposé préparatoire à l'excursion du 23 mai 1936, dans le Tournaisis.*

Le Houiller inférieur au Charbonnage d'Hautrage. Coupe du sondage d'Hautrage,

par X. STAINIER, Professeur à l'Université de Gand.

Le charbonnage d'Hautrage vient de terminer une série de recherches dont l'étude nous a fourni, pour la première fois, une coupe complète des assises de Châtelet et d'Andenne, et cela dans des conditions de régularité exceptionnelles, sur le bord Nord du bassin du Hainaut. J'ai tiré de cette coupe une stampe normale dont je vais donner la description détaillée, car elle pourra servir à compléter ou à rectifier les stamper incomplètes ou douteuses, par suite de la rencontre de failles normales, si fréquentes dans cette région.

Je suis heureux de pouvoir remercier ici M. Debilde, directeur-gérant du charbonnage, qui a gracieusement donné l'autorisation de publier ce travail, ainsi que MM. Culot, directeur des travaux, et Dardenne, ingénieur, qui n'ont épargné aucune peine pour me faciliter mes études. La description que je vais faire provient de l'étude du bouveau Sud au niveau de 620 mètres du puits d'Hautrage, éventuellement complétée par celle d'autres bouveaux, et aussi par le débitage des échantillons du bouveau Nord au même étage et du sondage intérieur qui a été pratiqué à son extrémité.

La planche où est figurée la stampe normale, jointe au présent travail, et la description de cette stampe sont faites exactement de la même façon et d'après les mêmes principes que ceux que j'ai suivis pour élaborer mon travail précédent ⁽¹⁾. J'ai utilisé sur la planche les mêmes signes conventionnels, et les lettres

(1) *Stratigraphie des assises inférieures du Bassin houiller du Hainaut*. Jumet, 1932, imp. P. Hosdain, in-4^o, 35 p., Atlas de 153 pl.

capitales, placées à côté des niveaux décrits, permettent de les synchroniser avec les niveaux de l'échelle type étudiée dans ce précédent travail, dont la note actuelle peut être considérée comme une suite.

DESCRIPTION DES DIVERS NIVEAUX DES FIGURES 1 ET 2

BOUVEAU SUD, ÉTAGE 620 MÈTRES.

Base de l'assise de Charleroi et sommet de celle de Châtelet.

1. VEINE n° 2. Son toit immédiat est du schiste très pyriteux, gris, passant au schiste psammitique, puis au psammite zonaire. Il n'est pas possible de raccorder cette veine avec les veines contemporaines des autres bassins, faute de caractères propres; mais en comparant la stampe d'Hautrage avec celles d'Havré et du Nord du Flénu (*op. cit.*, pl. 114 et 30), on voit que c'est bien au niveau de la veine n° 2 qu'il faut placer le sommet de l'assise de Châtelet. La stampe régulière d'Hautrage montre que les nombreuses cassures observées à Havré sont sans influence sur la stampe de ce charbonnage, contrairement à ce que j'ai cru jadis (*op. cit.*, pl. 114).

1bis. VEINETTES. La supérieure, à 415 mètres du puits, a, au toit, d'abord un banc dense, feuilleté, à rayure luisante avec joints tapissés, par places, de menus débris végétaux argentés et de fragments de coquilles mordorées. *Anthracomya minima*. Il passe à du schiste noir à rayure un peu brunâtre, conchoïdal, avec débris semblables plus rares. Puis schiste gris avec concentrations de sidérose.

2. VEINE n° 1. A ce bouveau et dans d'autres on trouve directement au toit de la veine du conglomérat à pâte grossière feldspathique, très quartzeuse, passant à du grès grenu. Une veine exactement semblable se montre dans les stampes citées d'Havré et du Nord du Flénu (à l'état de passée à Ghlin). A Hautrage le grès s'éloigne parfois de la veine et alors il s'amincit et devient du grès ordinaire. A Ghlin il est probable que la veine a été rongée par le grès (wash-out). C'est un cas fréquent. On voit si souvent sous les bancs de grès grenus des veines disparues par érosion de ce grès et dont il ne reste plus que le mur, que les mineurs belges ignorant ce phénomène et ses causes disent : « le grès fait son mur ».

3. VEINETTE à 360 mètres. Toit de schiste gris dur à cassure conchoïdale, avec nodules de sidérose pyritifère. Coquilles d'eau douce le plus souvent en débris.

4. VEINETTE à 342 mètres. Son toit est du schiste psammitique gris rempli de rosettes de pyrite. Quelques sporanges. Une coquille indéterminable.

5. VEINE n° 0 ou ITALIA. Au bouveau Nord à 460 mètres. Elle a au toit, et y adhérant, un banc de 0^m50 de schiste noir et doux, admirablement zonaire, avec rares nodules de sidérose et abondantes *Anthracomya* mordorées. Au-dessus, le schiste est gris, zonaire, psammitique et stérile. Au mur, il y a, à la base, un lit de charbon de 0^m10 reposant sur un lit de même épaisseur de quartzite du type gannister, mais sans radicules. Au bouveau Sud à 620 mètres. Il y a au toit immédiat un banc de faux-toit de 0^m15 noir très feuilleté.

6. VEINETTE à 228 mètres. Elle a au toit, et y adhérant, un banc de schiste noir grossier, pyriteux, bondé de débris végétaux macérés et de fusain, avec minces lits psammitiques très micacés. Je pense que c'est la même veinette qui passait, à 22 mètres du puits, au bouveau Nord à 520 mètres (venue d'eau), mais ce pourrait être la veinette inférieure, sur la stampe. Elle avait là, au toit, le même banc typique surmonté, à 0^m10, de schiste noir, doux, luisant, avec des noyaux ou des vermiculations de roche plus siliceuse, plus grossière, et de rares écailles de poisson. C'est le même type de roche à poissons que je connais depuis longtemps à ce niveau, dans la Basse-Sambre.

7. VEINETTE à 135 mètres. Son charbon est flabellé et au sommet il est très pyriteux et passe graduellement à du cannel-coal impur pierreux, à cassure parallépipédique et sonore. Au-dessus, lit de schiste dur, dense, gypsifère. Puis, brusquement, schiste gris, doux, feuilleté, avec lits de sidérose. Abondants débris indéterminables de coquilles d'eau douce. Une graine. La recherche de fossiles marins est contrariée par la présence d'un petit redoublement, au toit immédiat de la veinette. Le mur est du schiste tendre, à aspect scailleux, avec radicules rares. La Veine Sainte-Barbe de Floriffoux présentait, à Floriffoux, un mur semblable, par places.

8. VEINETTE à 115 mètres. Au toit, et y adhérant, un banc de 0^m02 à 0^m10 de schiste noir intense, feuilleté, à rayure grasse, avec lits et lentilles de schiste psammitique grossier, le tout pyriteux et gypsifère. Une écaille de poisson. Puis, brusquement, schiste gris, doux, avec lits de sidérose. A 0^m30, une contre-empreinte complète de *Vetacapsula* nouvelle. Elle res-côtés, et de l'extrémité du bec à celle du pédicule, un peu

semble un peu à *Vetacapsula Johnstoni*, mais porte, des deux recourbé, une carène ailée assez large. A 0^m70, un bel entomostracé dans du même schiste, plus pâle, zonaire. A 1^m90, on voit apparaître quelques radicules dans le schiste, puis à 2 mètres du grès noir très grenu, très quartzeux, pyriteux, à joints charbonneux, situé sous le mur de la veinette précédente.

9. VEINETTE à 99 mètres. Toit de schiste très fin, noir, doux, gypsifère, avec nodules discoïdes de sidérose. Abondants et petits débris végétaux. Une *Discina nitida* complète, mais minuscule, et un débris. *Lingula* minuscule. Entomostracé? Algues en pyrite terne.

10. SCHISTE. Au sommet du banc de grès, à 67 mètres du puits, on observe la curieuse formation suivante : grès psammitique extrêmement pyriteux, sulfatisé. Au-dessus, de 10 en 10 centimètres, on observe : *a*) Schiste psammitique noir à aspect ampélitique, très pailleté, très pyritifère et très gypsifère; *b*) Même roche finement zonaire se débitant en minces plaquettes. Cassure prismatique; *c*) Aspect ampélitique, noir, mat, intense, encore plus marqué. Arêtes vives, toucher très rude sur la tranche, rayure grasse. Givre de gypse; *d*) Même roche avec un lit très pyriteux; *e*) Idem, plus doux, feuilleté, pyriteux, gypsifère; *f*) De nouveau, ampélite rude et zonaire. Pas de gypse. Sonore; *g*) Idem, plus psammitique et un peu noduleux; *h*) Brusquement, schiste gris, doux, conchoïdal, rayure blanche. Un fragment bien caractérisé de *Discina*. Une grande écaille de poisson; *i*) Schiste doux, un peu zonaire, gypsifère. Pyritifère. *Posidoniella* aplaties assez nombreuses. Détermination douteuse. Ce pourrait être des *Anthracomya*, mais je penche pour l'origine marine; *k*) De 1 mètre à 1^m80 de la base : même roche, souvent gypsifère et pyritifère. Petits nodules noirs bizarres, par places, algues pyritisées, nodules de sidérose. Un lit plus psammitique. A 1^m90, même roche avec nodule avellanaire de pyrite et une coquille dont l'ornementation semble indiquer un fossile marin, mais elle est minuscule. Au-dessus, même roche sur plusieurs mètres. Cet ensemble de caractères me paraît indiquer indubitablement le niveau de la Veine Sainte-Barbe de Ransart (K). Celle-ci a au toit, souvent, un complexe identique et parfois même la veine elle-même est constituée (au puits Chaumonceau d'Amercéeur, par exemple) d'une roche ampélitique semblable, avec lits de charbon intercalés.

11. VEINETTE à 47 mètres. Toit de schiste noir feuilleté avec feuilles de Sigillaires et un coussinet de *Lepidodendron*.

Assise d'Andenne.

12. GRÈS. Sa base, à 29 mètres, est du grès vitreux, un peu grenu, avec petits cailloux de sidérose. Dans le puits n° 1 il y avait un autre lit de conglomérat au milieu du grès. J'assimile ce grès au Poudingue houiller supérieur (M), *H1c* de la Carte géologique. Il a tous les caractères du grès de ce niveau, mais le lit à gros grains de quartz porphyrique et à grains noirs fait défaut à la base, comme c'est le cas sur le bord Nord du bassin, à l'Ouest de la vallée du Piéton.

13. VEINETTE à 10 mètres. Au toit : schiste psammitique à grandes paillettes de mica. *Pterinopecten papyraceus*. Au-dessus, schiste plus doux alternant avec des lits psammitiques. Écailles de poisson et débris de *Lingula* jusqu'à 1^m20. Même roche au-dessus. A divers niveaux il y a de curieux lits avec tubulures remplies de psammite grenu (tubes de vers?). Yeux. Vagues débris d'entomostracés? Le mur est dur, psammitique, blanchâtre, rempli de cloyats. Tous ces caractères sont ceux de la Veine Sainte-Anne de Spy (N).

BOUVEAU NORD, ÉTAGE 620 MÈTRES.

14. VEINETTE à 9 mètres du puits. Toit de schiste noir-brun avec tiges de *Sphenopteris*, *Lepidophyllum lanceolatum*. Au-dessus schiste gris avec lits psammitiques. Débris végétaux. Le mur est très épais, avec des lits bistres intercalés dans du mur psammitique pâle.

15. GRÈS. De 15 à 53 mètres. Au sommet il est psammitique. On y voit des intercalations de grès grenu, vitreux. Joints de stratification stylolithiques. Il est plus grossier et à joints charbonneux à la base, mais il n'y a ni conglomérat ni poudingue houiller. Cependant, d'après sa position, ce grès doit représenter le niveau de poudingue houiller inférieur (P) d'Amercœur.

16. VEINETTE à 61 mètres. Au toit, du schiste noir intense bourré de lits de charbon pyriteux, de débris végétaux et de lentilles de pyrite. Débris de fusain; 0^m15. Au-dessus, schiste gris à cassure conchoïdale, bâtonnets de pyrite. Petits nodules de sidérose. Abondants lamellibranches marins. *Posidoniella*, *Lingula mytiloïdes*, abondantes et grandes; 0^m15. Puis schiste un peu bleuâtre. Pyrite amorphe. Fragment de Goniatite. Petites Lingules. Au-dessus, schiste avec des amas de lamelles de mica

et des lits psammitiques. Le mur est très tenace, gris cendré, pâle. Nombreux nodules de sidérose. Radicelles rares. Un *Stigmara* déchiqueté. Ce sont bien les caractères du niveau (Q). Sous ce mur il y a une passée dont le mur est brun chocolat, à surfaces comme vernies, avec de la sidérose oolithique à divers niveaux.

17. VEINETTE à 115 mètres. Son toit est du schiste psammitique avec bancs de psammite et de schiste gris doux alternant. Sur toute la hauteur, jusqu'au niveau précédent, on trouve des végétaux : *Calamites Cisti*. Pinnules de *Neuropteris*, *Asterophyllites*, *Palmatopteris* et surtout des *Cordaïtes*.

18. SCHISTE. De 143 à 150 mètres. Schiste gris, brunâtre ou bleuâtre, avec lits psammitiques. Rayure un peu brunâtre. *Lingula mytiloïdes*, *Pecten*, lamellibranches bivalves, écailles de poisson, opercule de *Coelacanthus*.

19. VEINETTE à 182 mètres. Au toit : schiste noir à rayure brunâtre. Petits nodules de pyrite. Lingules abondantes, *Discina nitida*, écailles de poisson, opercule de *Coelacanthus*. Au-dessus, schiste plus pâle avec les mêmes coquilles. Puis, schiste gris doux avec *Guillemites*, nodules et tubulures de pyrite : lingules. Mur un peu psammitique, bistre clair, passant au psammite, puis au grès. Sous ce grès il y a deux passées avec un mur de Gannister.

20. SCHISTE. De 248 à 253 mètres. Schiste gris doux avec nodules de pyrite. Yeux. Une écaille de poisson et une coquille marine.

Sondage intérieur. — Nous en donnons le relevé de terrains en annexe. Les profondeurs indiquées sont comptées à partir de l'orifice du sondage.

21. VEINETTE à 3^m05. Toit de schiste gris, doux. Mur psammitique bistré à radicelles rares, passant au psammite zonaire.

22. VEINE à 9^m20. Toit de schiste gris avec grandes radicelles. *Cordaïtes*. Mur psammitique brun foncé passant au mur plus pâle, bistre foncé, avec joints vernis. Au-dessous, alternance continue de lits de mur psammitique avec radicelles transversales et de lits schisteux avec plantes de toit. Au dessous, roches fortement imprégnées de sidérose, très denses.

23. PASSÉE à 34^m55. Au mur, un banc de 0^m40 de psammite grossier avec empreintes charbonneuses et lits gréseux calca-

reux. Puis, 0^m95 de macigno gris, très tenace, traces de radicelles noires, puis psammites bruns à végétaux hachés. *Stigmaria* à la base. On passe à du mur psammitique à lits gréseux. Au toit : 0^m10 de calcaire gris siliceux, tenace, marbré de gris foncé. Crinoïdes rares et petits. Sections de fossiles en calcite. Puis, 0^m05 de schiste gris clair avec taches luisantes. Puis, schiste très noir ampélitique, rayure grasse. *Asterocalamites*, *Goniatites*, *Posidoniella*. Puis, schiste doux moins foncé : *Lingula*, tubes de *Productus*, lamellibranches. *Pecten*, *Lingula*, *Ctenodonta*.

24. VEINE à 56^m20. Mur très rudimentaire, formé d'abord d'un banc de psammite noir, sans radicelles, puis de psammite zonaire à radicelles rares. Un *Stigmaria* rudimentaire. Au toit, d'abord un banc de 0^m30 de schiste avec lits calcaires. Au-dessus, sur 10 mètres, schiste noir parfois un peu bleuâtre, fossilifère de haut en bas. Faune riche et variée : *Productus*, *Lingula*, *Edmondia*, *Ctenodonta*, *Orthoceras* assez fréquent, *Goniatites*, *Bellerophon*. *Pecten*, entomostracés. Fossiles à test conservé.

25. PASSÉE à 74 mètres. Au toit, un banc de 0^m25 de psammite grossier, avec débris de charbon et lits gréseux noduleux. Végétaux hachés. Au-dessus, sur 3 mètres, schiste gris, doux, psammitique, vers le bas, avec fragments de *Goniatites* et de coquilles indéterminables. Mur tendre lamellaire, bistre, à surfaces vernies, mais sans radicelles. Puis, brusquement, psammite à radicelles hachées. Au-dessous, mur schisteux normal.

26. VEINETTE à 83^m25. Au toit, du schiste noir intense, à rayure brune. Nombreux lamellibranches. *Productus* pyritisés. Tubes filiformes. Puis, schiste psammitique avec lits de schiste noir, riche en débris de lamellibranches à aspect de *Carbonicolidae*, mais fragmentaires. *Productus carbonarius* très abondant, *Paralledodon tenuistria* abondant, *Edmondia sulcata* abondante, *Loxonema* pyritisé, *Naticopsis* et *Discina* rares. Articles de crinoïdes épars. A 3^m25, un *Septaria* gris clair cloisonné : 0^m15. Au-dessus, calcaroschiste avec lits calcaires blanchâtres intercalés. Fossiles très abondants, les mêmes que ci-dessus, avec, en plus : *Hyolithes*, *Pecten*. Au-dessus, schiste noir un peu bleuâtre, doux, sidéritifère, fossilifère, jusqu'à 6 mètres de la veinette. Petits nodules de pyrite, empreintes végétales en pyrite terne. Même faune.

27. SCHISTE. De 88 à 89 mètres. Schiste à aspect phylladeux. Nodules de pyrite bizarres. Débris de lingules, algues pyritisées. *Lepidophyllum lanceolatum*.

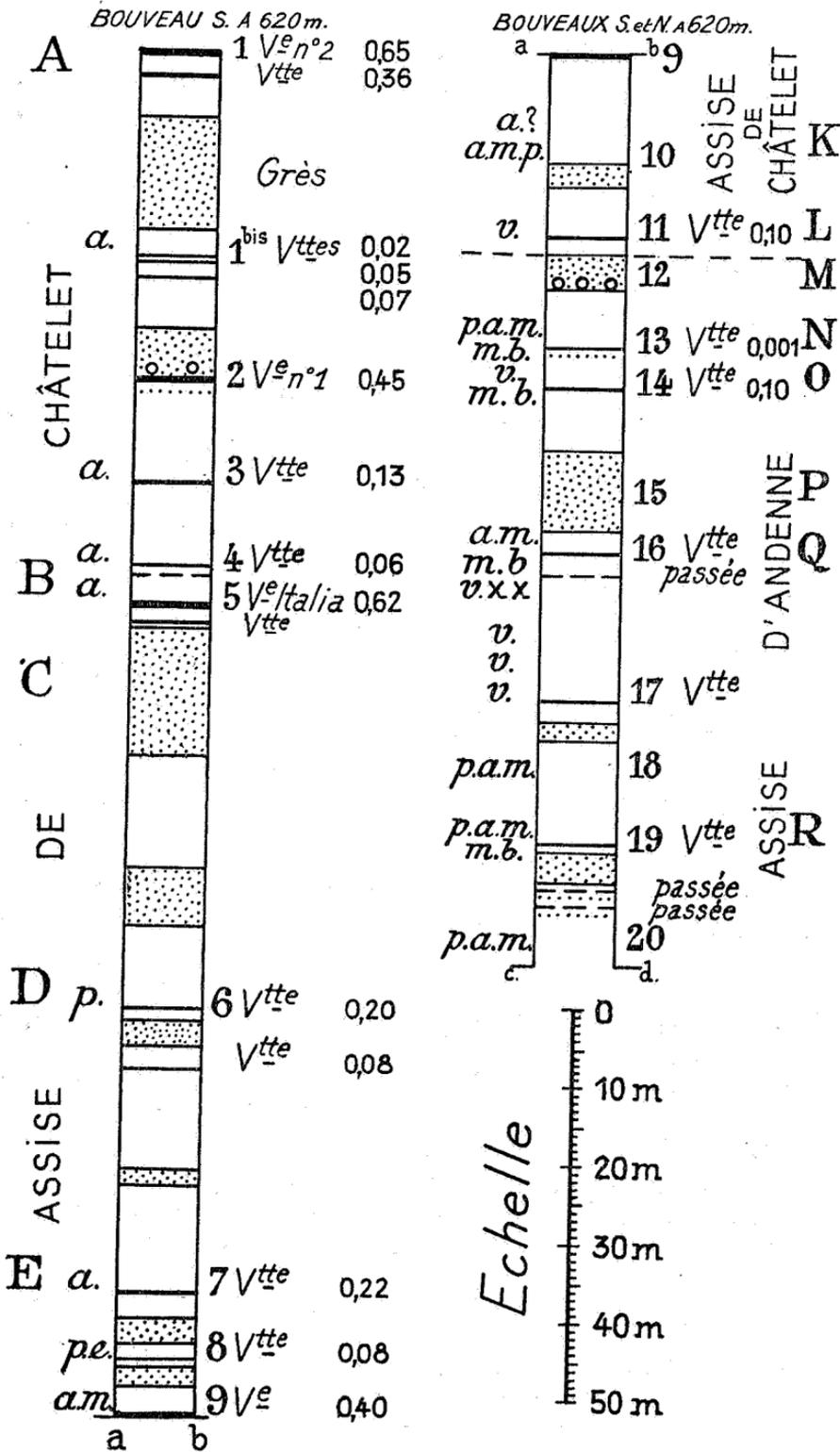


FIG. 1.

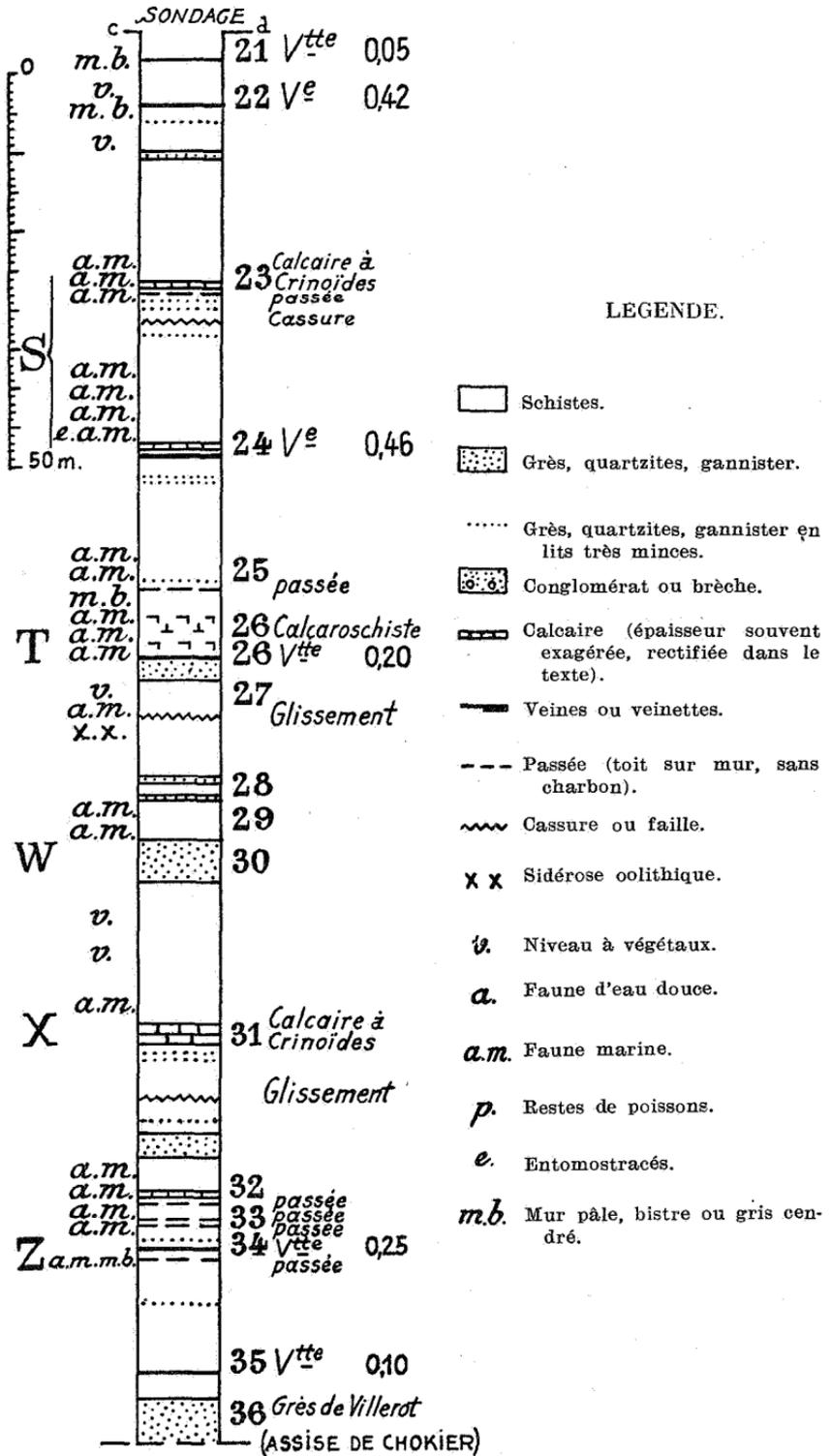


FIG. 2.

28. GRÈS. A 98 mètres, un banc de 0^m80 de psammite à nodules gréseux. Puis, 0^m50 de schiste à végétaux hachés; puis 0^m20 de quartzite vitreux, zoné de grès.

29. SCHISTE. De 102^m50 à 106^m50. Roche très fine, douce, dense, passant, en descendant, au schiste psammitique et, à la base, au schiste psammitique zonaire à joints charbonneux. Crinoïdes épars. *Productus* à test conservé, rares. Très rares petits gastéropodes, *Pecten*, *Edmondia*, *Lingula*. Un *Reticuloceras*.

30. GRÈS DE SALZINNE. De 106^m50 à 110 mètres. Grès gris, tenace, passant au quartzite noir. Je l'assimile au Grès de Salzinne de la Basse-Sambre.

31. CALCAIRE A CRINOÏDES. De 131 mètres à 133^m55. Calcaire à crinoïdes gris pâle, d'abord très pur et bourré de crinoïdes de toutes tailles. En descendant il devient rubané, sans crinoïdes, à aspect siliceux ou dolomitique, pyritifère. Puis on voit apparaître des intercalations psammitiques dans du calcaire gris à grain fin, à rares crinoïdes. Au bas, psammites noduleux calcaireux. Au-dessus, schiste avec un lamellibranche marin, et plus haut, *Calamites*, *Lepidophyllum lanceolatum*, feuilles de Sigillaires. Pyrite cristallisée.

32. PASSÉE à 155^m15. Mur psammitique noir. Un *Stigmaria* avec appendices : 0^m25. Au-dessous, schiste feuilleté noir avec radicelles à structure concentrique. Au toit : 1^m56 de mur noir, pesant, pyritifère, avec radicelles hachées et disposées à plat d'abord, puis plus grandes et plus transversales. Au bas, joints noirs charbonneux. Au-dessus de ce mur, un banc de 0^m04 de pyrite cristallisée à aspect bréchiforme. Au-dessus : 0^m20 de schiste noir intense à rayure grasse et brune. Givre de pyrite, algues en pyrite terne. Spicules? Fossiles écrasés et mordorés. Au-dessus : 0^m14 de calcaire impur, schisteux, bondé de sections de fossiles aplatis (lumachelle). *Orthis*, crinoïdes. Au-dessus, un lit de 0^m01 de psammite grossier, schisteux, avec une grande lingule. Puis, 3 mètres de schiste doux avec coquilles minuscules, lingules et un *Bellerophon*.

33. PASSÉES. La passée supérieure, à 156^m75, a un mur extraordinaire. C'est du schiste feuilleté noir, très doux, parcouru, sur les joints, par des radicelles extraordinaires, bifurquées, à surface granuleuse. Un débris de lingule. Au-dessous, grès psammitique avec rares radicelles hachées. Au-dessus de la passée : 0^m75 de schiste noir, sonore, à rayure brune. Nombreux

nodules de pyrite. Algues en pyrite terne. Un débris de crustacé? Entomostracés ou sporanges écrasés, minuscules. Lingules. Givre de pyrite.

34. VEINETTE à 159^m30. Son toit est le mur de la passée inférieure avec *Stigmaria* à appendices et radicelles bifurquées. Entre la veinette et sa passée de mur on voit d'abord du schiste noir feuilleté à rayure grasse, bondé de débris bizarres de radicelles. *Stigmaria*. Puis, schiste feuilleté, sonore, avec quelques grandes radicelles, au milieu desquelles on voit des coquilles aplaties ressemblant à des *Anthracomya*. Puis, du schiste feuilleté avec radicelles à structure concentrique. Sous la passée, mur gris cendré, gréseux.

35. VEINETTE à 175^m90. Toit de schiste gris, doux, zonaire, givré de pyrite. On n'a pas eu d'échantillon du mur, mais il contenait un lit de 0^m20 de pyrite massive très pure. Au-dessous, schiste feuilleté noir, à rayure luisante, avec radicelles trifurquées. Cette roche prend, en descendant, les caractères de l'ampélite, puis elle alterne avec des lits psammitiques.

Assise de Chokier.

36. GRÈS DE VILLEROT. A 178^m65. Quartzite noir extrêmement tenace, avec intercalations ampélitiques ou psammitiques. Bancs présentant une admirable stratification finement zonaire, si caractéristique du Grès de Villerot, comme on peut le voir dans les carrières où il affleure, au Nord du sondage.

EXPLICATION DES FIGURES 1 ET 2.

a. Fossiles d'eau douce. — *a.m.* Fossiles marins. — *v.* Végétaux. — *e.* Entomostracés. — *p.* Restes de poissons. — *x.x.* Sidérose oolithique. — *m.b.* Mur bistre ou cendré. — Les chiffres à droite de chaque niveau renvoient à la description de ces niveaux dans le texte.

ANNEXE

COUPE DU SONDAGE INTÉRIEUR D'HAUTRAGE

Le sondage a été pratiqué à la grenaille d'acier, à l'extrémité du bouveau Nord, étage de 620 mètres du puits d'Hautrage, soit à 258 mètres de ce puits. Entrepreneur: la firme Foraky de Bruxelles.

Cote de l'orifice : Absolue : — 590^m38. Par rapport à l'orifice du puits : 615^m78.

N ^{os}	DESCRIPTIONS DES ECHANTILLONS.	Epais- seur.	Profond. finale.
Assise d'Andenne.			
1.	Schiste gris doux; cassure conchoïdale; zones brunes; petites lentilles de sidérose. Incl. : 23°	1,25	3,05
	Passée de terre noire	0,05	3,10
2.	Mur de schiste psammitique gris un peu bistré, radicules très rares; très tenace. On passe au psammite un peu zonaire, de même teinte. Incl. : 23°	1,50	4,60
3.	Psammite zonaire, devient graduellement plus tendre. Végétaux hachés. Quelques grandes radicules... ..	1,30	5,80
4.	Schiste psammitique zonaire gris. Joints luisants. Encore quelques rares radicules. Lits de sidérose.	1,50	7,30
5.	Psammites schisteux, même teinte. Encore quelques rares radicules. Stratifications entrecroisées. Joints lustrés. Petits végétaux hachés. <i>Cordaites</i> assez abondants par places. Végétaux charbonneux et pyriteux	1,25	8,55
6.	Schiste gris un peu psammitique. Quelques grandes radicules; zonaire. Lit sidéritifié. <i>Cordaites</i>	0,65	9,20
	<i>Veine de 0^m42</i> . Cendres : 6,80 %. Mat. vol. : 14,80 %.	0,42	9,62
7.	Mur psammitique très dur, brun foncé 10 cm., puis, mur plus tendre, un peu psammitique bistre, un peu foncé. Joints comme vernis. Le mur devient de plus en plus tendre, puis noircit. Encore des joints vernissés	0,73	10,35
8.	Psammite zonaire. Encore quelques radicules. Quelques lits schisteux avec nombreuses radicules intercalées. Cloyats; alternance continue de lits schisteux avec plantes de toit, à plat, et de lits psammitiques avec radicules transversales.		
	A 11 ^m 50 : quelques lits gréseux. <i>Stigmaria</i> avec appendices attachés... ..	1,15	11,50
9.	Schiste psammitique gris, feuilleté. Joints luisants par places. Zonaire par endroits avec lits plus psammitiques. Givre de pyrite sur les joints. Toutes les roches sont imprégnées de carbonate de fer et ont une forte densité. Certains joints sont comme gaufrés et luisants, mais sans frottement.		
	A 13 ^m 80 : le schiste devient plus doux, feuilleté. Lits de sidérose. Encore quelques lits psammitiques et même gréseux.		

Nos	DESCRIPTIONS DES ECHANTILLONS.	Epais- seur.	Profond. finale.
	A 14 ^m 40 : petit banc de psammite grossier avec végétaux hachés. Diaclase verticale, parallèle à l'inclinaison des couches. Joints lustrés. Givre de pyrite.		
	A 15 ^m 90 : la roche devient plus psammitique	4,90	16,40
10.	Grès gris à grain fin, sidéritifère; au bout de 40 cm. il devient zonaire. Givre de pyrite	0,65	17,05
11.	Schiste un peu psammitique, bien feuilleté, doux. La même diaclase continue toujours. Petits débris végétaux. On passe rapidement à un schiste psammitique zonaire. La diaclase disparaît. Feuilles de Sigillaires. A partir de 18 ^m 10 : lits de sidérose avec joints pyriteux. Le schiste est plus noir, plus doux. Cassure un peu conchoïdale. Végétaux hachés. Incl. : 22°	3,55	20,60
12.	Schiste noir doux, feuilleté. Cassure un peu conchoïdale. Incl. : 20°	0,55	21,15
13.	Psammite schisteux zonaire. Débris de végétaux hachés. A 22 ^m 80, on passe au schiste psammitique zonaire. Joints pyriteux. Végétaux hachés plus abondants. Diaclase presque verticale, perpendiculaire à l'inclinaison, se terminant à 24 ^m 50. A 24 ^m 90 : diaclase perpendiculaire à la direction et inclinant à l'Est. A 25 ^m 50 : intercalation de psammite schisteux. Végétaux hachés. A 29 ^m 00 : diaclase inclinée à 70°. Pente des stratifications : 20°	8,15	29,30
14.	Schiste gris doux, dur. Diaclase verticale. Le schiste redevient psammitique. A 32 ^m 50 : le schiste redevient doux. La diaclase continue. Joints de stratification polis. <i>Productus</i> et lamellibranches marins. <i>Calamites</i> avec enduit de pyrite terne. Plusieurs diaclases se croisant. <i>Ctenodonta</i> assez abondants. Nodules de sidérose. <i>Pecten</i> . <i>Lingula mytiloïdes</i> . Tubes de <i>Productus</i> . Nodules de sidérose bizarres. A partir de 34 ^m 00, le schiste devient très noir, à rayure brune, pailleté; aspect d'ampélite. <i>Asterocalamites</i> . Débris de <i>Goniatites</i> indéterminables. <i>Posidoniella</i> . Incl. : 25°.	5,10	34,40
15.	Un petit banc non feuilleté de schiste gris clair, avec petites taches luisantes, comme vernissées. Ce n'est ni du toit, ni du mur	0,05	34,45
16.	Calcaire extrêmement siliceux, très tenace, gris blanchâtre, marbré de gris foncé. Crinoïdes rares et très petits; sections de fossiles en calcite	0,10	34,55

Nos	DESCRIPTIONS DES ECHANTILLONS.	Epais- seur.	Profond finale.
17.	Psammite grossier, noir-brun, avec empreintes végétales un peu charbonneuses, avec intercalations de lits gréseux calcareux	0,10	34,65
18.	Macigno gris extrêmement tenace. Trace de radicules noires. Intercalations de psammites bruns avec végétaux hachés. <i>Stigmaria</i> à la base. On passe au mur psammitique brun	0,95	35,60
19.	Psammite zonaire avec radicules. Lits gréseux	0,20	35,80
20.	Schiste psammitique zonaire noir. Végétaux hachés. Encore quelques rares radicules. Bancs gréseux intercalés	1,60	37,40
21.	Schiste noir doux, rayure brunâtre, un peu zonaire. Grande <i>Posidoniella</i> . Pyrite amorphe. Végétaux hachés	0,40	37,80
22.	Schiste psammitique. Lits de sidérose. Le schiste devient zonaire. Lits un peu gréseux, blanchâtres. Diaclyse avec stries horizontales. La roche devient escailleuse, avec joints de stratification polis et laminés	0,50	38,30
	Perte de carotte	1,90	40,20
24.	Psammite zonaire, gréseux, gris, régulier; devient rapidement zonaire. Passe au schiste psammitique zonaire. Incl. : 20°	0,40	40,60
	Perte de carotte	0,40	41,00
26.	Schiste psammitique, zonaire, noir. Aspect phylladeux. Lits de sidérose. Les roches sont très denses. Diaclyse fortement inclinée. Plus bas, encore plusieurs diaclyses parallèles très inclinées. Lits lenticulaires de sidérose très pure		
27.	Schiste noir dense, un peu zonaire. Diaclyses fort inclinées. Cassure conchoïdale	4,10	45,10
	A partir de 47 ^m 30, tubes de <i>Productus</i> . <i>Bellerophon</i> . <i>Lingula mityloïdes</i> minuscules à 47 ^m 80. Yeux.		
	A 48 ^m 30 : tubes de <i>Productus</i> .		
	Perte de carotte : 48 ^m 50 à 49 ^m 50.		
	A 49 ^m 50 : <i>Edmondia</i> .		
	A partir de 49 ^m 50, le schiste devient plus mat et les fossiles plus abondants. Teinte un peu bleuâtre.		
	A 49 ^m 70 : un morceau de <i>Productus</i> .		
	A 50 ^m 00 : <i>Bellerophon</i> .		
	A 50 ^m 30 : <i>Orthoceras</i> .		
	A 50 ^m 40 : <i>Orthoceras</i> plus grand. Quelques bancs durs, psammitiques. Très nombreux fossiles, mais déchiquetés. Incl. : 15°	3,40	48,50

Nos	DESCRIPTIONS DES ECHANTILLONS.	Epais- seur.	Profond. finale.
28.	Schiste plus doux, feuilleté, à rayure plus claire. Lits de sidérose.		
	A 51 ^m 50 : <i>Orthoceras</i> . Quelques diaclases avec glissement.		
	A 52 ^m 80 : <i>Ctenodonta</i> . Diaclases nombreuses. <i>Orthoceras</i> fréquents. Petits nodules de pyrite.		
	A 54 ^m 20 : petits débris de <i>Goniatites</i> et de <i>Bellerophon</i> .		
	A 54 ^m 60 : morceau de <i>Goniatites</i> .		
	A 55 ^m 00 : cassure locale avec un léger rejet; joints de stratification montrant une petite queuwée. Le rejet est très faible, car la même roche continue. Débris d' <i>Orthoceras</i> ; puis, les joints de stratification sont polis et striés. Au-dessous (55 ^m 10), même roche avec une <i>Goniatite</i> bien conservée, puis d'autres.		
	A 55 ^m 20 : <i>Edmondia</i> .		
	A 55 ^m 40 : une <i>Goniatite</i> (?), un <i>Productus</i> .		
	A 55 ^m 60 : <i>Productus</i> , <i>Edmondia</i> . Colonnes très grêles de crinoïdes.		
	A 55 ^m 70 : un article de crinoïde. Par endroits, lits écrasés, mais la même roche continue, toujours très fossilifère. Entomostracés. Fossiles pyritisés. Ensuite, nombreux fossiles à test conservé jusqu'à la veine.		
	A 56 ^m 20 : énormes <i>Productus semireticulatus</i> avec un <i>Pecten</i> bien conservé	7,40	55,90
28 ^{bis} .	Schiste avec intercalations de lits calcaires. Incl. :		
	17°	0,30	56,20
	Veine de 0 ^m 46. M. v. 14,63; C. 4,2	0,46	56,66
29.	Psammite noir sans aucun débris. Incl. : 16°	0,34	57,00
	Perte de carotte	0,30	57,30
30.	Psammite zonaire schisteux. Quelques radicules. Diaclases à stries horizontale. On passe au schiste psammitique. Un <i>Stigmaria</i> rudimentaire. Incl. : 16°	1,00	58,30
31.	Schiste doux un peu psammitique, un peu zonaire. Nombreuses diaclases parallèles. <i>Guilelmites</i> .		
	A 60 ^m 80 : la roche passe au schiste psammitique zonaire à zones gréseuses.		
	A 62 ^m 60 : le schiste devient encore plus fin et plus psammitique.		
	A 64 ^m 80 : Œil. Incl. : 15°	6,50	64,80
32.	Schiste doux pailleté. Cassure conchoïdale, très dense.		
	A 67 ^m 00 : devient plus fin. Incl. : 16°.		

Nos	DESCRIPTIONS DES ECHANTILLONS.	Epais- seur.	Profond. finale.
	Puis gris doux à cassure conchoïdale. Rayure très pâle. Diaclases.		
	A 70 ^m 00 : joint de stratification poli et glissé.		
	A 71 ^m 00 : coquille minuscule, indéterminable. Lits de sidérose.		
	A 71 ^m 40 : débris de coquilles indéterminables.		
	A 72 ^m 00 : fragment de Goniatite.		
	A 72 ^m 40 : fragment de Goniatite.		
	A la base, le schiste devient psammitique, un peu grossier, noduleux par places. Nodules de sidérose. Végétaux hachés charbonneux. Lits gréseux un peu noduleux	8,95	73,75
33.	Psammite grossier avec débris de charbon et lits de grès très durs, cristallins. Incl. : 20°	0,25	74,00
34.	Brusquement, mur tendre, à texture lamellaire, rempli de joints simulant des joints de glissement, à surface comme vernissée. Teinte bistre. La roche est friable et tombe en morceaux. Aucune radicelle (échantillon). Au sommet, joints comme polis ...	0,20	74,20
35.	Brusquement, psammite grossier, tendre, brun foncé, radicelles hachées, transversales, devenant plus fin en descendant. On passe au mur psammitique normal. Diaclases	0,60	74,80
36.	Mur schisteux normal, noir. Diaclases verticales, parallèles à l'inclinaison. Grandes radicelles vers 75 ^m 80... ..	1,00	75,80
37.	Schiste noir, un peu bleuâtre, non feuilleté, cassure conchoïdale. Par places il devient très fin et doux et par places il est très sidéritifère.		
	A 77 ^m 00 : <i>Productus carbonarius</i> avec test, dans une roche calcaireuse. <i>Posidoniella</i> . Empreintes végétales en pyrite terne.		
	A 77 ^m 10 : lamellibranches.		
	A 77 ^m 15 : tubes de <i>Productus</i> . Zones blanches calcaireuses (calcaroschiste).		
	De 77 ^m 80 à 78 ^m 70 (n° 62) : schiste dur très calcaireux, avec lits de calcaire gris schisteux et intercalations de schiste noir feuilleté. A la base, un banc de 0 ^m 15 de calcaire gris pâle très dur, conchoïdal, avec veines blanches étoilées (<i>Septaria</i>). <i>Productus carbonarius</i> très abondant. <i>Lingula</i> , <i>Discina</i> , <i>Parallelodon tenuistria</i> , <i>Pecten</i> , <i>Edmondia</i> , <i>Hyalithes</i> .		
	De 78 ^m 70 à 80 ^m 00 (n° 63) : schiste psammitique parfois zonaire, alternant avec des lits plus doux, plus noirs, où les lamellibranches à aspect de <i>Carbonicolidae</i> sont abondants, mais fragmentaires. <i>Productus carbonarius</i> très abondant. <i>Parallelodon</i>		

Nos	DESCRIPTIONS DES ECHANTILLONS.	Epais- seur.	Profond. finale.
	<p><i>tenuistria</i> abondant. <i>Loxonema</i> pyritisé. <i>Naticopsis</i> rare. <i>Discina</i> rare. <i>Edmondia sulcata</i> abondante, parfois bivalve. Articles de crinoïdes rares.</p> <p>De 80^m00 à 80^m70 : le calcaire disparaît; fossiles encore abondants.</p> <p>De 80^m70 à 83^m25 (n° 65) : schiste devenant noir intense, à rayure brune, avec lits plus durs, zonaires, et un lit calcareux pâle. Nombreux lamel-libranches, surtout <i>Edmondia</i> et <i>Parallelodon</i>. Fragment d'<i>Aviculopecten</i>. Nombreux tubes fili-formes luisants de <i>Productus</i>. <i>Productus carbonarius</i> pyritisés. Incl. : 15° 7,45 83,25</p> <p>Veinette de 0^m20. M. v. 13,83; C. 5,3 0,20 83,45</p>		
38.	<p>Perte de carotte. Le mur immédiat manque. Grès un peu zonaire, extrêmement dur, sans traces de radicelles, blanchâtre. Empreintes charbonneuses. Diaclase fort inclinée. En descendant, le grès devient plus foncé 2,40 85,85</p>		
39.	<p>Brusquement, schiste noir, doux, feuilleté, avec nombreuses diaclases à stries horizontales. La roche est très fissurée et l'on a ramené peu d'échantillons. <i>Ichthyodorulithe</i> (?).</p> <p>A 86^m60 : le schiste devient très tendre, très fracturé. Diaclases nombreuses. Traces de fossiles. Yeux. En descendant, le schiste devient à cassure conchoïdale, dense.</p> <p>A 88^m00 : <i>Lepidophyllum lanceolatum</i>. Le schiste est devenu extrêmement feuilleté et luisant, à aspect phylladeux.</p> <p>A 88^m30 : algue pyritisée.</p> <p>A 88^m50 : débris de <i>Lingula mityloïdes</i>.</p> <p>A 89^m50 : le schiste devient plus gris. Yeux très abondants. Diaclases. Stratifications régulières. Cloyats. Nodules de pyrite cristallisée, de forme bizarre.</p> <p>A 90^m00 : on commence à voir apparaître des lits comme laminés. Les roches deviennent très pâles, altérées. Plusieurs diaclases verticales, à stries horizontales. Au voisinage de la cassure, joints obliques, peu inclinés, mais la face inférieure, est un joint de stratification poli et strié 4,85 90,70</p>		
40.	<p>Dérangement : les premiers centimètres sont des schistes laminés, scailleux, avec nodules de sidérose à plat. Nombreux joints de glissement très peu inclinés. Au-dessous de 90^m90, 6 à 7 cm. de brèche de faille; remplissage de cailloux anguleux de schiste dans une pâte de schiste scailleux, com-</p>		

N ^{os}	DESCRIPTIONS DES ECHANTILLONS.	Epais- seur.	Profond. finale.
	pris entre deux couches de schiste en place, fracturé par des crevasses en tous sens, remplies par du schiste scailleux	0,40	91,10
41.	Schiste gris doux, avec des yeux, identique au schiste supérieur au dérangement. Celui-ci paraît être un simple glissement horizontal. Diaclase verticale, puis fortement inclinée. Yeux toujours très abondants. Très petits débris végétaux. Lits de sidérose. A 92 ^m 10 : un joint de stratification poli et strié. Audessous, un glissement oblique incliné à 45°, sans déplacement des lèvres. Roches saines au voisinage. Incl. : 12°	1,70	92,80
42.	Même roche, mais avec intercalations minces de schistes psammitiques bruns. Devient zonaire. Lits de sidérose. Les débris végétaux sont beaucoup plus abondants	0,55	93,35
43.	Schiste psammitique, un peu noduleux par places, rempli de lits et de lentilles de sidérose parfois oolithique. Lamelles de mica; puis on voit apparaître des lentilles gréseuses. <i>Cordaites</i> en pyrite terne. Lits de psammite zonaire. Diaclases très inclinées. Très petits débris végétaux. Passe au psammite zonaire gris	2,05	95,40
44.	Schiste psammitique doux, encore un peu zonaire, avec des lits plus psammitiques. Végétaux hachés. Cassure conchoïdale. A 98 ^m 00, on voit apparaître des lentilles de grès et de psammites.	2,60	98,00
45.	Psammite gréseux, zonaire, avec petits nodules de grès de forme bizarre, faisant saillie sur les joints. On passe assez rapidement au psammite zonaire à joints noirs très micacés. Toujours noduleux. Diaclases fort inclinées	0,50	98,50
46.	Schiste doux à cassure conchoïdale. Joints couverts de végétaux hachés. Quelques lits psammitiques par places	0,50	99,00
47.	Grès quartzeux gris, zonaire, avec empreintes charbonneuses. Lits de quartzite vitreux	0,20	99,20
48.	Schiste psammitique à végétaux hachés, zonaire. Diaclase fort inclinée. Joints de glissement obliques avec givre de pyrite. A partir de 101 ^m 60, le schiste devient plus fin. Incl. : 15°	2,50	101,70
49.	Schiste gris doux, à cassure conchoïdale. A 102 ^m 00 : le schiste devient plus fin encore. Incl. : 8 à 9°	0,80	102,50

Nos	DESCRIPTIONS DES ECHANTILLONS.	Epais- seur.	Profond. finale.
50.	Schiste très doux, feuilleté, dense, cassure conchoïdale. Diaclases obliques. Feuilles de Sigillaire. De 104 ^m 25 à 106 ^m 50 (n° 81) : schiste psammitique très dur, gris, avec lits plus psammitiques renfermant des crinoïdes épars, parfois en petits amas. <i>Productus</i> à test conservé. Très rares petits gastéropodes. Un <i>Reticuloceras</i> . <i>Pecten</i> , <i>Edmondia</i> , <i>Lingula</i> . A la base : 0 ^m 20 de schiste psammitique zonaire en fines plaquettes, avec joints couverts de plantes charbonneuses. Puis, brusquement, 0 ^m 10 de quartzite gris brunâtre, avec veines de quartz. Incl. : 8 à 9°	4,00	106,50
51.	Grès gris à grain fin extrêmement tenace. Diaclase verticale; passe, à 107 ^m 25, au quartzite noir, qui devient zonaire. Marbrures diverses, puis, vers 110 ^m 00, le quartzite devient blanc. Incl. : 9°. 3 ^m 20 de carotte à la base	6,70	113,20
52.	Schiste gris doux, assez feuilleté. Feuilles de Sigillaire. <i>Calamites</i> , puis schiste gris dur à cassure conchoïdale. Devient zonaire et psammitique par places. A 114 ^m 90 : le schiste redevient plus doux. Nombreux nodules de pyrite cristallisée. Pas de fossiles. A 116 ^m 30 : diaclase très inclinée. Cassure conchoïdale. Une empreinte charbonneuse. A 119 ^m 00 : <i>Lepidophyllum lanceolatum</i> . A 121 ^m 00 : diaclase verticale. A 121 ^m 70 : diaclase oblique. A 123 ^m 00 : lits couverts de végétaux hachés. A 124 ^m 00 : pellicules de charbon. A 124 ^m 20 : joint de stratification poli et strié. La roche est extrêmement régulière dans toute cette passe. Les joints continuent à être couverts de végétaux hachés. A 127 ^m 00 : diaclase verticale avec stries horizontales. De temps en temps, un joint de stratification poli et strié. A 128 ^m 20 : une diaclase très inclinée. A 130 ^m 50 : un lamellibranche marin. A 131 ^m 00 : petit glissement dans une stratification dérangée. Incl. : 10°	17,80	131,00
53.	Calcaire à crinoïdes gris pâle, très pur, bourré de crinoïdes. Très peu de pâte. Certains petits amas de calcaire noir sans crinoïdes. Diaclase. A la base, calcaire sans crinoïdes, rubané, à aspect plutôt dolomitique, siliceux, pyritifère	1,05	132,05

Nos	DESCRIPTIONS DES ECHANTILLONS.	Epais- seur.	Profond. finale.
100.	Calcaire gris à grain fin, à crinoïdes, alternant avec des psammites calcaireux, pyritifères, avec rares crinoïdes, et du schiste calcaireux. Cassure conchoïdale. Roche très pyriteuse. Diaclases pyriteuses. Quelques grandes lamelles de crinoïdes. Grande diaclase verticale. Vers le bas les roches deviennent psammitiques, noduleuses, avec de petits lits de grès calcaireux. Traces de sections de fossiles. Incl. : 0° ou à peu près	1,50	133,55
101.	Psammitite zonaire avec des lits gréseux et schisteux alternants, à joints micacés, pétris de débris végétaux. En descendant, la roche devient schisteuse. A 134 ^m 85 : on voit réapparaître des lits gréseux et de nombreux végétaux hachés. A partir de 135 ^m 85 : on passe au schiste psammitique zonaire. Nombreux végétaux hachés pyritisés. Nombreuses diaclases presque verticales, vers 137 ^m 00	5,85	139,40
102.	A partir de 139 ^m 40 : nombreuses diaclases avec stries horizontales; joints de stratification polis. Les roches deviennent friables. Quelques-unes de ces diaclases ont un léger rejet. Le passage à la roche précédente est absolument graduel, mais rapide. La roche actuelle est un schiste beaucoup plus tendre, plus doux, moins psammitique. Vers 139 ^m 90 : un lit très fracturé, très friable, horizontal (5 à 6 cm.). Au-dessous, on revoit le même schiste psammitique qu'au-dessus de la cassure, avec encore des lits très fracturés, mais sur place. Par places, de très légers plissements. Il y a une combinaison de cassures verticales ou horizontales, de faible importance, avec des cassures obliques à stries horizontales. Le rejet total est probablement insignifiant. Quelques légères inclinaisons par places. Au-dessous de 140 ^m 15 : les roches sont plus régulières, car il n'y a plus que les grandes cassures obliques à stries horizontales. Néanmoins, les roches sont friables et beaucoup de joints de stratification sont polis. On reste toujours dans la même roche. Schiste psammitique à végétaux hachés plus durs. Certaines diaclases montrent à la fois des stries horizontales et verticales. A 141 ^m 65 : on est dans du schiste psammitique zonaire régulier, presque horizontal. De ci de là, diaclases très inclinées, non polies ni striées. On		

Nos	DESCRIPTIONS DES ECHANTILLONS.	Epais- seur.	Profond. finale.
	<p> passe au psammite zonaire, à zones gréseuses, puis au schiste psammitique zonaire. Nombreux yeux par places 4,90 144,30 </p>	4,90	144,30
103.	<p> A 144^m30 : insensiblement on passe à des schistes gris doux, finement pailletés, découpés par des diaclases parallèles, voisines, très inclinées, dans le même sens que la pente, qui est très faible : 5 à 10°. </p> <p> A 144^m90 : un gros nodule lenticulaire de sidérose; diaclases pyriteuses 0,80 145,10 </p>	0,80	145,10
104.	<p> Grès gris psammitique. Diaclases quartzeuses. En descendant, on passe au grès, à grain fin, très quartzeux, zonaire. Diaclases obliques. </p> <p> A partir de 145^m85 : on passe au grès psammitique. Nombreuses diaclases. </p> <p> Perte de carotte 2,40 147,50 </p>	2,40	147,50
105.	<p> Schiste psammitique gris avec radicelles à texture concentrique, peu nombreuses; nodules de pyrite cristallisée, assez gros. Roche finement zonaire. Les nodules troublent les zones. Quelques lits psammi- tiques intercalaires. Une diaclase fort inclinée. Rares végétaux hachés. </p> <p> Vers 149^m50 : les roches deviennent plus psammi- tiques. Diaclases 3,00 150,50 </p>	3,00	150,50
106.	<p> Assez brusquement, schiste doux, cassure un peu conchoïdale. <i>Bellerophon</i>. Nombreuses pistes de vers. Yeux. Incl. : nulle. </p> <p> A 151^m00 : très petite coquille indéterminable. Nodules de pyrite assez abondants. </p> <p> A 152^m00 : la rayure devient brunâtre. Fossile bivalve extrêmement petit. </p> <p> A 152^m85 : petite <i>Lingula mityloïdes</i>. </p> <p> A partir de 153^m00 : lits de sidérose. Diaclases assez nombreuses. A la base, le schiste devient plus noir, à rayure brune 2,80 153,30 </p>	2,80	153,30
107.	<p> Brusquement, schiste psammitique grossier. Grande <i>Lingula mityloïdes</i>. Ce banc n'a que 1 cm. Brus- quement, au-dessous, calcaire impur, schisteux, bondé de fossiles écrasés, à test conservé. <i>Orthis</i>. Lamelles de crinoïdes. Diaclases à calcite. On passe au calcaire à crinoïdes rempli de fossiles (Lumachelle). 0,15 153,45 </p>	0,15	153,45
108.	<p> Schiste noir intense à rayure grasse et brune, feuil- leté et sonore. Fossiles mordorés et écrasés. Givre de pyrite.. Algues en pyrite terne. Spicules (?) ... 0,10 153,55 </p>	0,10	153,55
109.	<p> Un banc de pyrite massive bréchiforme 0,04 153,59 </p>	0,04	153,59

Nos	DESCRIPTIONS DES ECHANTILLONS.	Epais- seur.	Profond. finale.
110.	Brusquement, mur de schiste noir pesant, pyritifère. Radicelles hachées, peu ou pas transversales. En descendant, les radicelles deviennent mieux marquées, plus grandes et plus transversales. La roche est zonaire, psammitique. Plus bas, on y voit des joints noirs, micacés, charbonneux. A la base, 15 cm. de schiste psammitique avec quelques rares radicelles	1,56	155,15
<i>Passée.</i>			
112.	Mur psammitique noir à <i>Stigmaria</i> , avec appendices adhérents. Rayure brune (25 cm. de mur). Puis, brusquement, schiste feuilleté, doux, avec radicelles concentriques. Nodules de pyrite abondants. Inclinaison nulle. Les radicelles diminuent en descendant. Joints de stratification polis. A 155 ^m 85 : la roche devient zonaire, moins noire et de plus en plus psammitique	0,75	155,90
113.	Brusquement, schiste gris doux feuilleté. Diaclases fort inclinées. A 156 ^m 10 : de nouveau schiste noir, feuilleté, doux, sonore. Nombreux nodules de pyrite. Rayure brune. Algues en pyrite terne. Débris de fossiles indéterminables. Débris végétaux. Vermiculations couvertes de petits tubercules. Nodules de pyrite abondants. Entomostracés très écrasés ou Sponges ? Débris de crustacés (?). A 156 ^m 70 : minuscules Lingules. Joints de stratification polis. Innombrables givres de pyrite et diaclases pyriteuses... ..	0,85	156,75
<i>Passée.</i>			
115.	Mur extraordinaire. Schiste feuilleté très doux, noir, parcouru sur les joints par des radicelles extraordinaires disposées à plat, granuleuses. Un débris de Lingula	0,05	156,80
116.	Brusquement, grès psammitique, gris-brun; par places, quelques rares radicelles. Ces radicelles sont hachées et éparpillées sur les joints de stratification. Aucune n'est transversale	0,50	157,30
<i>Passée.</i>			
117.	Mur schisteux luisant, typique, bondé de radicelles. On voit apparaître de grandes radicelles. A partir de 158 ^m 30 : le mur devient beaucoup plus feuilleté et bien stratifié. Une radicelle pliée à travers la stratification. Radicelle bifurquée. A 158 ^m 60 : <i>Stigmaria</i> avec appendice attaché. Le mur		

Nos	DESCRIPTIONS DES ECHANTILLONS.	Epais- seur.	Profond. finale.
	continue jusque sur la couche, sans apparence de toit	2,00	159,30
	Veinette M. v. 13,9; C. 7,4	0,25	159,55
118.	Schiste noir feuilleté, à aspect de toit et bondé de débris bizarres de radicelles. Rayure brune, luisante (faux mur). <i>Stigmaria</i> . Les radicelles diminuent de plus en plus, et à 30 cm. on a du schiste noir feuilleté, luisant, sonore, avec encore des radicelles par places. Diaclases obliques. Coquilles semblables à des coquilles d'eau douce (à 160 ^m 30). Ces coquilles, semblables à des <i>Anthracomya</i> , se trouvent au milieu des radicelles	0,85	160,40
119.	Schiste gris doux, feuilleté, avec radicelles à texture concentrique	0,20	160,60
	<i>Passée.</i>		
120.	Mur gris un peu cendré, gréseux par places, avec abondantes radicelles. Perte de carotte. Incl. : 0°	2,15	162,75
121.	Psammite gris pâle. Nombreuses diaclases. Végétaux hachés	1,00	163,75
122.	Schiste psammitique gris zonaire. Incl. : 5° à 0°. Quelques rares bancs gréseux. Végétaux hachés. Vers 165 ^m 70, passe au psammite zonaire	2,55	166,30
123.	Schiste d'abord un peu psammitique et gris. Quelques végétaux hachés devenant gris et doux, toujours zonaire et pâle. A 167 ^m 85 : un petit banc de 5 cm. de quartzite à grain fin, gris-brun. Lits de sidérose	2,00	168,30
124.	Le schiste redevient psammitique, restant toujours zonaire	3,40	171,70
125.	Schiste gris doux. Cassure conchoïdale. Par places, imprégné de sidérose et très dense. Diaclases. Devient psammitique et zonaire, passe même au psammite zonaire. Stérilité absolue. Vers 174 ^m 00, quelques végétaux hachés. A 175 ^m 00 : givres de pyrite abondants. Le schiste gris doux, psammitique, continue jusque sur la veinette	4,20	175,90
	Veinette M. v. 12,60; C. 5,70	0,10	176,00
	De 176 ^m 00 à 176 ^m 55 : perte de carotte; représentant tout le mur de la veinette.		
	De 176 ^m 55 à 176 ^m 65 : un banc de pyrite massive, très pure	0,65	176,65
126.	Schiste feuilleté, noir, doux, rayure luisante. Radicelle trifurquée à plat. Roche légèrement zonaire, très finement pailletée, pyriteuse. Certains lits ont		

N ^{os}	DESCRIPTIONS DES ECHANTILLONS.	Epais- seur.	Profond. finale.
	un aspect ampélitique. Les radicelles disparaissent rapidement. Diaclases à stries horizontales	1,10	177,75
127.	Schiste psammitique noir, à rayure noire. Mince lits ampélitiques pailletés. Givre de pyrite. Lits gréseux	0,90	178,65
128.	Quartzite noir avec minces lits blanchâtres, montrant une structure admirablement zonaire. Lits avec joints ampélitiques noir intense, micacés. Veines de quartz. Roche extrêmement dure. Beaucoup de perte de carotte. C'est le grès de Villerot typique, sommet de l'assise de Chokier	5,10	183,75

Fin du sondage à 183^m75. 16 mars 1936.

INTERPRÉTATION

La lecture des notes de débitage et les pertes de carottes pourraient faire croire que les terrains recoupés par le sondage étaient dérangés. Il n'en est rien; les dérangements traversés étaient, nous l'avons déjà dit, insignifiants et sans rejet appréciable. Mais dans des terrains très réguliers et peu inclinés il y a toujours de nombreuses diaclases fort inclinées (Campine, bord Nord du bassin de Namur). Avec le système de forage à la grenaille d'acier, les carottes, traversées par plusieurs diaclases, ne résistent pas à la rotation de la couronne, et l'on ne peut les remonter.

La stampe complète des deux assises fournit quelques conclusions intéressantes. L'assise de Châtelet, au lieu d'être moins épaisse dans la région, comme je le croyais, est plutôt au-dessus de l'épaisseur moyenne. Il en est de même de la division supérieure de l'assise d'Andenne, celle qui surmonte le Grès de Salzinne. Quant à la division inférieure à ce grès, le sondage nous confirme un fait que j'ai signalé dans mon travail de 1932, cité ci-dessus : c'est que c'est durant le dépôt de cette division que s'est produit le mouvement du sol, probablement une régression, qui a soulevé le bord Nord du bassin de Namur, au Nord-Ouest du Hainaut. Cette division inférieure n'a en effet avec le grès en question que 70 mètres d'épaisseur. La persistance des grands horizons directeurs des deux assises et leur parallélisme sont des faits capitaux et très utiles pour la détermination des stampes moins complètes.

Il s'avère aussi que les failles normales, si abondantes sur le

bord Nord du bassin de Namur, n'ont jamais qu'un faible rejet dans le Houiller.

L'assise d'Andenne se montre, dans la région, beaucoup plus riche en niveaux de calcaire à crinoïdes que sur le même bord, dans l'Est du Hainaut. La faune de cette assise est au moins aussi riche que sur le bord Sud du bassin, ce qui n'est guère le cas pour l'assise de Châtelet.

L'apparition de veines exploitables (n° 0 et n° 1) au sommet de l'assise de Châtelet, fait qui va probablement en s'accroissant plus à l'Ouest, à Bernissart, explique pourquoi, à ce charbonnage, il est si difficile de retrouver les caractères de cette assise de Châtelet.

En comparant la stampe de l'assise d'Andenne, au sondage, avec celle du Charbonnage de Sirault, situé au Nord et près des affleurements, on trouve une similitude complète. Malheureusement, comme cela s'observe partout, les veines et veinettes du Houiller inférieur s'amincissent fortement en s'approfondissant. En comparant les deux stampes normales, la similitude est évidente, nouvelle preuve de la régularité du sondage.

SONDAGE (stampe normale) :	×... PUIXS DE SIRAUT (stampe norm.)
× passée 35,6 20 m. Veine 0,46 56,2. Calc. à crinoïdes 25 m. au toit. Veinette 0,20 83,25 45 m. Calcaire à crinoïdes. 27 m. Veinette 0,25 159,3 15 m. Veinette 0,10 175,5 4 m. † Grès de Villerot.	Veinette 0,15 (à 10 m. dans le P.). 20 m. Veine Carpentier 0,38 54 m. Calcaire 47 m. à crinoïdes au toit. Veine Cambier 0,60 53 m. 50 m. Calcaires à crinoïdes. Veine 0,68 139 m. 10 m. Veinette 0,28 150 m. 20 m. † Grès de Villerot.

En comparant la stampe du sondage d'Hautrage avec celle du sondage de Blaton (*op. cit.*, pl. 58) on constate aussi une grande ressemblance. Les mêmes lettres capitales indiquant, de part et d'autre, les niveaux synchroniques dans ces stampes montrent bien la similitude. Blaton était encore plus riche en fossiles et en calcaires à crinoïdes. Les failles de Blaton n'ont qu'un rejet minime.

Si l'on compare à la stampe d'Hautrage celle du sondage n° 15 (ou Foraky n° 2) d'Hensies-Pommerœul, on constate une grande ressemblance entre le fond de ce dernier, à partir de 1,030 mètres, et le fond de celui d'Hautrage. Il me paraît donc que le sondage d'Hensies est entré dans l'assise de Chokier et a traversé le grès de Villerot. Au-dessus du grès de Salzinne, l'assise d'Andenne paraît encore beaucoup plus épaisse (*op. cit.*, pl. 140) si le poudingue houiller d'Hensies est bien au niveau du Poudingue supérieur (M). Les niveaux de grès sont plus abondants et plus épais à Hensies qu'à Hautrage, où ils sont rares et minces.

La comparaison avec la stampe de l'assise d'Andenne, au nouveau Nord du puits de Ghlin (*op. cit.*, pl. 23), n'indique de similitude marquée que pour le sommet de cette assise. Les conditions d'étude sont d'ailleurs trop différentes pour permettre une comparaison effective.

Le sondage d'Hautrage a rencontré deux venues d'eau, l'une qui n'a pas été étudiée, de 600 litres-heure, au sommet des calcaires à crinoïdes à 131 mètres, l'autre de 100 litres-heure, à 169 mètres. Son débit était constant et régulier avec une température de 23°5, bien inférieure à celle qu'elle devrait avoir d'après le degré géothermique. L'eau était très pure. Elle vient donc rapidement, soit des affleurements, soit des sables wealdiens, ou peut-être par l'intermédiaire d'une faille normale non reconnue, passant au Nord du sondage. Ces eaux ne viennent certainement pas du calcaire carbonifère, qui ne doit pas être bien plus bas, sans cela l'eau aurait dû avoir une température plus élevée. On ne se trouve en effet qu'à 7 kilomètres à l'Ouest des fameux tunnels inclinés de Baudour, où, dans l'assise de Chokier, de fortes venues d'eau se faisaient jour par de petites cassures et avaient, au tunnel n° 1, 50°, à la profondeur de 350 mètres.

Par après le débit a augmenté et, au moment de l'obturation du sondage, il atteignit 1,120 litres-heure à la température de 24°.

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

par J. DELECOURT.

(Planches V et VI.)

La présence de chlorures alcalins et de sels sodiques dans les eaux souterraines n'a cessé de préoccuper les géologues et les hydrologues. Dès 1865, V. Stoclet et M.-A. Stévert publiaient des analyses d'eau d'exhaure de charbonnages du pays de Liège (1) (1).

En 1874, Roger Laloy présentait à la Société des Sciences de Lille un mémoire intitulé *Recherches géologiques et chimiques sur les eaux salées du terrain houiller du Nord de la France et de la Belgique* (2).

Lors du forage du premier puits artésien d'Ostende, en 1858, il avait été établi que les terrains tertiaires et crétacés renfermaient des eaux bicarbonatées, sulfatées et chlorurées sodiques et très peu calciques. En 1889, Whitaker, en Angleterre, faisait pareilles constatations (3), en analysant des eaux de la craie.

En 1890, Rutot et Van den Broeck publiaient le résultat de leurs observations sur 31 puits forés en Belgique et constataient que les phénomènes de salure pouvaient affecter toutes les nappes profondes, depuis celle du Lédien jusque et y compris celle du Primaire (4).

En 1899, J. Gosselet examinait les eaux alcalines provenant de puits artésiens forés dans le Nord de la France (5).

En 1903, Jules Cornet écrivait son excellente étude sur les eaux salées du terrain houiller, dans laquelle on puisera une documentation bibliographique de tout premier ordre (6).

Les différents auteurs que nous citons ont décrit des faits indiscutables sans vouloir ou sans pouvoir les expliquer.

Gosselet a résumé ainsi le maigre résultat de ses recherches : « On se perd en conjectures sur l'origine de l'alcali » (5). J. Cornet, tout aussi prudent au sujet de la provenance des sels sodiques, écrivait : « Il faut, nous semble-t-il, que l'hypothèse à admettre pour en expliquer l'origine soit applicable à l'ensemble du Bassin, depuis le Pas-de-Calais jusqu'en Westphalie » (6). Mais puisque les sels sodiques ne sont pas uniquement une particularité des seules eaux souterraines du Houiller, il m'a semblé indispensable d'examiner les faits sur un champ

(1) Les chiffres gras renvoient à la liste bibliographique placée en fin de la note.

beaucoup plus vaste. De 1924 à 1928, j'ai donc publié trois notes sur la salure des eaux artésiennes de la Basse et de la Moyenne-Belgique (7').

La première examinait les niveaux artésiens compris du Heersien au Primaire, depuis la Mer du Nord jusqu'aux confins du Limbourg belge (7').

La seconde (7'') constatait les mêmes phénomènes de salure dans les mêmes terrains du Nord et du Pas-de-Calais, au Nord de la crête de l'Artois et dans le bassin houiller de Campine. *Le Grand Courant artésien* mis en pression par la base imperméable du Landénien inférieur (1) se dédoublait toutefois en France, la branche supérieure étant isolée de la branche inférieure par les dièves, turoniennes ou plus anciennes. Depuis lors, comme nous le verrons plus loin, j'ai dû faire en Campine une même discrimination entre la branche supérieure du Grand Courant, qui circule surtout dans le Heersien et le Maestrichtien, et la branche inférieure, qui existe dans le Hervien, l'Aachénien, le Trias et le Primaire.

La troisième note était consacrée aux courants artésiens tertiaires : rupélo-tongrien, lédo-panisélien, yprésien et landénien (7''').

Chaque courant artésien, pris isolément, comprenait plusieurs zones dont les eaux présentaient des caractères chimiques très différents.

En Belgique, les eaux de la première zone, voisine de la nappe phréatique, sont franchement dures. La dureté est due d'abord à la présence de carbonate de chaux dans les limons pléistocènes. Elle est due aussi à l'abondance de formations calcaires du Crétacé et du Dinantien, sans préjudice du développement des formations silico-calcaires du Tertiaire et de roches calcaires dévoniennes et même siluriennes. *Somme toute, les eaux qui s'infiltrèrent dans la nappe phréatique en Moyenne Belgique trouvent immédiatement dans le sous-sol assez de carbonate de chaux pour combiner à demi l'acide carbonique biologique.* Il en résulte la formation de bicarbonate calcique communiquant aux eaux phréatiques une dureté élevée.

Or, quoique les courants artésiens soient alimentés par des eaux phréatiques dures, on constate que les eaux artésiennes n'ont dans certaines régions plus de dureté appréciable, mais sont chargées de sels alcalins, notamment de bicarbonate, de

(1) Et non pas l'argile yprésienne ou de Londres, comme le prétendent les géologues anglais.

sulfate et de chlorure de sodium. *Il y a échange de bases et addition de chlorure de sodium.* J'ai donc cherché à établir dans chaque courant artésien une limite séparant les zones à eaux dures des zones à eaux salées. J'y suis parvenu en me servant de puits artésiens dont je connaissais très bien l'identité et notamment l'état d'isolement des nappes superposées. Une *limite de salure* sépare la zone à eaux dures de la zone à eaux salées (1). Cette limite de salure a pu être déterminée pour le Grand Courant, la nappe landénienne, la nappe yprésienne, la nappe lédo-panisélienne. L'état actuel de nos connaissances ne nous permet pas encore d'établir la limite de salure du courant rupélo-tongrien et des niveaux néogènes que mon collègue Halet étudie actuellement dans le Nord de la province d'Anvers (8).

Mais mes études se poursuivant, je devais admettre que ces zones à eaux salées n'étaient pas les seules existantes en Belgique. Dans le Nord du pays, des puits profonds captaient des eaux salines et calciques, beaucoup plus chargées que les eaux de la zone de salure, et qui étaient somme toute un terme de passage entre les eaux de la zone salée et les eaux de la mer, contemporaine ou ancienne, ouverte ou intérieure (2). J'ai donc pu encore déterminer approximativement l'étendue occupée par une troisième zone, dite de *sursalure*, dans laquelle les eaux redeviennent dures du fait de la présence de *sulfates* de chaux et de magnésie et de *chlorure* de magnésie. Dans ces eaux sursalées, comme dans les eaux de mer, l'acide carbonique combiné à demi est peu abondant, d'où faible teneur en bicarbonate de chaux et de soude. La zone à eaux salées est séparée de la zone à eaux sursalées par ce que j'ai appelé *la limite de sursalure* (7', p. 48), limite que je n'ai pu tracer qu'incomplètement seulement pour les niveaux lédiens et le Grand Courant.

En terminant ma troisième et dernière note, j'émettais le vœu de voir toutes les bonnes volontés se mettre à l'œuvre pour faire contrôler officiellement des phénomènes que j'avais entrevus et que je supposais présenter au point de vue pratique et théorique un intérêt important et immédiat (7''' conclusions).

Jusqu'en octobre 1934, il semble que mes vœux n'aient pas été exaucés. Mais, vers cette date, j'ai eu le plaisir d'apprendre

(1) On verra plus loin que l'expression *limite de dessalure* eût été plus heureuse. Nous n'en laissons pas moins, pour éviter les confusions, subsister la première.

(2) Les eaux du Grand Courant à Woensdrecht (Pays-Bas) sont plus salées que les eaux marines contemporaines.

que l'Académie royale avait accordé une subvention à M. J. Lepersonne.

Dans sa communication à la Société géologique de Belgique, mon honoré confrère nous avisait qu'il étudiait les eaux alcalines de la nappe de la craie dans le bassin de Londres, en vue d'établir les lois de la salure des nappes captives de la Basse et de la Moyenne Belgique (9). M. Lepersonne constatait la présence dans le bassin de Londres des zones à eaux dures, à eaux salées et à eaux sursalées, ce qui donnait une consécration quasi officielle à mes limites de salure et de sursalure. Depuis, j'attends le grand travail annoncé sur la Basse et la Moyenne Belgique, l'annexion pacifique de la région au Nord du dôme du Weald étant désormais acquise à mon système hydrologique de la Basse et de la Moyenne Belgique, de même que celles des territoires français au Nord de la crête de l'Artois.

Sur ces entrefaites, M. E. Leroux et P. Pruvost rédigeaient une note très importante sur les résultats d'un forage profond à Amiens (10). Les eaux de cinq niveaux artésiens superposés furent analysées, depuis la nappe de la craie blanche jusqu'à celle du Bathonien, qui se trouve là en contact avec le Primaire. Exception faite pour *les eaux de la craie blanche qui échappent à la salure sur toute l'étendue du bassin de Paris*, toutes les autres se trouvaient en régime de sursalure. Le résidu sulfaté des eaux de la nappe bathonienne s'élevait à 20,633 gr. par litre pour une dureté de 330° français et seulement de 0,390 gr. de carbonates évalués en Ca.CO_3 (7,8 millivalences CO_2).

Pour des raisons indépendantes de ma volonté, je n'ai pu assister au septième Congrès International des Mines, de la Métallurgie et de la Géologie Appliquée tenu en octobre 1935 à Paris. Les études hydro-géologiques y prirent pourtant une importance inusitée, entraînant la publication de 214 pages du plus haut intérêt (11). La lecture de celles-ci vient de confirmer mon opinion déjà ancienne : les notions sur la salure et la sursalure semblent encore peu répandues parmi les hydrologues français. Aussi je crois opportun de donner ici un aperçu sur la salure ou plutôt sur la salinité des eaux artésiennes du bassin de Paris.

J'examinerai surtout des faits. On verra que le processus de la salure des eaux françaises est assez différent de celui des eaux du bassin hydrologique de la Basse et de la Moyenne Belgique prolongé par celui de Londres. Cela tient en ordre principal à ce que dans les zones françaises d'infiltration, dans le Buntsandstein lorrain, dans les roches primaires, cristallophylliennes et granitiques des massifs des Vosges, du Morvan,

du Plateau Central, etc., la présence de roches calcaires est extrêmement rare. *Il en résulte donc que l'acide carbonique biologique dissous dans l'eau phréatique ne trouve pratiquement rien dans ces roches ou dans les limons qui les recouvrent pour se saturer. Les eaux phréatiques sont donc pratiquement exemptes de chaux, de soude, et le résidu d'évaporation est extrêmement faible.* Les eaux sont en outre agressives, de l'acide carbonique restant en liberté ⁽¹⁾.

Dans le bassin de Paris, les eaux phréatiques qui alimentent les courants artésiens du Vosgien et du Primaire sont donc remarquablement pures et presque sans dureté, alors qu'en Belgique les mêmes eaux ont une dureté élevée généralement supérieure à 26° hydrotimétriques français. Le présent travail va d'abord résumer très rapidement les faits qui m'ont permis d'établir la carte des zones de salure et de sursalure du système hydrologique de la Basse et de la Moyenne Belgique. J'étudierai ensuite un autre cas très différent, celui de la salinité des eaux artésiennes dans le golfe de Luxembourg et dans les Vosges. Enfin, j'essaierai d'établir, par des rapports d'ensemble, l'identité de l'origine principale du chlorure de sodium que l'on rencontre dans les eaux artésiennes du golfe de Londres, de la Basse et de la Moyenne Belgique et du bassin de Paris, y compris le golfe de Luxembourg.

§ I. LA SALURE EN BASSE ET MOYENNE BELGIQUE

Les phénomènes de salure dans les nappes artésiennes de la Basse et de la Moyenne Belgique et le courant sénonien du bassin de Londres se manifestent de la même façon. Les courants artésiens sont dans les deux cas alimentés par des eaux phréatiques dures. La dureté varie généralement de 25° à 50° hydrotimétriques français. Lorsque la dureté totale est très élevée, la dureté permanente est elle-même considérable, ce qui fait que les eaux sont en même temps sulfatées et bicarbonatées calciques.

En pénétrant sous la couche imperméable qui la rend captive, l'eau devient artésienne ⁽²⁾ et conserve d'abord sa dureté. Ensuite, toujours en cheminant dans le sens d'écoulement du courant artésien, on constate que la dureté totale diminue et que l'eau se charge de chlorure sodique.

(1) Même dans le cas où les eaux ne sont pas gazéifiées par de l'acide carbonique de mofettes.

(2) Un puits artésien n'est pas nécessairement jaillissant. Une nappe artésienne est une nappe captive ou ascendante et réciproquement.

En même temps que la teneur en chlorure sodique augmente, la dureté continue à diminuer. Dans les courants où les pompages intensifs ne viennent pas contrarier les phénomènes naturels (12), on constate que cette dureté descend bientôt au-dessous de 6° hydrotimétriques français. Si l'on cherche à séparer la zone où les eaux sont dures de celle dont les eaux ont au maximum 6° hydrotimétriques français de dureté, on en arrive à tracer en plan une ligne qui est la *limite de salure*. En Basse Belgique, au Sud de la limite de salure, les eaux sont dures et peu sodiques, et au Nord de celle-ci elles sont douces et salées. Les analyses démontrent que les sels sodiques de la zone de salure y sont à l'état de chlorure, de carbonate, de bicarbonate et de sulfate. Il y aurait, somme toute, *échange de base* entre la chaux et la soude et addition de chlorure de sodium (9).

« J'ai, *pour ce qu'elle valait* (1), donné dans ma seconde note une interprétation des phénomènes observés; il est inutile de la reproduire ici » (7'', pp. 51 et 52).

Depuis lors, M. Lepersonne en a cité une autre qui me paraît plus élégante, quoiqu'elle ne parvienne pas à résoudre non plus de nombreux cas, que nous examinerons plus loin (13).

Revenons aux faits. Les eaux de la zone salée renferment donc des sulfates et des carbonates alcalins provenant d'un échange de base avec les alcalino-terreux de la zone à eau dure.

Tout ou presque tout ce qui est calcique ou magnésien dans la zone à eaux dures devient sodique dans la zone à eaux salées, où l'on rencontre en outre du chlorure de sodium en abondance.

En continuant à cheminer dans le sens du courant artésien, on constate que les eaux de la zone salée deviennent de plus en plus sodiques, le résidu d'évaporation s'élevant jusqu'aux environs de 3 grammes par litre et la dureté restant faible. Un bon type d'analyse d'eau salée est fourni par celle des eaux du premier puits artésien d'Ostende, publiée en 1860 :

Chlorure sodique	1,363 gr. par litre.
Sulfate sodique	0,605 »
Carbonate sodique	0,651 »
Chlorure potassique	0,023 »
Chlorure magnésique	0,034 »
Alumine avec trace d'oxyde ferrique ...	0,007 »
Silice	0,003 »
Matières organiques... ..	0,001 »
	2,687 gr. par litre.

(1) Termes non soulignés dans ma note (7'''), antépénultième alinéa.

Cette eau de la zone salée est bien caractéristique : la chaux a complètement disparu ⁽¹⁾; la dureté calculée est de 4° français et le résidu est presque uniquement sodique.

Pour les eaux du Grand Courant, on constate en outre, dès que le résidu sec à 100° dépasse 3 grammes, qu'on entre dans une nouvelle zone dont les eaux se chargent à nouveau de sels calciques et magnésiens, mais à l'état de sulfates et de chlorures. Cette nouvelle zone est la zone *de sursalure* (7", IV, p. 48).

Il existe donc une *limite de sursalure* qui sépare la zone salée de la zone de sursalure. Les eaux de la zone sursalée se chargeront de plus en plus au cours de leur trajet souterrain. Elles pourront même être plus salées que les eaux marines contemporaines (Woensdrecht—Pays-Bas), quoique se trouvant dans des formations géologiques qui ne contiennent pas de sels sodiques. Les constituants du résidu des eaux sursalées sont les mêmes que ceux des eaux marines contemporaines, mais ils s'y trouvent en proportions fort diverses.

Les différentes zones des courants artésiens sont donc les suivantes :

1° *Zone à eaux dures* : résidu à 100° généralement inférieur à 0.500 gr. par litre ⁽²⁾, composé presque uniquement de carbonate et de sulfate de chaux et de magnésie; chlore et alcalins très peu abondants.

2° *Zone intermédiaire ou de précipitation* précédant la zone de salure : la dureté descend, mais reste supérieure à 6° français; le chlorure de sodium devient plus abondant. Cette zone est très peu étendue.

Ici se place la limite de salure.

3° *Zone à eaux salées* : résidu à 100° inférieur à 3 grammes par litre pour le Grand Courant; dureté inférieure à 6° français; les eaux sont presque uniquement bicarbonatées, sulfatées et chlorurées sodiques.

Ici se place la limite de sursalure.

4° *Zone à eaux sursalées* : le résidu dépasse 3 gr. par litre; les sels calciques et magnésiens réapparaissent, mais à l'état de chlorure et de sulfates, comme dans les eaux marines, contem-

(1) En général, il subsiste un peu de calcium, probablement à l'état de carbonate.

(2) Sauf pour les eaux fortement séléniteuses des terrains contenant du sulfate de chaux.

poraines ou fossiles. Pour établir des limites de salure et de sursalure, il faut d'abord, puisqu'elles varient pour chaque courant artésien, classifier ceux-ci. Sans tenir compte des courants néogènes et oligocènes, pour les raisons que j'ai fait valoir dans mon introduction, je distingue :

a) Nappe lédo-panisélienne ou éocène moyenne, mise en pression vers le haut par l'argile d'Assche (Bartonien) et vers le bas par l'argile schistoïde, anciennement notée *P1m* ⁽¹⁾.

b) Nappe des sables à *Nummulites planulatus* ou yprésiens, circulant entre l'argile *P1m* et l'argile yprésienne (argile de Londres).

c) Nappe des sables landéniens, entre l'argile yprésienne ou des Flandres et la base imperméable du Landénien marin.

d) Grand Courant, mis en pression vers le haut par la base imperméable du Landénien marin, résultante de tous les niveaux artésiens du Heersien au Primaire y compris (7', pp. 44 à 47), en raison des lacunes stratigraphiques et de l'absence de couches imperméables suffisamment étendues et continues au-dessous de la base du Landénien (7'', p. 46). Déjà lors de la rédaction de ma seconde note, j'admettais que dans la partie française du système hydrologique Basse et Moyenne Belgique, Nord et Pas-de-Calais, le Grand Courant se dédoublait, les dièves turoniennes et cénomaniennes y formant une couche hydrologiquement imperméable. Il y avait donc une branche supérieure du Grand Courant français qui circulait dans les craies, les rabots et était maintenue vers le bas par les dièves. La branche inférieure circulait principalement dans le Primaire.

J'ai dû par la suite faire une semblable distinction en Campine. La branche supérieure du Grand Courant y circule dans le Heersien et le Maestrichtien surtout. La branche inférieure existe sous les marnes glauconieuses de l'assise de Trivières ou de Herve. Elle circule notamment dans les sables dits Herviens, dans l'assise d'Aix-la-Chapelle et le sommet du Primaire; car il est nécessaire de tenir note de l'avis particulièrement autorisé de M. A. Renier : « Il convient, dit ce dernier, de noter que la zone du Houiller située immédiatement au-dessous des « morts terrains » est plus ou moins altérée et aquifère. Ainsi en est-il d'ailleurs de la surface entière du socle paléozoïque, qui constitue le sous-sol profond de la Basse Belgique. En Cam-

(1) Ce niveau *P1m*, quoique de faible épaisseur, est très constant et parfaitement imperméable.

pine, cette nappe est captive et sous forte pression (14, p. 64) ».

Il ne servirait à rien de remémorer ici les raisons qui ont déterminé le tracé des limites de salures telles qu'elles sont décrites dans l'ouvrage fréquemment cité (7). Je préfère rectifier mes données initiales là où elles se sont montrées controvérsées et donner sous forme de planche un croquis qui sera plus explicite que de nombreuses pages de texte. J'avais d'ailleurs appliqué une première fois telle méthode en 1929 (15).

La limite de salure du Grand Courant en Belgique a été légèrement modifiée et précisée pour tenir compte des résultats fournis par de nouveaux forages à Nederbraeckel (1), Berchem-lez-Audenarde, Lovenjoul près de Louvain (16) et Diest.

Nous reviendrons plus loin sur le tracé du dédoublement de la limite de salure en territoire français.

Enfin, dans le Limbourg belge on peut tracer assez exactement la limite de salure de la branche supérieure du Grand Courant. Les eaux sont dures à Mechelen-sur-Meuse, en zone intermédiaire ou de précipitation à Zwartberg et Beerlingen, en zone de salure à Tessengerloo et Heppen. Il est désolant de constater que les sondages de Campine ont si peu étudié les faits hydrologiques. Ceci est dû à ce que les géologues n'avaient pas mandat pour arrêter les travaux de sondage et faire des prises d'échantillons d'eaux artésiens (2).

Le tracé de la limite de salure de la branche inférieure est actuellement absolument impossible. Les renseignements que l'on possède sont trop rares. On sait que le sondage d'Op Grimby (n° 49) a donné des eaux sursalées dont le résidu sec à 100° est de plus de 7 grammes par litre. Au puits de Winterslag, les eaux de la branche inférieure ont un résidu sec de 3^{rs}032 et une dureté de 8,5° français. La *sursature* est donc très légère et la limite de *sursature* doit passer très peu au Sud de Winterslag. On manque jusqu'à présent d'éléments pour retrouver la limite de salure, qui doit être plus méridionale encore. Disons, pour faire suite à ces renseignements fort sommaires sur la Campine, que la Source de l'Empereur à Aix-la-Chapelle donne des eaux un peu plus sursalées que celles de Zwartberg, mais beaucoup moins minéralisées que

(1) Les premiers renseignements qui m'ont été fournis étaient faux. J'ai foré en 1929, à Nederbraekel, un puits au Primaire dont les eaux titraient 3° français.

(2) Les eaux analysées lors du forage des sondages n°s 85 (Lummen) et 86 (Wijvenheide) semblent provenir du *mélange* de deux nappes.

celles d'Op Grimby et de même température que celle des eaux géothermales des puits inclinés de Baudour ⁽¹⁾.

Les premières analyses des eaux du premier puits d'Ostende situaient cet endroit en zone salée non loin de la limite de sursalure. Dès 1864, les eaux devenaient légèrement sursalées. Elles ont actuellement une dureté de 11° français et un résidu supérieur à 3 grammes. Les eaux du puits d'Ostende-Thermal sont également très légèrement sursalées. Ceci montre que la limite de sursalure n'est pas fixe dans le temps. Il en est de même pour la limite de salure.

Vers 1910, les eaux de la nappe lédienne à Malines avaient une dureté voisine de 11° français (18). En 1936, près de la place des Bailles, la dureté est descendue à 3,75° français. On voit donc que la limite de salure lédienne traverse maintenant Malines, alors qu'il y a vingt-cinq ans elle passait franchement plus au Nord.

En décembre 1927, l'École normale de Lierre faisait analyser l'eau d'un puits artésien au Lédien. M. Burette a bien voulu me remettre le résultat de ce travail. J'en extrais : résidu sec : 3,921 gr. par litre; dureté totale : 25,2° français. Nous sommes en pleine sursalure. Il est possible que cette sursalure soit le résultat des pompages excessifs sur la nappe lédienne dans les environs de Malines et d'Anvers. Nous en tenons néanmoins compte pour le tracé de la sursalure lédienne.

Retenons de ce qui précède que les limites de salures et de sursalures peuvent se déplacer légèrement et sont fonction du temps et de l'intensité des pompages, mais surtout vers les points à cotes basses. Les eaux des puits artésiens à équilibre hydrostatique très supérieur au niveau de la mer paraissent, au contraire, donner des eaux de composition à peu près constante.

La branche supérieure de la limite de salure pénètre en France un peu au Sud d'Halluin, est voisine d'Armentières, passe par Steenbecque, à l'Est d'Estaire, d'Aire, sur la Lys, un peu au Nord de Saint-Omer, de Houille et de Mouille, dont les eaux sont dures. A Arques, la dureté n'est plus que de 7,5° et nous nous trouvons très près de la limite de salure qui doit gagner le littoral et le toucher aux environs de Gravelines. Elle traverse ensuite la Mer du Nord, pour atteindre l'Angleterre entre Broadstairs et Ramsgate, où elle touche la limite de sur-

(1) Les eaux de Chaudfontaine-Thermal sont en zone de précipitation précédant la zone de salure.

salure du bassin de Londres. Puis elle gagne cette ville, qu'elle traverse. Une autre limite de salure existe sur le comble Nord du bassin de Londres, beaucoup plus méridionale ⁽¹⁾ que ne l'indique M. Lepersonne (9). Cette limite regagne la mer vers un point qu'il n'est pas actuellement possible de préciser, mais qui doit être peu distant de Little Wighborough, qui est en sursalure légère, alors que Layer Marney, tout voisin, est encore en salure.

Les eaux du Sénonien du Sud de l'Angleterre échappent à la salure, comme les eaux de la craie du bassin de Paris. Elles circulent d'ailleurs dans un même système hydrologique limité au Nord par le dôme du Weald et par les collines de l'Artois, qui est, somme toute, le *système hydrologique du Bassin anglo-parisien*.

§ II. LA SALINITÉ DES EAUX ARTÉSIENNES DE L'EST DE LA FRANCE

Dans le département de Meurthe-et-Moselle, les communes de Cirey-sur-Vezouze et de Baccarat sont alimentées par des sources provenant du grès vosgien. Les eaux de Baccarat ne contiennent que 3 mgr de chlorure de sodium par litre, le résidu d'évaporation à 110° n'est que de 0^{sr}027 et la dureté totale n'ex-cède pas 2° français. A Cirey-sur-Vezouze, la dureté des eaux est plus faible encore et comprise entre 1½ et 2°. Dans le département des Vosges, les mêmes terrains fournissent, à Rambervillers, Epinal et Remiremont des eaux également très douces dont le résidu total d'évaporation est compris entre 10 et 60 mgr par litre; ces eaux ne contiennent que très peu de chlorure de sodium et dans tous les cas moins de 10 mgr par litre (19).

Dans le département de la Haute-Saône, la commune de Lure est alimentée par des eaux provenant également du Buntsandstein, dont l'analyse est absolument comparable. La dureté totale de ces eaux est de 2°, la dureté temporaire n'est que de ½° français (résidu sec 0^{sr}040) (19).

On voit que non loin des crêtes des Vosges, les eaux du grès vosgien et du grès bigarré sont très peu minéralisées, extrêmement douces et à peine sodiques.

(1) M. Lepersonne place Bocking, Braintree et Epping en zone salée. Bocking et Braintree sont dans la zone à eau dure. Les eaux captées en ces endroits sont dures et sulfatées calciques et non sulfatées sodiques. Epping est dans la zone de précipitation précédant la limite de salure (20° français).

Il en est de même pour les eaux provenant des terrains primaires, azoïques et éruptifs.

A l'Ouest de Remiremont se trouvent les stations balnéaires de Plombières-les-Bains et de Bains-les-Bains. Les eaux de Plombières ont un résidu salin déjà plus élevé, de 153 à 366 mgr par litre, et les eaux de Bains-les-Bains sont plus minéralisées encore. La source du Robinet de Fer a un résidu d'évaporation de 400 mgr par litre (17).

Si les eaux de Baccarat sont extrêmement douces, un sondage exécuté non loin de là, à Mont-sur-Meurthe, a capté des eaux dont le résidu salin est de 732 mgr (20). Si les eaux du sondage de Dieuze (département de la Moselle) sont encore assez douces avec un résidu à 110° compris entre 226 et 394 mgr (21), celles du sondage tout proche de Brin sont déjà franchement salines, puisque le résidu de 849 mgr par litre comprend 439 mgr de chlorure de sodium et 190 mgr de sulfate de chaux (20).

Si, sans quitter la région qui nous intéresse, nous reprenons les analyses des eaux jaillissantes sortant des sondages exécutés pour la recherche du charbon aux environs de Nancy et de Pont-à-Mousson, nous trouvons (20) :

LOCALITÉS.	Température.	Résidu en grammes par litre.	Débit maximum en m ³ par minute.
Saint-Jure	35,5°	3,736	2
Secourt	—	1,480	0,200
Eply	32,5°	2,540 à 4,150	16,3
Lesmenils	30°	2,327 à 7,176	5,0
Atton	29,7°	4,780 à 7,010	14,0
Dombasle	30,5°	4,188 à 4,618	4,0
Martincourt	38,0°	18,800	8,5
Vilcey	34,0°	8,982	9,0
Laborde	27,0°	8,550	5,0
Pont-à-Mousson	30,0°	6,510 à 6,950	—
Mont-sur-Meurthe	23,5°	0,732 à 0,809	10,0
Brin	28,6°	0,849	6,0
Moyeuve-la-Grande	53,0°	23,945	—

Nous constatons que, lorsque le Vosgien ou les terrains plus anciens affleurent, les eaux que l'on peut en obtenir sont extrêmement douces et ne sont pas salées. Au contraire, lorsqu'elles sont captées par des puits artésiens, elles donnent des eaux déjà salines, comme à Dieuze, Moussesey (310 à 550) ou Bains-les-Bains, ou extrêmement salées, comme à Martincourt. Le maximum de 18^{gr}800 de résidu d'évaporation obtenu en ce lieu est d'ailleurs largement dépassé dans les eaux du sondage de Wendel, à Moyeuve-la-Grande, qui contiennent 23^{gr}945 de matières dissoutes par litre. J'insiste sur le fait que toutes les eaux dont il est question jusqu'à présent proviennent du Buntsandstein : grès bigarré ou grès vosgien, ou des roches primaires, azoïques ou éruptives sous-jacentes.

On conçoit assez facilement qu'après avoir établi les limites de salure et de sursalure des courants artésiens belges, j'ai eu la tentation de chercher à établir une limite entre les zones occupées par les eaux douces du Buntsandstein et les eaux salines du même courant souterrain.

Pour les régions déjà examinées, le tracé de cette *limite de salinité n'est pas bien difficile*, mais il est purement conventionnel, car il est arbitraire d'établir où commence et où finit cette salinité.

J'adopterai les définitions suivantes :

1° Les eaux sont douces lorsqu'elles ont un résidu d'évaporation inférieur à 500 mgr par litre.

2° Elles sont salines lorsque ce résidu est supérieur à 500 mgr par litre (1).

J'adopte ce chiffre de 500 mgr par litre, parce qu'il correspond généralement au maximum accepté pour les eaux potables et qu'en outre il est voisin du même maximum constaté pour mes eaux dures de la Basse et de la Moyenne Belgique.

Examinons dans la région qui nous occupe quelles sont, dans leurs grandes lignes, les lois de la salure des eaux du Buntsandstein.

On remarque d'abord l'accroissement du résidu d'évaporation de l'Est à l'Ouest, donc dans la direction du courant artésien du bassin de Paris.

On remarque en outre que toutes les eaux salines examinées sont faiblement carbonatées et au contraire fortement sulfatées et chlorurées. *Le chlorure de sodium domine.*

Enfin, nous pouvons constater que les éléments constitutifs

(1) Cette classification ne convient pas pour les eaux fortement séléniteuses du Charmouthien et du Muschelkalk.

dissous sont les mêmes que ceux rencontrés dans l'eau marine.

Somme toute, les eaux que nous rencontrons ressemblent à l'eau de mer, simplement diluée par les eaux pluviales qui s'infiltrent dans le Buntsandstein et les terrains plus anciens, à la faveur des précipitations atmosphériques. L'acide carbonique d'origine biologique ne trouve rien pour se neutraliser, reste à l'état libre dans les eaux tant qu'il n'est pas mis en présence de terrains impartiellement dessalés ou décalcifiés. Il reste en général *agressif* dans toutes les eaux qui se trouvent en amont de la limite de salinité. On conçoit immédiatement qu'il est plus logique d'admettre que les éléments apportant la salure et se trouvant dans les interstices d'une roche aussi poreuse que le grès vosgien et le grès bigarré y sont plus probablement arrivés à la faveur d'une immersion ancienne plutôt qu'en raison de phénomènes d'osmose qui feraient remonter à des niveaux supérieurs à la cote 270 des eaux marines contemporaines. Il n'est pas question non plus de supposer que la salure est due aux gîtes de sel du Keuper ou du Muschelkalk.

En effet, lorsqu'on fore un puits qui traverse le Muschelkalk et le Vosgien, on constate que les eaux du premier niveau sont sulfatées calciques et faiblement chlorurées, alors que les eaux du Buntsandstein sont à peine calciques et très sodiques et chlorurées.

Voici d'ailleurs les analyses des eaux des deux niveaux, à Moussey :

	Muschelkalk à 160 m.	Grès bigarré à 340 m.
	Grammes par litre.	Grammes par litre.
Résidu à 100°	2,980	0,550
Ca O.	0,680	0,050
Mg O.	0,225	0,040
SO ³	1,432	0,006
Cl	0,102	0,255
Dureté	177°	8°

L'analyse des eaux du Muschelkalk à Moussey est à comparer à celle des eaux de Vittel et de Contrexéville, qui proviennent de la même formation (17).

	Vittel.	Contrexéville.
	Grammes par litre.	Grammes par litre.
Sulfate de chaux	1,420	1,565
Sulfate de magnésie.	0,820	0,236
Carbonate de chaux.	0,310	0,248
Soude et indosés	0,090	0,117
	<hr/>	<hr/>
	2,640	2,166

Des analyses récentes, dues à M. le Prof^r P. Corroy, indiquent que les eaux de la Grande Source et de la Source Hépar, à Vittel, ne contiennent respectivement que 0^m006 et 0^m010 de chlorure en Cl (22).

On voit que les eaux du Muschelkalk sont sulfatées et carbonatées calciques et *peu chlorurées* et que si elles parvenaient à pénétrer dans la nappe du Buntsandstein on ne pourrait leur attribuer l'origine du chlorure de sodium.

Mais l'équilibre hydrostatique de la nappe du Buntsandstein est en forte charge sur celui de la nappe Muschelkalk. *S'il y a donc apport d'un niveau artésien dans d'autres, ce ne peut être que celui du Buntsandstein, qui se déverse dans les terrains plus récents, à la faveur de son ascendance supérieure, par des failles ou des cassures sans rejet.*

Nous constatons que les choses se passent d'une façon très différente en Lorraine et dans la Basse et la Moyenne Belgique. En Lorraine, les phénomènes examinés consistent, somme toute, à une simple *dilution* de l'eau salée fossile ou résiduelle. Dans la zone à eau douce, la dureté, d'abord très faible, s'élève progressivement par l'apport des sulfates de chaux et de magnésie et probablement du chlorure de magnésie. Aux environs de la *limite de salinité*, la dureté est d'environ 15° à 20° français. Comme nous le disions tantôt, cette limite de salinité est purement conventionnelle. En Basse et Moyenne Belgique, ma *limite de salure* sépare au contraire les eaux dures des eaux d'une seconde *zone dite de salure* dont les eaux sont carbonatées, sulfatées et chlorurées sodiques, mais de très faible dureté. Enfin, la zone de salure est séparée de la *zone à eaux sursalées* par ce que j'ai appelé la *limite du sursalure*. Les eaux sursalées ressemblent, comme je l'ai dit, à des eaux marines diluées; elles sont d'autant plus dures qu'elles sont plus salées, mais leur dureté résulte de sulfates et de chlorures alcalino-terreux. Somme toute, *elles sont de composition semblable aux eaux salines des Vosges.*

Si nous comparons les deux cas, nous constatons qu'en Lorraine, dans le courant du Buntsandstein, il n'y a pas de zone à eaux dures proprement dites, pas plus qu'il n'y a d'eaux salées dans le sens attribué aux eaux carbonatées sodiques belges de la zone salure. En somme, *les eaux du Buntsandstein lorrain sont des eaux sursalées plus ou moins diluées dans de l'eau de pluie, pratiquement chimiquement pure.*

§ III. LES LIMITES DE SALINITÉ DANS LE BASSIN DE PARIS

Si nous cherchons à établir le tracé de la limite de salinité dans le bassin de Paris, nous pouvons d'abord tirer parti de ce qui précède pour délimiter la zone saline du courant Vosgien-Primaire. Puis, vers le Sud, nous rencontrons les mêmes phénomènes dans la région de Bourbonne-les-Bains, qui appartient à la zone saline. Vers le Nord, la situation devient beaucoup plus complexe. La limite de salinité, qui passe légèrement au Sud de Bourbonne-les-Bains ⁽¹⁾, un peu à l'Est de Bains-les-Bains, à l'Ouest de Moussey et de Dieuze, semble gagner la région de Kreutzwald, non loin de Saint-Avold, puis elle s'imbrique brusquement vers l'Est, laissant au Nord les régions salines où sont captées, toujours dans le Vosgien, mais à sa partie supérieure, les eaux de Kontz, Montdorf, Sierck, Cocheren, Hambach. De ce côté, nous limiterons nos recherches en disant seulement que la salinité prononcée des eaux du Buntsandstein dans le golfe de Luxembourg se développe jusqu'au massif schisteux rhénan vers Hombourg.

J'ai joint à ce texte une carte de la région des Vosges indiquant le tracé de la limite de salinité (planche VI). Ce *premier* tracé sera sujet à de nombreuses revisions, car les éléments en ma possession pour l'établir manquent de sûreté.

Lorsqu'il s'agit d'une analyse d'eau de source, on ne peut jamais savoir si les eaux provenant du fond ne se chargent pas en remontant à travers des terrains plus récents. D'autre part, il y a souvent intérêt à mélanger deux eaux de provenances différentes pour fournir une eau minérale qui ne peut être consommée que sur place. On a usé et abusé de cette méthode.

La partie dessalée de la région vosgienne se trouve à l'intérieur de la limite de salinité et fournit des eaux très pures. La limite de salinité tracée ne se rapporte qu'au bassin de Paris. Il en existe une seconde, jalonnée par Niederbronn, Molsheim et Soultzmatt, dans la vallée du Rhin. Nous ne pouvons actuellement la tracer avec suffisamment de certitude. Elle doit être voisine des failles rhénanes.

(1) A Bourbonne-les-Bains, les eaux des grès infra-liasiques sont froides, douces, peu chlorurées. Leur résidu d'évaporation est de 0^{sr}034 seulement. Les eaux du Muschelkalk sont carbonatées, sulfatées calciques, peu chlorurées, froides et ont un résidu de 0^{sr}409 par litre. Seules les sources captées dans le Vosgien sont chaudes et contiennent 5 grammes de Na Cl par litre. Ceci est une nouvelle preuve que la salure vient du bas.

J'ai beaucoup hésité en traçant la limite de salinité aux environs de Creutzwald et Saint-Avold. Il est fort possible que les sources minérales signalées dans ces régions par Van Werveke proviennent de mélanges de niveaux différents. D'autre part, dans ces régions, la salinité diminue en profondeur dans le Buntsandstein, fait bien contrôlé, notamment à Dieuze dès 1908 (21).

Bref, tout est à revoir, *sans idées préconçues*, par les institutions qui y trouveront un intérêt, notamment le génie rural avec le concours des Facultés de Nancy et Strasbourg. Il n'en était pas moins utile, je pense, de fournir un premier tracé.

Il n'y a pas en France, à proprement parler, à la base du Buntsandstein de couches suffisamment étendues, continues et imperméables pour empêcher l'infiltration des eaux de ce courant souterrain dans les terrains primaires sous-jacents.

Rien ne s'oppose à ce que les eaux du Buntsandstein fassent nappe commune avec les différents terrains primaires que cette formation recouvre. *Il est donc absolument normal et logique que les eaux du Primaire du bassin de Paris soient salines à l'intérieur de la limite de salinité des eaux du Buntsandstein.*

Les eaux circulant dans le terrain primaire du bassin de Paris s'infiltrent :

1° par le Buntsandstein et les terrains plus anciens de la région vosgienne et jusqu'aux environs de Lure et de Vesoul en Haute-Saône;

2° par le Nord du massif du Morvan;

3° par le Nord du Plateau central;

4° par l'Est du massif armoricain;

5° par le Sud de la zone schisteuse rhénane et celle du Sud de l'Ardenne.

Toutes ces eaux sont, comme celles du Buntsandstein, extrêmement douces et à peu près dépourvues de chlorure de sodium, là où affleurent les roches primaires, les granites et les schistes cristallins.

A titre d'exemples, Guéret (Creuse) distribue des eaux d'une dureté de 2°, dont le résidu d'évaporation est de 26 mgr seulement, dont 6,5 mgr de chlore. L'eau du granite à Rochechouard a un résidu de 60 mgr, une dureté de 4,5°. A Limoges, les eaux captées dans le granite, les gneiss et les schistes ont encore 2° de dureté pour un résidu de 82 mgr, dont 5,2 de Cl (19).

A Alençon, dans l'Orne, les grès armoricains (silurien) donnent des eaux dont la dureté n'est encore que de 11,5° (19).

En Belgique, la dureté des eaux primaires est à Bouillon de 2°, à Herbeumont de 4° et à Bertrix de 4°.

On peut se représenter hydrologiquement le bassin de Paris comme un vaste cirque recouvert en grande partie par les formations secondaires et tertiaires. Celles-ci et celles-là comprennent dans leur ensemble une série de couches imperméables alternant avec des couches perméables, ayant chacune leur courant artésien et phréatique propre, mais dont les eaux ne s'infiltrent pas dans le Primaire, qui ne reçoit que les eaux douces d'infiltration provenant de ses affleurements, du Buntsandstein, des massifs du Morvan, d'Armorique et du Plateau central. A titre d'exemple, il est pratiquement impossible qu'une goutte d'eau tombée aux environs de Paris traverse ne fût-ce que les couches imperméables de l'Albien et du Jurasique, pour atteindre le Primaire suivant la verticale. La mesure des équilibres hydrostatiques des diverses nappes traversées le démontre d'ailleurs d'une façon péremptoire. *S'il y a mélange de nappes, ce sont les plus profondes qui se déversent dans les autres par le jeu des failles et des transgressions, et en particulier c'est le courant primaire qui se déverse par le dessous dans les courants circulant dans les étages les plus récents.* Bref, nous pouvons généraliser ce que nous avons dit à propos de la région des Vosges, ce qui nous conduira à rechercher les limites de salinité au Sud de l'Ardenne, au Nord du Morvan et du Plateau central, à l'Ouest du massif armoricain.

Ici, malheureusement, les éléments du problème manquent presque totalement. Si nous disposons de beaucoup d'analyses d'eaux douces, nous ne connaissons que très peu d'analyses d'eaux salines. Certes, d'assez nombreux forages ont atteint le socle paléozoïque dans le bassin de Paris, mais peu d'eaux artésiennes ont été analysées.

Nous sommes donc forcé d'arrêter le tracé de la limite de salinité au Sud de Pougues-les-Eaux, dans la Nièvre, et d'Evaux, dans la Creuse. Les eaux de Pougues ont un résidu d'évaporation de 3^{sr}344 par litre et sont salines, alors que celles de la distribution de Decize sont douces. Celles d'Evaux ont une température élevée et un résidu de 1^{sr}43 par litre, presque entièrement sodique. Elles sont également salines.

A l'Ouest de ces points, nous ne pouvons, pour l'instant, rien déterminer autour du massif central et du massif armoricain, car nous ne possédons plus d'analyses d'eaux salines. Les trouées de la Saône et de l'Allier ainsi que le voisinage du seuil de Bourgogne compliquent d'ailleurs considérablement les faits;

ceux-ci ne pourront être éclaircis que beaucoup plus tard, par l'étude des rapports des courants souterrains du bassin de Paris avec ceux des régions plus méridionales où des eaux salines ont été analysées en grand nombre.

Nous ne désirons pas sortir du cadre de cette étude, déjà beaucoup trop étendu, et passons outre.

Parmi les forages qui ont atteint le terrain primaire, l'un d'eux, effectué tout récemment, à Amiens, a été particulièrement bien étudié par M. Leroux, ingénieur et hydrologue distingué (10). Le sondage, dit forage Cosserat, a recoupé au moins cinq niveaux aquifères, dont le dernier au contact du Bathonien et du Dévonien. L'eau captée à cet endroit contient 16^{gr}731 de chlorure de sodium par litre, titre 330° hydrotimétriques et a un résidu sulfaté de 20,633 mgr. Les niveaux supérieurs, du Corallien, du Kimmeridgien et enfin du Gault, fournissent des eaux moins salées, mais également chlorurées sodiques et sulfatées.

Ces différentes eaux correspondraient toutes, comme composition, à des eaux dites *salines ou sursalées*. Voici d'ailleurs, d'après M. Leroux, les caractéristiques de ces eaux (1) :

	Résidu Sulfaté.	Chlorures en NaCl.	Soude en Na ² O.	Degré hydrotimétrique.
	(Grammes par litre)			
Niveau des Craies	0.406	—	—	25°5
Niveau du Gault	6.866	2.691	2.784	48°
Sommet du Kimmeridgien.	—	2.457	—	—
Base du Kimmeridgien . .	—	3.451	—	—
Rauracien	12.205	7.020	4.829	100°
Bathonien-Primaire . . .	20.633	16.731	8.021	330°

M. Leroux remarque que la salure croît au fur et à mesure que l'on rencontre des nappes plus anciennes et plus profondes. Or, en Belgique, j'ai pu constater en général des faits identiques, mais avec certaines exceptions à la règle. Dans ces conditions, pour déterminer la zone saline des terrains primaires, nous admettrons le principe faute de mieux, et dirons que si,

(1) Extrait des analyses publiées dans (10).

suivant une même verticale dans le bassin de Paris, bien entendu, une eau présente des caractères de salinité, celles de niveaux plus profonds et plus anciens seront plus salées encore ⁽¹⁾.

Nous allons donc être amené à étudier les phénomènes de salure ou de salinité dans les courants artésiens circulant dans les couches crétaciques ou jurassiques. Nous éliminerons de ces études le *terrain crétacé supérieur qui, dans le bassin de Paris, semble échapper totalement aux phénomènes de salure*. Nous ne nous préoccupons pas pour l'instant non plus des terrains tertiaires.

On sait depuis longtemps qu'à Saint-Martin-du-Vivier et à Sotteville, près de Rouen, des forages ont rencontré dans le Kimméridgien des venues d'eaux salines dont le résidu d'évaporation était voisin de 15 grammes par litre. On peut en déduire que les eaux du Primaire doivent être salées dans la région de Rouen. Sur les nombreux sondages qui ont atteint le Primaire au Nord de Rouen, nous ne possédons que bien peu de renseignements. Aucune prise d'échantillon d'eau n'a été faite aux sondages récents de Clères et de Ferrières-en-Bray. Le seul résultat positif est qu'un sondage exécuté jadis à Merlimont, non loin de Paris-Plage, a donné des eaux qui ont fait dire à Gosselet : « C'est de l'eau de mer. » Encore une fois, aucune analyse, mais en goûtant des eaux chargées et salines, comme celles de Vichy, qui contiennent 8 grammes de sels dissous par litre, on n'a nullement l'impression de goûter une eau marine. Il est donc probable que la salure des eaux de Merlimont était très élevée. Quant aux sondages exécutés à Boulzicourt, près de Maisières, à Guize, à Péronnes, à Gouy et à Abbeville, on ne possède aucun renseignement, si ce n'est quelques analyses isolées des eaux du Gault. C'est d'après ces maigres résultats que nous allons chercher à nous repérer.

A Châteaudun, les eaux du Gault sont en régime de salure, au sens propre de ce mot en Belgique. Leur dureté est de 3° français. Par conséquent, les eaux du terrain primaire doivent être salines au droit de Châteaudun. Au Crotoy, les eaux du Gault contiennent 3^{gr}871 de chlorure de sodium par litre et sont en zone sursalée. Les eaux du Gault sont d'ailleurs sursalées aux environs de Péronnes et d'Albert (10).

A Guise, la teneur en chlorure de sodium des eaux du Gault

(1) Ceci se vérifie dans les Vosges et à Bourbonne-les-Bains.

est de 491 mgr par litre ⁽¹⁾. Bref, avec ces quelques renseignements, nous pouvons établir que la limite Nord de la salinité du terrain primaire doit passer aux environs d'Echternach dans le Luxembourg, écorner l'extrême Sud du Luxembourg belge, passer aux environs de Boulzicourt, tout près de Maisières, légèrement au Nord de Guise, pour atteindre la mer entre Boulogne, où les eaux du Primaire sont dures, et Outreau, où les eaux du Kimméridgien sont déjà franchement salines. Une autre limite de salinité a été établie vers l'Est. Nous en avons longuement parlé au début de ce paragraphe. La limite occidentale doit passer à l'Ouest du méridien de Rouen et de Châteaudun; quant à la limite Sud, elle est momentanément indéterminable. On peut dire, tout au plus, qu'elle passe au Sud d'Evaux et au Nord de Guéret (Creuse).

§ IV. RELATION ENTRE LES EAUX SALINES DU BASSIN DE PARIS ET LES EAUX SALÉES DE LA BASSE ET DE LA MOYENNE BELGIQUE

Le bassin de Paris est séparé du système hydrologique de la Basse et de la Moyenne Belgique par les collines de l'Artois. Plus à l'Est naissent des systèmes hydrologiques très localisés, notamment celui de la vallée de la Haine. Les eaux d'infiltration de Belgique ne pénètrent dans le Primaire du bassin de Paris que par l'extrême Sud du Hainaut ⁽²⁾ et le Sud de la Province du Luxembourg. Vers ces régions, le système hydrologique de la Basse Belgique et celui du bassin de Paris sont séparés par toute une série de courants d'eaux dures et douces dont l'intégration déterminera peut-être un jour l'existence d'un *système hydrologique de la Haute Belgique*. Quoi qu'il en soit, aux environs de Douai, les eaux des systèmes hydrologiques du bassin de Paris trouvent, par l'ennoyage du dôme du Mélantois et la disparition des dernières collines de l'Artois, un seuil sur lequel elles peuvent sortir du bassin de Paris et gagner le système hydrologique de la Basse et de la Moyenne Belgique.

Ceci expliquerait des phénomènes à première vue paradoxaux, tels que la salure des eaux du torrent d'Anzin, l'existence des eaux salines de Lens, de Marchienne et de Meurchin, enfin

(1) Renseignement fourni par la firme Godin, qui voudra bien accepter mes remerciements.

(2) L'Oise prend sa source au Sud de Chimay, non loin de Forges (Belgique).

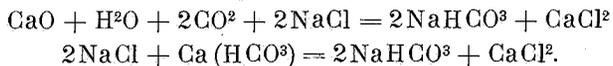
la sursalure bien contrôlée des eaux carbonifères et dévoniennes de Bailleul, entre Hazebroek et Armentières.

Rechercher une limite de salinité pour le Bassin houiller de la vallée de la Haine et raccorder aux autres tracés paraît dès lors logique. C'est ce qui a été fait en tenant compte du dédoublement du Grand Courant en France sur le tracé des limites de salure fourni dans la première partie de ce travail.

Si, par analogie, nous reprenons maintenant le système hydrologique de la Basse et de la Moyenne Belgique, nous pourrions retrouver au *Nord et à l'Est du massif schisteux rhénan* des phénomènes absolument semblables à ceux que nous avons étudiés en Lorraine. La limite de salinité du Grand Courant (branche inférieure) passe entre Eupen et Aix-la-Chapelle, probablement très près d'Aix-la-Chapelle, où les eaux sont en sursalure; elle doit atteindre la Belgique aux environs de Lanaeken, d'où elle se dirige sur le bassin campinois, que la salure conquiert tout entier.

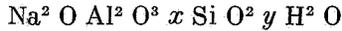
§ V. LES PHÉNOMÈNES CHIMIQUES

En l'an II de la République, sur proposition de Carny, le Comité de Salut public mettait en demeure les inventeurs de procédés susceptibles de transformer le sel marin en soude, de sacrifier à la patrie leurs intérêts privés et de déposer dans un délai de deux décades les descriptions de leurs procédés entre les mains d'une commission. C'est le procédé Leblanc qui fut retenu. Mais Carny avait obtenu la soude d'une autre façon : il mélangeait une solution de chlorure de sodium avec de la chaux éteinte et obtenait, par exposition à l'air, des efflorescences de bicarbonate de soude. Pour accélérer la réaction et la rendre plus complète, on employa par la suite du bicarbonate de chaux aux lieu et place du lait de chaux. Le procédé fut abandonné, parce que les réactions étaient trop lentes (23). Ces réactions ne s'en produisaient pas moins. On peut les exprimer par l'une ou l'autre des équations suivantes :



La seconde équation a été, cent ans plus tard, réalisée en laboratoire par Hilgard (24). Elle montre l'échange de base possible entre la chaux et la soude. Cet échange de base a été obtenu d'une façon beaucoup plus complète en faisant circuler des eaux calcaïques ou magnésiennes sur des lits filtrants com-

posés d'une matière zéolitique artificielle, connue sous le nom commercial de *permutite* ou de *permos* (25). Cette matière, qui serait en réalité caractérisée par la formule

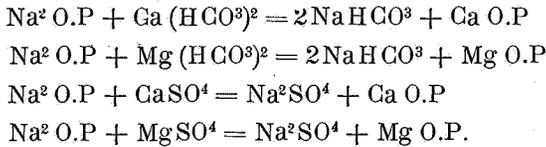


répondrait à la formule abrégée P. Na² O (25).

Les hydrologues anglais supposent que certaines formations géologiques contiennent une matière zéolitique qui joue le rôle de la permutite, pour adoucir les eaux comme dans les filtres à permutite ou échangeurs de base employés industriellement.

M. Lepersonne estime que c'est la glauconie qui est en réalité le corps naturel remplaçant la permutite (1).

Dans ce cas, les réactions se produisent ainsi :



En somme, tant que l'échangeur de base Na² O.P n'est pas complètement transformé en Ca O.P, il y a échange de base entre chaux et soude et les eaux qui sortent du filtre sont décalcifiées et exemptes de magnésie.

Il faut par la suite *régénérer* la permutite calcique, opération qui s'obtient en faisant passer à contresens un courant d'eau salée. La réaction est la suivante (25) :



Le chlorure de chaux disparaît avec les eaux refoulées à contre-courant.

Si l'action de la glauconie était prouvée, le problème des échanges de base entre les alcalino-terreux et les alcalins serait résolu et les lois de salure des eaux artésiennes belges expliquées.

En réalité les choses ne se passent pas aussi simplement.

(1) Je ne suis pas de cet avis; les réactions se passent également dans les terrains non glauconifères et même dans les formations continentales. A Louvain, les eaux du Crétacé ont une dureté de 8° au sondage du Grand Central. Les eaux du Landénien glauconifère sont au contraire dures. A Lovenjoul, les eaux de la craie sont en régime de salure et les eaux du courant landénien ont 30° environ.

Les réactions entre chaux et soude se font à peu près poids pour poids :

162	parties de	Ca (HCO ³)	produisent	170	parties de	Na HCO ³
136	id.	CaSO ⁴	id.	142	id.	Na ² SO ⁴
110	id.	CaCl ²	id.	117	id.	NaCl
100	id.	CaCO ³	id.	106	id.	Na ² CO ³ .

Si nous admettions donc *complètement* les théories anglaises, nous devrions trouver dans un litre d'eau de la zone salée une quantité de bicarbonate et de sulfate de soude qui correspond en poids à environ 107 % du poids de bicarbonate de chaux et de sulfate de chaux qui proviennent d'un litre d'eau dure (abstraction faite, pour simplifier, des sels de magnésie, généralement peu abondants).

Or, nous avons dit tantôt que les eaux phréatiques qui alimentent les nappes artésiennes ont en Belgique une dureté de 26° à 50° hydrotimétriques français.

Reprenons l'analyse des eaux du premier puits artésien d'Ostende, citée plus haut. On y trouve 0^{gr}605 de sulfate sodique qui proviendrait de l'échange de base de $0,605 \times 136 : 142 = 0^{\text{gr}}580$ de Ca SO⁴.

On y rencontre aussi 0^{gr}651 de carbonate sodique, exprimant la quantité de bicarbonate sodique en solution. L'eau avant échange de base devait donc contenir $0,651 \times 100 : 106 = 0^{\text{gr}}620$ environ de carbonate de chaux.

Si la théorie anglaise est admise, on en déduit que la dureté des eaux qui, par échange de base, ont produit celle d'Ostende serait de 102° français.

Il faudrait donc que les eaux de la zone à eaux dures eussent une dureté énorme pour justifier la présence de la quantité de carbonate et de sulfate sodique des eaux que l'on capte non seulement à Ostende, mais jusqu'à Menin (0^{gr}430 de Na² SO⁴ et 0^{gr}650 de Na H CO³ par litre), Gand (0^{gr}489 de Na² SO⁴ et 0^{gr}627 de Na² CO³ par litre) et même Courtrai (résidu : 0^{gr}978 par litre; dureté : 3,5°).

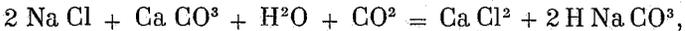
On peut donc dire que les théories anglaises, reprises par M. Lepersonne, ne permettent d'expliquer que la présence *d'une partie* des bicarbonate et sulfate sodiques contenus dans certaines eaux salées (1).

D'où vient l'autre partie? Sans aucun doute de la zone sur-

(1) A peine le tiers dans les eaux salées du premier puits d'Ostende.

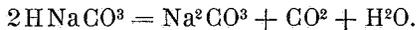
salée voisine. N'oublions pas que les eaux sursalées de Bailleul contiennent 0^{sr}968 de SO³ par litre pour une dureté totale de 11° seulement. Elles doivent donc contenir près de 1^{sr}710 de sulfate de soude par litre.

Voyons maintenant ce qui se passe dans les eaux salines captées dans le Buntsandstein, par exemple. *Il ne peut être à l'origine question d'échange de base, puisque les eaux phréatiques ne contiennent pratiquement ni chaux ni magnésie.* L'acide carbonique biologique y est libre et pourra dissoudre tout au plus quelques milligrammes de fer. Si ces eaux acidulées rencontrent sur leur parcours des fissures tapissées de calcite dans la zone saline, la réaction d'Hilgard se produira. On aura

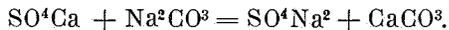
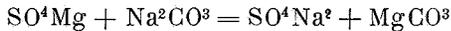


ce qui explique la formation du bicarbonate de soude.

Les eaux du forage de Wendel, à Moyeuivre, ont une température de 53°, résultant de leur captage à 1.100 m. A Bourbonnelles-Bains, la température de certaines eaux dépasse 65°. Or le bicarbonate de soude, sel instable, est complètement décomposé à 70° centigrades. On a alors :



La formation du sulfate de soude peut donc s'expliquer par



L'abondance du bicarbonate et du sulfate de soude de certaines eaux salines peut être expliquée par ces réactions en tenant compte que l'acide carbonique biologique n'est pas ici seul à agir, celui des moffettes intervenant également.

Une expérience simple, qui mériterait d'être tentée, serait la suivante : faire passer sur un filtre à permutite de l'eau marine contemporaine, à des dilutions variables, soit à l'endroit, sur de la permutite sodique, soit à l'envers, sur de la permutite calcique à régénérer. Il est possible alors que les sulfates de chaux et de magnésie de l'eau marine diluée se transforment directement en sulfate de soude. Ceci expliquerait ce que produit la rentrée des eaux marines contemporaines.

Enfin, suivant H. Schulze, l'anhydride carbonique en excès suffirait à transformer les chlorures alcalins et alcalino-terreux en carbonates, et le plus décomposable des chlorures serait le chlorure sodique. On aurait



Cette réaction (26) expliquerait la formation du carbonate de soude dans les terrains totalement dépourvus de chaux.

L'origine de l'alcali semble donc maintenant bien près d'être découverte. Celle du chlorure de sodium qui entre dans les réactions l'est complètement. Il provient de la salure résiduelle des eaux incluses dans les terrains à la suite d'une régression et, dans une certaine mesure, de la rentrée d'eau marine contemporaine dans les nappes artésiennes. Il semble exceptionnel, pour les régions étudiées, que les gisements de sel fournissent un appoint important, mais il est possible que le long de circuits géothermaux, les roches basiques soient décomposées et fournissent des alcalis. On ne se perd donc plus en conjectures sur la présence de l'alcali; on se trouve plutôt embarrassé sur le choix de son origine la plus probable. De toute façon, il semble bien que la salure résiduelle des terrains soit de loin le facteur le plus important.

Comment cette salure résiduelle existe-t-elle encore?

On peut évaluer que un mètre carré de surface de terrain recouvrant 300 mètres de grès bigarré et vosgien contient environ 90 m³ d'eau dans ses pores et fissures. Si cette eau contenait 40 kilogrammes de sels par m³, ce qui est à peu près la salure des eaux contemporaines, sous un mètre carré en surface se trouvent $40 \times 90 = 3,600$ kilogrammes de sels divers, dont, en majorité, le chlorure de sodium.

Pour diluer cette eau à 20 grammes par mètre cube, résidu sec de beaucoup d'eau distribuée dans les Vosges, il faut $3,600 : 0,020 = 180.000$ m³ d'eau d'infiltration par m². Or il s'infiltré en moyenne par an 0^m150 d'eau par m². La durée de la dilution serait donc de $180.000 : 0,150 = 1.200.000$ ans.

Le raisonnement manque de rigueur, parce que :

1° une partie des eaux infiltrées sort par des sources phréatiques et ne dessale pas les eaux artésiennes (hypothèse défavorable);

2° la dilution n'est pas nécessairement constante. Les premières eaux doivent enlever beaucoup plus de sels que la quantité contenue actuellement dans les eaux douces (hypothèse favorable donnant un temps trop long);

3° il existe parfois dans le Buntsandstein du sel gemme (hypothèse défavorable).

Quoi qu'il en soit, l'ordre de grandeur du temps nécessaire à la dilution fixe suffisamment sur la possibilité de conserver très longtemps à l'eau résiduelle une salinité élevée.

Il n'en apparaît pas moins que le débit du courant artésien

doit être faible et que la plus grande partie des eaux infiltrées alimente des sources à émergences continentales. Ce débit n'est pourtant pas nul, les équilibres hydrostatiques s'abaissant vers la Mer du Nord et la Manche.

CONCLUSION

La note qui précède a étudié les phénomènes de salure dans les courants artésiens belges : lédo-panisélien, yprésien, landénien et dans les deux branches du Grand Courant.

Dans le bassin de Paris, je n'ai pu établir qu'une limite de salinité : celle du courant Vosgien-Primaire, et constater que les eaux de la craie échappent à la salure. Je pense que ce n'est que beaucoup plus tard que l'on pourra déterminer les limites de salure et de sursalure des courants artésiens principaux : du Kimmeridgien, du Rauracien, du Bathonien-Bajocien, des grès médio et infraliasiques, du Keuper et du Muschelkalk.

Mes collègues français, et en particulier M. E. Leroux, doivent être en possession de renseignements suffisants pour établir les limites de salure et de sursalure du courant du Gault. M. Leroux a parfaitement compris que le Pays de Bray constitue une zone de dessalure. Seules les eaux phréatiques du courant Vosgien-Primaire étant douces ⁽¹⁾ *ce seront de véritables limites de salure et de sursalure qu'il conviendra de déterminer pour les courants artésiens du Gault au Muschelkalk, et non une limite de salinité.*

Pour déterminer à l'avenir de nouvelles limites de salure, il faudra essayer de se mettre d'accord sur les méthodes d'investigations à mettre en œuvre.

Tout d'abord, pour arriver à des résultats exacts, il faudra posséder des échantillons d'eau provenant d'un seul niveau bien connu.

Ce sont donc les puits artésiens ne captant qu'un seul niveau, les autres étant isolés par tubages cimentés, qui pourront seuls donner des résultats certains. Les sources minérales naturelles venant au jour à la faveur d'une cassure, avec ou sans rejet, donnent en général *un mélange* d'eau de différents niveaux superposés. Les renseignements que donnera l'analyse de leurs eaux sont donc sujets à caution.

(1) Il semble toutefois que certains niveaux du Keuper donnent des eaux assez douces. Les eaux du Gault sont moins minéralisées que celles des autres niveaux et la sursalure se manifeste à 1^{er}700 au lieu de 3^{es}000 de résidu. La surélévation du Bray crée *deux limites de sursalures.*

Lorsqu'on sera certain de la provenance de diverses eaux artésiennes, il faudra en faire les analyses de telle sorte que les résultats obtenus soient comparables. *Le dosage le plus important est celui du sodium.* Il est généralement négligé. On estime, ce qui est absolument arbitraire, que tout le sodium est à l'état de chlorure; on dose le chlore et l'on en *déduit* la teneur en Na Cl. Cette méthode simpliste n'est à peu près applicable qu'aux eaux de la zone dure proprement dite. Elle est déjà en défaut pour les eaux de la zone de précipitation et totalement inopérante pour les eaux salées et sursalées. En dosant seulement CO^2 , Cl, SO^3 , en même temps que Na, Mg et Ca, on obtient en général des résultats suffisants pour situer une eau dans la zone où elle est captée, à condition de connaître le résidu sec à 110° . La détermination du résidu sulfaté doit être formellement déconseillée. La dureté totale doit être *calculée*. Lorsque toutes les analyses seront *comparables*, il sera possible d'avancer très rapidement.

L'examen hydrologique d'un forage ou d'un puits artésien doit être confié à un hydrologue. Ce dernier doit, par les contrats de sondages, être suffisamment armé pour pouvoir faire interrompre les travaux de telle sorte qu'une prise d'échantillon d'eau puisse être faite avec toutes les précautions nécessaires.

En Belgique, les dossiers hydrologiques du Service géologique sont largement ouverts à tous ceux qui désirent s'y documenter. Il est à souhaiter que pareille méthode se généralise en France et que les hydrologues étrangers puissent, par réciprocité, bénéficier des recherches officielles.

En retournant aux faits, nous constatons que les *zones de dessalure entourent, en le transgressant généralement un peu, le contour des affleurements primaires*. Il y a donc un massif dessalé du Brabant prolongé par le dôme du Mélançois, une toute petite zone dessalée du Boulonnais qui déborde légèrement Calais et Saint-Omer.

Les mêmes phénomènes se produisent en Sarre, dans les Vosges, le Morvan, le Massif central et le Massif armoricain. Ils sont généraux pour le Courant Primaire.

Ce qui frappe à première vue, c'est la faible surface occupée dans le bassin de Paris par la zone dessalée par rapport à celle de la zone saline. *Il est donc beaucoup plus facile de trouver une eau saline ou minérale qu'une eau douce et potable.* Toute tentative de forage à grande profondeur doit donc être précédée d'une étude hydrologique qui tiendra compte notamment des différents faits analysés dans cette étude sommaire.

Quant au côté chimique de la question, je tiendrais à signaler, si l'utilité s'en présentait, que je suis sondeur et non docteur en sciences. Je serais très heureux, si j'avais fait de trop nombreuses erreurs, d'en être informé. Je n'ai pas voulu établir une théorie et me suis borné à citer des faits vérifiables.

Ce que j'ai surtout voulu montrer, sans craindre de fréquentes redites, c'est qu'il existe au moins deux processus bien différents de dessalure des terrains. Suivant que les eaux phréatiques alimentant les courants artésiens sont dures ou douces, les phénomènes se passent tout autrement.

D'une façon générale, j'ai supposé que l'acide carbonique provient d'actions biologiques s'exerçant à faible profondeur sous le sol.

Dans ces conditions, la quantité de carbonates ou de bicarbonates dissous ne devrait jamais à première vue être bien considérable. Il convient donc d'admettre que l'acide carbonique peut venir d'ailleurs. L'acide carbonique inorganique fréquemment rencontré en abondance dans les eaux des régions vosgiennes, luxembourgeoises et rhénanes explique les hautes teneurs en bicarbonate et sulfate de soude résultant des réactions que nous avons rappelées. Il est à remarquer que rien ne s'oppose, à la faveur de certaines lacunes stratigraphiques ou d'accidents tectoniques, à ce que les eaux du courant primaire pénètrent dans les courants plus récents ⁽¹⁾. Par conséquent, l'acide carbonique inorganique du courant primaire peut parfaitement augmenter la teneur en sulfate et en bicarbonate sodique de courants plus récents. Si nous restons dans les limites du courant primaire, nous pouvons appliquer les méthodes développées et les généraliser pour les sources minérales des régions sous revue, qui, soit dit en passant, sont généralement d'anciens sondages de recherche fort bien retubés par la suite. La température de ces eaux s'explique facilement et sans anomalie aucune du degré géothermique. Ce sont donc en général des eaux géothermales qui sont consommées dans les plus célèbres stations de cure. L'existence d'eaux juvéniles reste, je pense, encore à prouver, tout au moins dans les régions étudiées.

(1) A Amiens, notamment, les eaux du Bathonien et du Primaire font nappe commune. Dans le Nord de la Belgique, la craie sénonienne est en contact avec le Primaire.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE (1)

- (1) V. STOCLET, A. STEVART, *Annales des Travaux publics*, t. 23.
- (2) ROGER LALOY, Recherches géologiques et chimiques sur les eaux salées du terrain houiller du Nord de la France et de la Belgique. (*Mémoire de la Société des Sciences de Lille*, t. 13, 1874.)
- (3) W. WHITAKER, The Geology of London and of part of the Thames Valley. (*Geol. Survey mem.*, vol. I, 1889.)
- (4) RUTOT et VAN DEN BROECK, Matériaux pour servir à la connaissance de la composition des eaux artésiennes du sous-sol de la Belgique. (*Bull. de la Société belge de Géologie, etc.*, t. IV, 1890.)
- (5) J. GOSSELET, Sur les eaux alcalines des sondages profonds. (*Annales de la Société géologique du Nord*, t. XLVIII, 1925.)
- (6) J. CORNET, Les eaux salées du terrain houiller. (*Annales de la Société géologique de Belgique*, t. XXX, 1903.)
- (7) J. DELECOURT, *La salure des eaux artésiennes de la Basse et de la Moyenne Belgique.*
- (7') Première note. Niveaux artésiens compris du Heersien au Primaire. (*Annales de la Société géologique de Belgique*, t. XLVII, 1924.)
- (7'') Deuxième note. La salure dans le Limbourg et le Nord de la France. (*Ann. de la Soc. géologique de Belgique*, t. XLVIII, 1925.)
- (7''') Troisième note. La salure dans les courants tertiaires. (*Annales de la Société géologique de Belgique*, 1928.)
- (8) F. HALET, Hydrologie de la région campinoise entre la Ville d'Anvers et la frontière hollandaise. (*Compte rendu du 2^e Congrès national des Sciences*, Bruxelles, 1935, pp. 793 à 798.)
- (9) J. LEPERSONNE, Les eaux alcalines de la nappe de la craie dans le Bassin de Londres. (*Annales de la Société géologique de Belgique*, t. LVIII, pp. 38 à 63, 1934.)
- (10) E. LEROUX et P. PRUVOST, Résultats géologiques d'un sondage profond à Amiens. (*Annales de la Société géologique du Nord*, t. LX, 5 juin 1935, pp. 70 à 99.)
- (11) Congrès international des Mines, de la Métallurgie, de la Géologie appliquée, VII^e Session, Paris, 20-26 octobre 1935. (*Comptes rendus*, t. II, pp. 631 à 845.)
- (12) J. DELECOURT, Influence des Installations modernes de pompage sur le débit des puits artésiens et sur la qualité des eaux souterraines. (*Compte rendu du 2^e Congrès national des Sciences*, Bruxelles, 1935.)

(1) Les ouvrages sont cités dans l'ordre de leur présentation dans le texte.

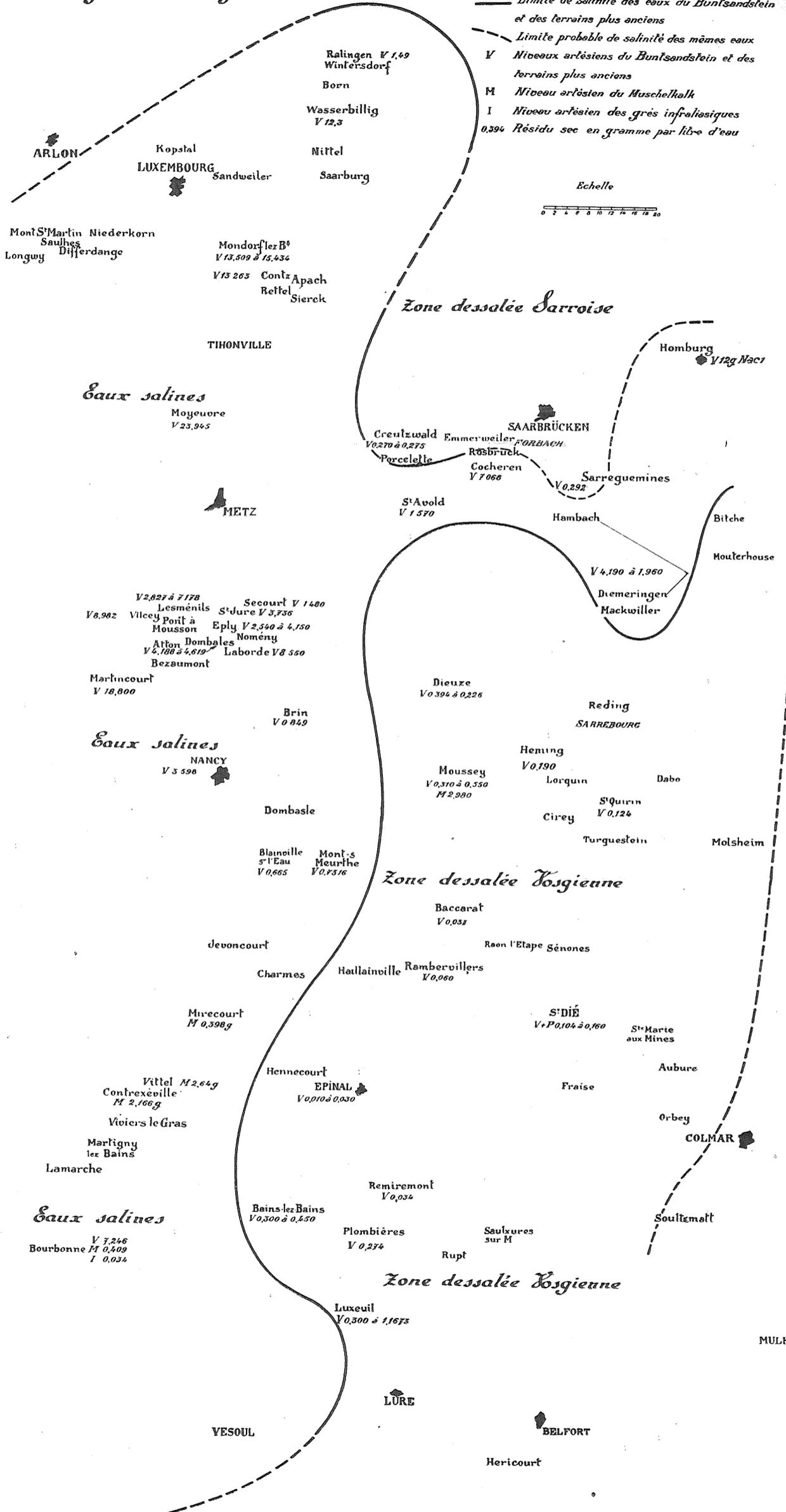
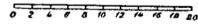
- (13) J. C. THRESH, J. F. BEALE, E. V. SUCKLING, The examination of waters and water supplies. J. A. Churchill, London.
- (14) A. RENIER, Les gisements houillers de Belgique, 7^e suite. (*Annales des Mines de Belgique*, t. XXII [Année 1921], Première livraison.)
- (15) J. DELECOURT, *L'Hydrologie du Nord de la Belgique et ses rapports avec le séparatisme flamand*. Bruxelles, Imprimerie G. Bothy, 22, rue de la Concorde, 1930.
- (16) J. DELECOURT, Le puits artésien du Sanatorium de Lovenjoul. (*Annales de la Société géologique de Belgique*, t. XLIX, Bulletin, 1926.)
- (17) Dr ÉMILE FLEURY, *Manuel d'Hydrologie*. Paris, J. Fritsch, éditeur, 1896.
- (18) F. HALET, Etude géologique et hydrologique des Puits artésiens de la ville de Malines. (*Bulletin de la Société belge de Géologie, de Paléontologie et d'Hydrologie*, 1910, t. XXIV, Mémoires.)
- (19) *Annuaire des Distributions d'eau*, 3^e édit., t. I, Paris, Dunod, 1931. Prix Bellion 1932 de l'Académie des Sciences.
- (20) L. VAN WERVEKE, Das Vorkommen von Mineral- und Thermalquellen im lothringischen und luxemburgischen Buntsandstein und die Möglichkeit der Aufschliessung von warmen Quellen im Moseltal. (*Mitteilungen der Geologischen Landesanstalt von Els-Lothr*, Band VII, Heft 1, 1909.)
- (21) L. VAN WERVEKE, Profil der Trias aus einer Tiefbohrung in Dieuze. (*Mittteil. Geol. Landesants. Els-Lothr*. Band VI, Heft 2, 1908.)
- (22) G. CORROY, Etude stratigraphique et tectonique des régions Nord du seuil de Bourgogne et du Bassin des Eaux minérales vosgiennes. (*Annales de la Faculté des Sciences de Marseille*, t. VII, FI, 1934.)
- (23) G. HALPHEM, *L'Industrie de la Soude*. Librairie Baillière et Fils, Paris, 1895.
- (24) W. HILGARD, Die Bildungsweise der Alkalicarbonate in der Natur. (*Ber. d. deutsch. chem. Gesells.*, t. 25, pp. 3625-3630, 1892.)
- (25) PHILLIPS et PAIN, *L'eau, matière brute*. (Sans date ni lieu d'édition.)
- (26) H. SCHULZE, Die Zerlegung des Chloride durch Kohlensäure. (*Pflüger's Archiv für Physiologie*, t. 27, pp. 454-484, 1882.)
-

Zone dessalée Belgo-Luxembourgeoise

Légende

- Limite de salinité des eaux du Buntsandstein et des terrains plus anciens
- - - Limite probable de salinité des mêmes eaux
- V Niveaux artésiens du Buntsandstein et des terrains plus anciens
- M Niveau artésien du Muschelkalk
- I Niveau artésien des grès infraliasiques
- 0,394 Résidu sec en gramme par litre d'eau

Echelle



Eaux salines

- V 2,827 à 7,178
- V 8,982
- Lesménils
- Vilcey
- Port à Mousson
- Atton
- Dombales
- Bezaumont
- Marincourt
- V 18,800
- Secourf
- S'Jure
- V 3,736
- Eply
- V 2,540 à 4,150
- Nomény
- Laborde
- V 8 550

Eaux salines

Eaux salines

- V 7,246
- M 0,409
- I 0,034

Gray

**Compte rendu de l'Excursion du samedi 23 mai 1936,
sous la direction de MM. C. Camerman et G. Mortelmans :
Quelques points nouveaux de la tectonique du Tournaisis.**

(Planches VII et VIII.)

Les excursionnistes se réunissent à 9 heures, à la sortie de la gare de Tournai.

Preennent part à l'excursion : MM. Camerman, de Béthune, Delépine, Dumont, M^{me} Dumont, MM. Goniau, Grosjean, Halet, Kaisin senior, Kaisin junior, Kufferath, M^{me} Lefèbvre, MM. Marlière, Mortelmans, Stevens, Thieffry.

Les excursionnistes prennent en auto la route de Bruxelles et font à la sortie de Tournai un premier arrêt devant la grande *carrière de l'Orient*, où M. Camerman rappelle brièvement la stratigraphie et l'allure du calcaire carbonifère dans le bassin de Tournai ⁽¹⁾. Continuant leur route, ils jettent un rapide coup d'œil sur la *carrière du Crampon*, où le calcaire d'Allain forme une selle bien accusée au voisinage de la grande faille de Gaurain-Ramecroix ⁽²⁾; ils se dirigent ensuite directement sur Gaurain-Ramecroix, où, aimablement reçus et guidés par M. Bataille et le personnel dirigeant de sa société, ils visitent la grande *carrière Bataille*. Cette carrière, ravitaillant en pierre calcaire les deux puissantes usines à ciment de la Société des Cimenteries Bataille, prend d'année en année un développement plus considérable. Sa profondeur est de 70 mètres environ; elle exploite l'assise épaisse de calcaire argilo-siliceux compact (veine de Gaurain-Ramecroix = veine du Bois), formant le niveau supérieur du calcaire de Tournai; puis pénètre de quelques mètres dans le calcaire subcrinoïdique de la veine de Vaulx.

Les bancs inclinent régulièrement de 7 % vers l'E.-N.-E., inclinaison qui se retrouve à l'Ouest dans les carrières Fontaine et du Monelot. Au fond de son exploitation, M. Bataille fait pénétrer les excursionnistes dans une galerie de reconnaissance

(1) Pour la désignation des carrières, cf. C. CAMERMAN, Le Gisement calcaire et l'Industrie chauxfournière du Tournaisis. (*Rev. Univ. des Mines*, 1919, 6^e sér., t. II, pp. 371 et suiv.)

(2) C. CAMERMAN, 1927, Note sur le prolongement occidental de la faille de Gaurain-Ramecroix. (*Bull. de la Soc. belge de Géologie*, t. XXXVII, pp. 12 à 16.)

qui a recoupé le « gras délit », séparant la veine de Gaurain-Ramecroix de la veine de Vaulx. Ce délit terreux donne lieu à une importante venue d'eau.

Les excursionnistes abordent ensuite l'examen de la faille limitant au Nord la carrière Bataille. C'est la faille F_5 des publications antérieures ⁽¹⁾, accident tectonique dont l'étude constitue un des principaux objets de l'excursion. Nous la dénommerons dorénavant *Faille du Monelot* (voir plan, fig. 1).

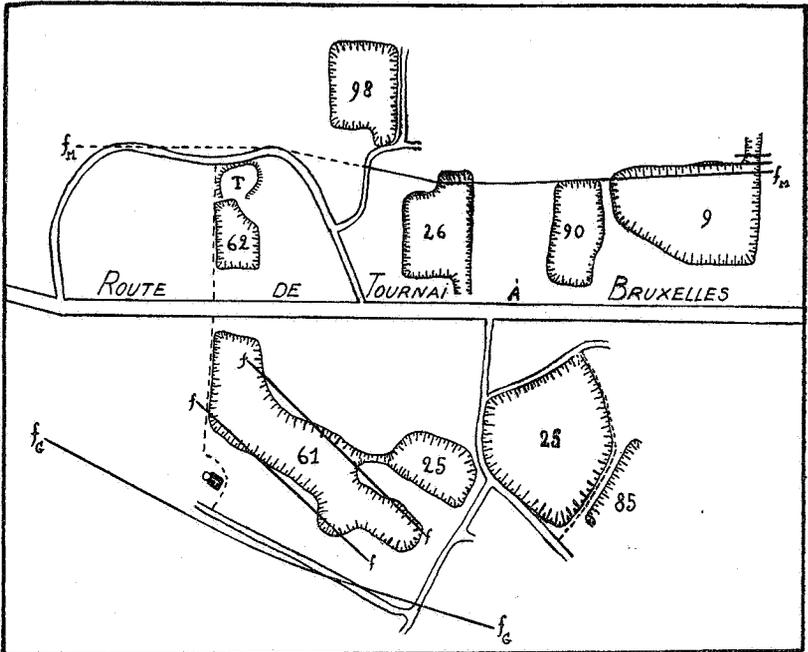


FIG. 1. — Plan des carrières de Gaurain-Ramecroix. (Échelle 1 : 10.000.)

- | | |
|--------------------------------------|---|
| f_M : faille du Monelot. | 62 : Carrière du Roc des fours. |
| f_G : faille de Gaurain-Ramecroix. | T : Terris. |
| ff : décrochements horizontaux. | 25 : Grande et petite Carrière de l'essuie-mains. |
| 9 : Carrière Bataille. | 61 : Carrière Grévisse (Roc de l'Eglise): |
| 90 : Carrière Fontaine. | 85 : Carrière des prés. |
| 26 : Carrière du Monelot. | |
| 98 : Carrière Isère. | |

Faille du Monelot dans la carrière Bataille. Cet accident s'observe particulièrement bien vers le sommet du plan incliné appuyé à la paroi Est de la carrière, où l'on constate qu'il s'agit

(1) Cf. *op. cit.*

d'un complexe de failles dont nous donnons ci-dessous le croquis (fig. 2).

Au Sud de la faille se développe une masse régulièrement stratifiée de calcaire inclinant de 7 % E.-N.-E. Le niveau à carbonniaux (nous désignons ainsi le groupe de bancs très siliceux avec rangées de cherts appelés Carbonniau — quatre pieds — sept sous — tigre — du Catiau, qui constituent le meilleur point de repère dans l'uniformité des bancs de Gaurain-Ramecroix) s'observe à une dizaine de mètres sous la surface du calcaire.

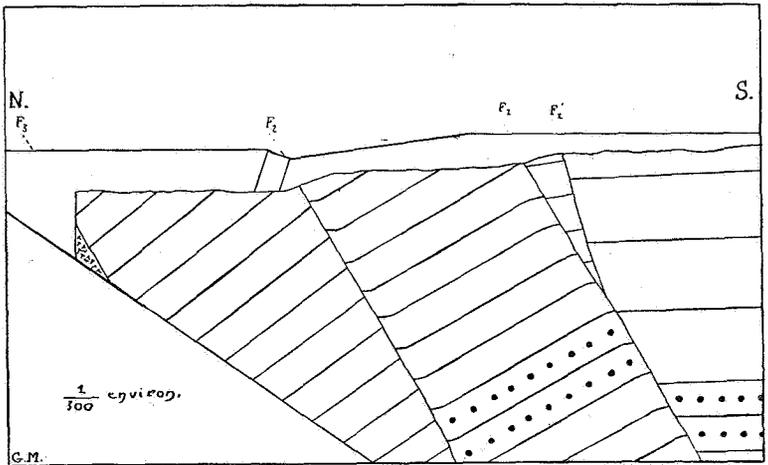


FIG. 2. — Faille du Monelot dans la Carrière Bataille.

On rencontre les premiers éléments du faisceau faillé, se présentant sous l'aspect d'une faille bifide dont les branches ($F_1 F_1'$) inclinent respectivement de 80° et de 60° Sud. Le niveau à carbonniaux est remonté d'environ 4 mètres au Nord de la faille $F_1 F_1'$. Plus au Nord on distingue encore deux failles sensiblement parallèles, F_2 et F_3 , à pendage d'environ 60° Sud, entre lesquelles le repérage des bancs n'est guère possible, vu le grand état de division du calcaire. Les divers lambeaux compris entre les failles ont un plongement croissant vers le Nord. Au Nord de la branche F_3 on ne perçoit plus qu'un peu de brèche cachée par un mur de soutènement. Ces failles ont une direction sensiblement E.-W.

A l'Ouest du plan incliné on observe en plusieurs endroits les surfaces des failles F_1 et F_2 , constituant partiellement la paroi Nord de la carrière.

Faille du Monelot dans la carrière Fontaine. Poursuivant leur route vers l'Ouest, les géologues atteignent la carrière Fontaine, attenante à la précédente et également bornée au Nord par la faille F₁. Remarquons qu'ici, par suite du relèvement des bancs vers l'Ouest, les carboniaux n'affleurent plus que partiellement au sommet de la carrière.

Faille du Monelot dans la carrière du Monelot. Les excursionnistes atteignent la carrière du Monelot, située à l'Ouest de la précédente, d'un grand intérêt pour l'étude tectonique du Tournaisis.

Rappelons qu'un de nous a donné autrefois une coupe du gisement suivant le parallèle de la carrière du Monelot (1). Cette coupe était alors partiellement hypothétique, rien n'étant visible entre la carrière du Monelot et la nouvelle carrière Alexandre Dapsens, baptisée depuis *carrière Isère*. Peu après la publication de cette coupe, des travaux de déblaiement furent pratiqués au Nord de la carrière du Monelot, et Ch. Winckz fut

(1) C. CAMERMAN, 1927, Note sur le prolongement occidental de la faille de Gaurain-Ramecroix. (*Bull. de la Soc. belge de Géol.*, t. XXXVII, pp. 12-16.)

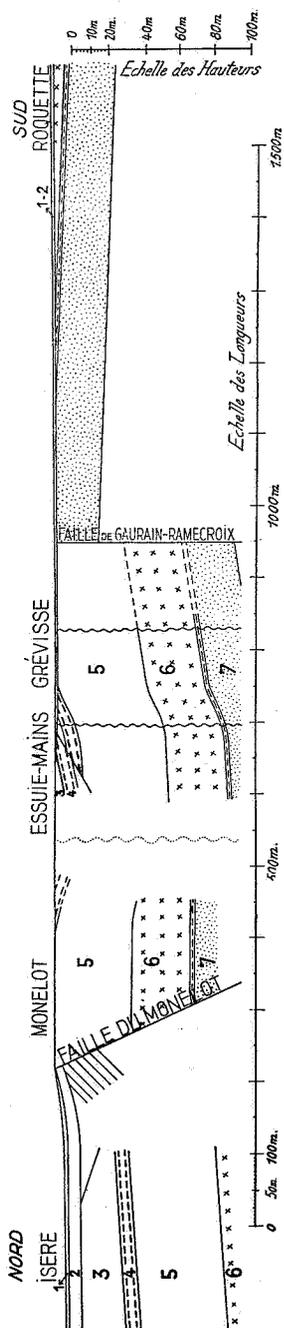


FIG. 2bis. — Coupe Nord-Sud du gisement de Gaurain-Ramecroix.

- 1. Limon quaternaire.
- 2. Tuffeau landénien.
- 3, 4, 5, 6, 7. Calcaire dinantien.
- 3 Partie supérieure de la Veine de Gaurain-Ramecroix.
- 4. Carboniaux.
- 5. Partie inférieure de la Veine de Gaurain-Ramecroix.
- 6. Veine de Yaulx.
- 7. Veine de Première.

le premier à nous signaler, ainsi qu'à J. Cornet, l'intérêt exceptionnel de ce déblai; la photographie n° 2, planche VIII, permet de s'en rendre compte.

Dans la carrière du Monelot, la plus grande partie du calcaire exploité forme une masse bien stratifiée inclinant faiblement vers l'E.-N.-E. A l'extrémité Sud de la carrière un pendage d'environ 10° Sud lui succède. Au point de vue stratigraphique, remarquons que manquent ici les bancs à carbonnux et que l'on se trouve dans le niveau inférieur à ciment portland dit « Le Rocher ». Cette masse calcaire affleure constamment et seuls quelques points localisés montrent une mince couche de limon quaternaire; elle vient buter contre la faille du Monelot, inclinant ici de 65° Sud en direction N. 80° W. Au Nord de cet accident les bancs calcaires sont brisés et fortement gauchis avec une pente d'environ 80° vers le Nord et sont surmontés d'environ 5 mètres de Landénien, inclinant d'un quinzaine de degrés vers le Nord, puis de limon quaternaire croissant en épaisseur dans la même direction. La faille du Monelot affecte le Landénien et se présente comme un mouvement tectonique récent. Une brusque dénivellation du sol vers le Nord s'amorce au passage de la faille. Les autres branches de l'accident ne sont pas visibles.

Carrière Isère. Les excursionnistes gagnent ensuite la carrière Isère (nouvelle carrière Alexandre Dapsens), ayant la forme d'un rectangle d'une longueur d'environ 150 mètres, orienté vers le Nord.

La paroi Sud de la carrière se trouve à 100 mètres au Nord de la faille du Monelot. Entre ces deux points, la dénivellation du sol est de l'ordre de 8 mètres.

A la carrière Isère, la surface du sol incline encore d'environ 2° vers le Nord. A hauteur du puisard de la carrière, soit à 150 mètres au Nord de la faille, on peut observer de haut en bas la succession suivante :

- 1° Limon quaternaire : 2 mètres;
- 2° Tuffeau landénien : 5 mètres;
- 3° Calcaire dinantien : 21 mètres.

J. Cornet, lors d'une visite faite en 1927, a attribué le Landénien aux niveaux *L1b* et *L1c*. Le limon quaternaire et le Landénien sont horizontaux, tandis que le calcaire incline d'environ 5° en direction N. 30° E., en sorte que la succession des bancs de calcaire visibles dans l'ensemble de la carrière présente une épaisseur totale d'environ 32 mètres.

Ce calcaire appartient à la veine de Gaurain-Ramecroix (calcaire argilo-siliceux compact). Le niveau caractéristique à carbonniaux, qui n'existait plus à la carrière du Monelot, se rencontre près du puisard, à 26 mètres sous le niveau du sol. Il est surmonté par du calcaire à ciment portland (75 à 80 % de carbonate calcique), puis par du calcaire titrant de 80 à 85 % de carbonate calcique, qui constitue le niveau le plus élevé connu de la série de Gaurain-Ramecroix.

Nous estimons à une quarantaine de mètres la surélévation du calcaire du Monelot par rapport à celui de la carrière Isère pris à hauteur du puisard.

De nombreux glissements bancs sur bancs sont perceptibles et une première cassure inclinant de 18° Sud est visible dans le plan incliné de la carrière.

L'attention des excursionnistes est attirée sur la surface du calcaire, qui, au contact du tuffeau landénien, est silicifiée sur quelques centimètres. Sous cette couche siliceuse le calcaire est rougi, chargé de limonite et de carbonate ferrique.

Des perforations de lithophages affectent cette zone épigénisée du calcaire, ce qui montre l'antériorité du phénomène par rapport au dépôt du Landénien.

Faïlle du Monelot à l'Ouest de la carrière du Monelot. La faille n'est plus directement perceptible dans cette direction, par suite de l'absence d'exploitation; mais si l'on parcourt le lieu dit « marais des rocs », un peu à l'Ouest de nos carrières, on remarque une véritable falaise calcaire affleurant sur 500 mètres environ dans le prolongement du tracé de la faille. Au Nord de cette falaise s'étend une dépression à peu près fermée de terrain bas et marécageux, sur laquelle les excursionnistes jettent un coup d'œil du haut d'un terris. Le major Stevens saisit l'occasion pour exposer succinctement ses conceptions des mouvements tectoniques récents, auxquelles nos constatations semblent apporter un intéressant appui.

La matinée s'achève par une visite rapide des carrières de Gaurain-Ramecroix, qui s'échelonnent au Sud de la route de Tournai à Bruxelles.

Petite carrière de l'Essuie-Mains. Cette exploitation est ouverte dans le calcaire compact de Gaurain-Ramecroix. M. Mortelmans donne la coupe de la carrière : sous quelques mètres de calcaire à ciment portland se trouve le niveau des bancs à carbonniaux surmontant une autre assise de calcaire à ciment portland dénommée « Le Rocher ». Un relèvement sensible des bancs

vers le Sud fait que dans la carrière Grévisse contiguë n'existe plus que le portland inférieur.

M. Mortelmans attire l'attention des géologues sur le jeu tectonique d'une écaille suivant une cassure dont la trace sur la paroi Est de l'exploitation a un faible pendage Nord. Cet accident provoque un rejet vertical de l'ordre de 6 mètres, le déplacement suivant la pente étant du même ordre (planche VIII, photo 1).

La paroi Nord de la carrière en montre une autre trace où le rejet n'est plus que de 2^m50.

Carrière Grévisse. De là les excursionnistes gagnent la carrière Grévisse, contiguë à la précédente. Elle nous montre deux grandes cassures verticales, mais sans rejet vertical, orientées N. 45° W. et couvertes de larges cannelures horizontales (planche VII, photos 1 et 2).

M. Camerman et divers excursionnistes émettent l'hypothèse de phénomènes de dissolution, tandis que MM. Kaisin, Mortelmans et beaucoup d'excursionnistes y voient plutôt un décrochement horizontal. Un examen détaillé fait ultérieurement par M. Mortelmans montre qu'il y a emboîtement parfait des surfaces cannelées, les phénomènes de dissolution étant tout à fait subsidiaires; il y voit la preuve de décrochements horizontaux dont l'importance est malaisément déterminable, mais suffisante cependant pour entraîner par voie de conséquence la formation des écailles subhorizontales. Des cassures à faible pendage S.-E. sont visibles dans cette carrière. Elles se ramifient et viennent buter contre la surface cannelée formant la paroi Sud de l'exploitation et ne semblent pas la dépasser (planche VII, fig. 3). C'est pourquoi M. Mortelmans y voit une conséquence du jeu des décrochements horizontaux.

Grande carrière de l'Essuie-Mains. Les géologues jetant un rapide coup d'œil sur cette carrière peuvent voir l'empilement de deux écailles à pendage S.-E. Le rejet n'est plus ici que de l'ordre du mètre, mais le déplacement suivant le plan de faille atteint 7 à 8 mètres.

Nous donnons en annexe une coupe N.-S. du gisement de Gaurain-Ramecroix (fig. 2bis).

Le programme de la matinée se termine ici. Il est près de 13 heures et les excursionnistes sont tout heureux de pouvoir casser la croûte dans un café de Gaurain-Ramecroix, où les rafraîchissements leur sont aimablement offerts par M. Bataille.

Après le déjeuner, les excursionnistes remontent en auto, se

dirigent vers Antoing, traversent l'Escaut et s'arrêtent un instant devant la grande *carrière du Vicaire*, actuellement inondée. M. Camerman donne la coupe du gisement en cet endroit. Beaucoup de bancs de la partie supérieure ont été exploités et ne sont plus visibles; d'autre part, un sondage a été foré en 1930 au fond de la carrière. L'ensemble de la coupe est le suivant :

Calcaire argilo-siliceux compact: veine du Bois ou de Gaurain-Ramecroix.	}	Partie supérieure (ciment romain) . . .	11 m.
		Veine du Bois proprement dite . . .	26 m.
		Partie inférieure avec cherts (<i>Chonetes</i>) . . .	11,50 m.

GRAS DÉLIT.

Calcaire subcrinoïdique avec cherts. Veine de Vaulx et de Chereq (7 petits carbonniaux à la base)	32 m.
Calcaire crinoïdique. Veine de première, foréesur	1,50 m.
	82 m.

L'orifice du sondage se trouve à la cote — 9,65 à la base de la veine du Bois proprement dite. La profondeur du sondage est de 45^m85; il atteint donc la cote — 55,50.

Les bancs, sensiblement horizontaux dans le Nord de la carrière, se relèvent fortement au Sud de celle-ci, décrivant même une série de petits plis en selle rappelant les allures observées le matin à la carrière du Crampon. Les conditions sont d'ailleurs semblables : des deux côtés nous nous trouvons au voisinage d'une faille importante; là-bas la faille de Gaurain-Ramecroix, ici la faille de Bruyelle.

De là les excursionnistes se rendent à la carrière ouverte après la guerre par la Société Dumon-Duquesne, dénommée *carrière du Bois del Sec*. Cette carrière, contiguë à la cimenterie Dumon-Duquesne, est située au Sud de la faille de Bruyelle. Le plan ci-contre en montre la situation (fig. 3). Elle présente un intérêt particulier, du fait que les bancs ont une allure anormalement tourmentée pour le Tournaisis. La stratigraphie en est la suivante : au sommet de la carrière et dans l'angle N.-O., on aperçoit les bancs caractéristiques dénommés sept petits carbonniaux. Ces bancs, qui représentent l'extrême base de la veine de Vaulx, sont également recoupés par le plan incliné P₂. Sous les sept petits carbonniaux, la carrière exploite le calcaire crinoïdique, riche en carbonate calcique, dit « Veine de première », dont l'épaisseur peut être estimée à environ 25 ou 26 mètres.

Au fond de la carrière, à 2 mètres au-dessus du niveau du puisard O, on distingue un banc très coquillier, qui paraît bien correspondre au niveau très constant des « bancs à moules ».

Le rejet total entre les deux carrières du Vicaire et du Bois del Sec, de part et d'autre du complexe failleux de Bruyelle, est donc très sensiblement de 80 mètres. La direction de la faille de Bruyelle ne peut être exactement déterminée; cependant, il semble résulter des accidents tectoniques observés de part et d'autre de la faille, que celle-ci a une direction approximative N. 60° W.

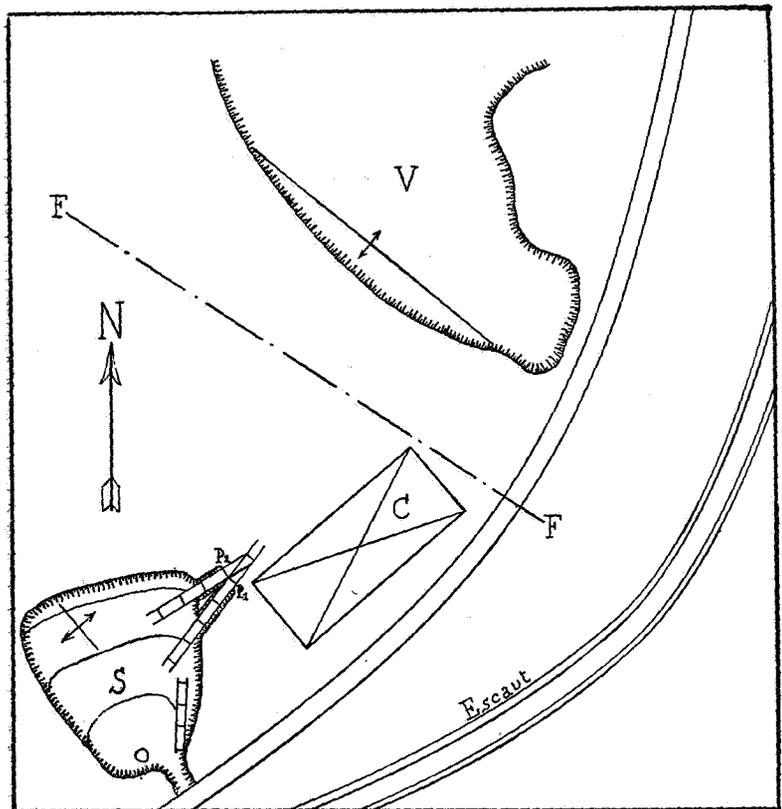


FIG. 3. — **Plan des carrières de Bruyelle.** (Échelle 1 : 5.000.)

- | | |
|--------------------------------|---|
| V : Carrière du Vicaire. | S : Carrière du Bois del Sec. |
| FF : faille de Bruyelle. | P ₁ P ₂ : plans inclinés. |
| C : Cimenterie Dumon-Duquesne. | O : puisard. |

Au point de vue lithologique nous avons observé des amas considérables de calcaire fortement dolomitisé, chose rare dans le Tournaisis.

Quatre échantillons de dolomie, les trois premiers prélevés

vers le fond, le quatrième vers le sommet de la carrière, nous ont donné les compositions suivantes :

	1	2	3	4
Silice, Alumine et Oxyde ferrique	6.79%	6.83%	5.62%	3.92%
Carbonate calcique	56.88	56.76	58.58	55.80
Carbonate de magnésie.	35.71	35.87	35.31	39.76
Corps non dosés	0.62	0.54	0.49	0.52
	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

La structure tectonique est, en beaucoup de points, indéchiffrable; certaines observations peuvent cependant être notées. Le plan incliné P₂ offre aux excursionnistes une belle masse de brèche dolomitique dont l'origine est controversée : les uns y voient un phénomène de dissolution, les autres une brèche tectonique. Étant donné le broyage tectonique intense du calcaire à quelques mètres de là, nous opinons pour la seconde hypothèse.

Le calcaire, décalcifié sur une grande épaisseur, est parcouru d'une multitude de petites failles dont le rejet intégral est appréciable : une dizaine de mètres, semble-t-il.

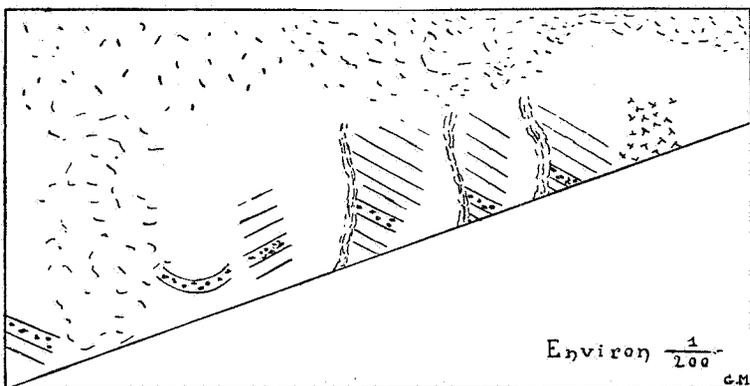


FIG. 4. — Plan incliné (P₂) de la Carrière du Bois del Sec.

Entre le massif de brèche et une zone inextricablement brouillée, les sept petits bancs à carbonniaux présentent l'allure que nous esquissons ci-dessus (fig. 4).

La zone brouillée indéchiffrable paraît être le résultat d'un réajustement surtout sous forme de petits décrochements horizontaux d'une masse calcaire profondément disloquée.

Des dislocations analogues s'observent dans le plan incliné P_1 . Un point particulièrement intéressant retient longuement l'attention des géologues et est l'objet d'une discussion : il s'agit de l'injection entre des paquets calcaires disloqués d'une masse carbonneuse, schistoïde, plus plastique.

L'analyse à laquelle l'un de nous a procédé lui a donné les résultats suivants, dont il résulte qu'on a affaire à une sorte de calcschiste très carbonneux :

Silice... ..	48,90 %
Alumine	13,78 %
Oxyde ferrique	3,95 %
Carbonate calcique	26,72 %
Carbonate de magnésie	0,13 %
Carbone	6,14 %
Corps non dosés	0,38 %
	100,00

Nous donnons ci-dessous une esquisse de l'allure tourmentée de cette roche (fig. 5 et 6).

Le caractère lithologique de la roche fait l'objet d'une discussion :

M. Camerman émet l'hypothèse d'une origine bitumineuse du carbone extrêmement ténu décelé dans la roche. M. Dumon y voit la possibilité d'une déformation plastique d'un joint schisteux. Au point de vue tectonique, la plupart des excursionnistes sont d'accord pour y voir un cas typique de dysharmonie.

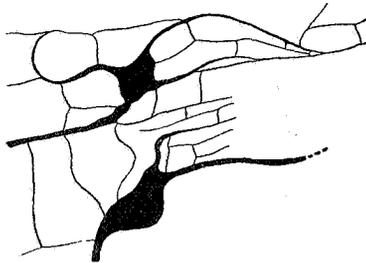


FIG. 5. — Echelle 1 : 100.

Les géologues gagnent alors la carrière proprement dite.

L'angle supérieur N.-E. leur montre une masse calcaire fortement segmentée dont les diverses parties se sont réajustées par déplacements horizontaux suivant une série de cassures sensiblement verticales, diversement orientées (N. 18° E., N. 30° E., N. 60° E.) (planche VIII, fig. 3).

Devant la répétition de ces phénomènes, M. Kaisin émet l'idée que la tectonique du Tournaisis deviendra claire quand on aura prouvé que les forces tectoniques ont joué horizontalement avec, de-ci de-là, des rejets positifs ou négatifs.

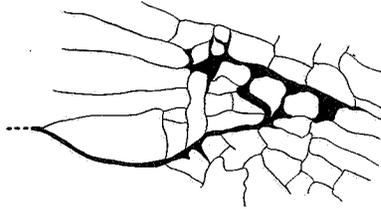


FIG. 6. — Echelle 1 : 100.

L'attention des excursionnistes est ensuite attirée par l'existence sur la paroi Nord de la carrière d'un pli anticlinal de direction N. 50° W. M. Mortelmans, qui a suivi le développement de la carrière depuis plusieurs années, fait un rappel de ses observations : en 1930, le front de la carrière, orienté à peu près dans l'axe du plan incliné P_1 , montrait cinq anticlinaux successifs. Ceux-ci, de même que celui observé par les excursionnistes, formaient des dômes extrêmement ramassés et n'affectaient guère que le palier supérieur de l'exploitation, les couches se remettant rapidement à plat en profondeur. M. Mortelmans fait remarquer qu'une fois de plus, le plissement est localisé aux abords d'une dislocation tectonique importante, la faille de Bruyelle. Ces faits suggèrent à M. Kaisin l'hypothèse de poussées superficielles tangentielles, auxquelles le fond n'a pas pris part.

Mais l'heure avance et, un peu à regret, on est forcé de renoncer à la partie finale de l'excursion, l'étude du tuffeau landénien de Chercq. Les excursionnistes se séparent alors, heureux d'une journée bien remplie au service de la science.

CONCLUSIONS

Cette excursion portait comme titre : « Quelques points nouveaux de la tectonique du Tournaisis ». Il ne nous paraît pas prématuré de noter ici, à titre d'hypothèse de travail, quelques réflexions auxquelles nos observations dans la région nous ont incités.

Le Tournaisis appartient au bord Nord du bassin de Namur. Sollicité par les poussées hercyniennes, il s'est bombé en un pli à très grand rayon de courbure, l'anticlinal de Tournai, prolongé

gement oriental du dôme du Mélantois. Ce bombement a été disloqué au paroxysme tectonique par le jeu de failles de compression et de décrochements horizontaux. La formation d'écaillés à faible rejet nous paraît liée à ces derniers par un phénomène de cisaillement. Postérieurement, la rémission des poussées amena la formation de grandes cassures verticales découpant le Tournaisis en une série de horst et de graben. Les phénomènes de plissement paraissent tout à fait subsidiaires et en relation directe avec la formation des failles. Enfin, des mouvements tectoniques récents suivant d'anciennes failles de compression sont venus, comme au Monelot, rajeunir le visage morphologique de la région.

EXPLICATION DES PLANCHES VII ET VIII

(Planche VII.)

CLICHÉ 1. — Carrière Grévisse à Gaurain-Ramecroix. Décrochement horizontal au Sud de la carrière. Le haut de la figure montre nettement l'emboîtement des masses calcaires de part et d'autre de l'accident.

CLICHÉ 2. — Carrière Grévisse à Gaurain-Ramecroix. Surface du décrochement horizontal au Nord de la carrière.

CLICHÉ 3. — Carrière Grévisse à Gaurain-Ramecroix. Le cliché montre deux coins calcaires superposés ayant joué suivant les cassures *ab* et *ac*. Ces cassures viennent se perdre dans un large joint de stratification. En *d* et dans le haut du cliché apparaît le décrochement horizontal du cliché 1 de la planche VII.

(Planche VIII.)

CLICHÉ 1. — Petite carrière de l'Essuie-Main à Gaurain-Ramecroix. FF : surface de faille peu inclinée. Les deux moitiés du cliché, de part et d'autre de l'ascenseur, forment un angle de 120° environ, ce qui fait que l'on a deux intersections du plan de faille FF et non une trace continue.

CLICHÉ 2. — Carrière du Monelot à Gaurain-Ramecroix. Ce cliché montre :

a : massif calcaire relevé.

FF : faille du Monelot.

b : calcaire gauchi au Nord de la faille.

c : surface de la faille.

L : tuffeau Landénien.

Q : limons quaternaires.

d-e : surface du sol, avec dénivellation bien marquée au Nord de la faille.

CLICHÉ 3. — Carrière du Bois-del-Sec à Bruyelle. Réajustement de petites masses calcaires suivant des surfaces *a*, *b*, *c*, d'orientation différente.

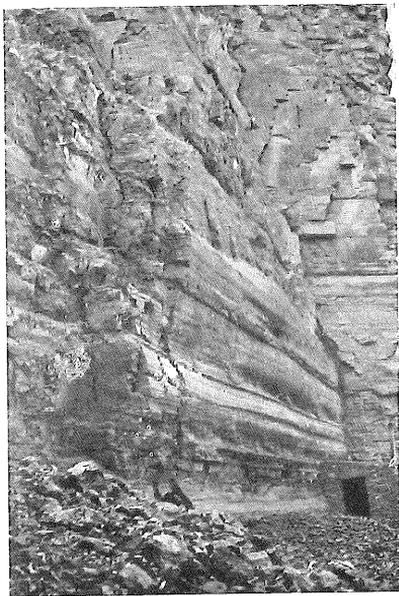


FIG. 1.

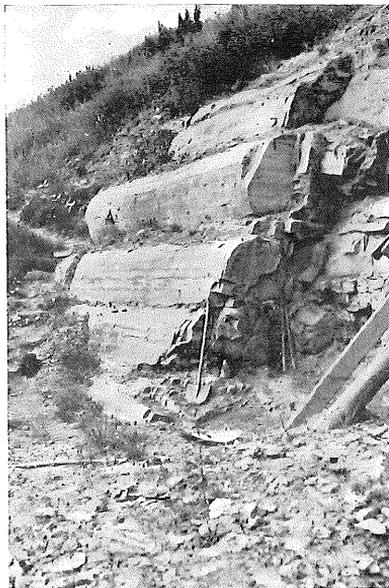


FIG. 2.

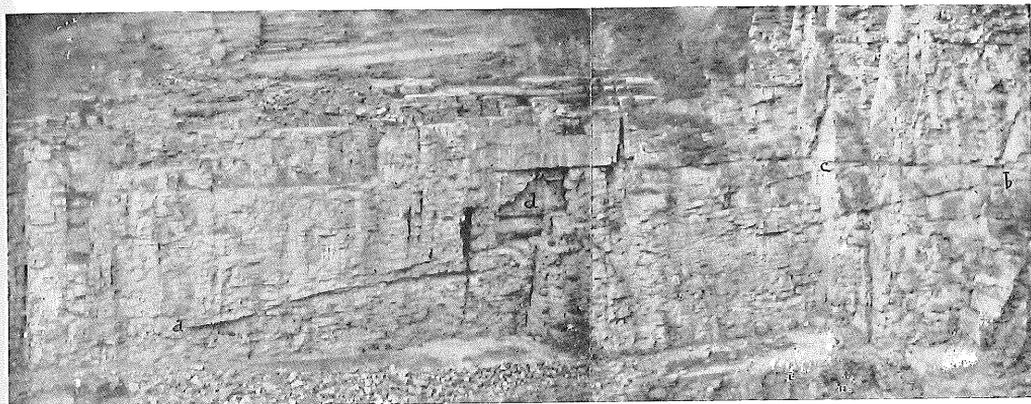


FIG. 3.

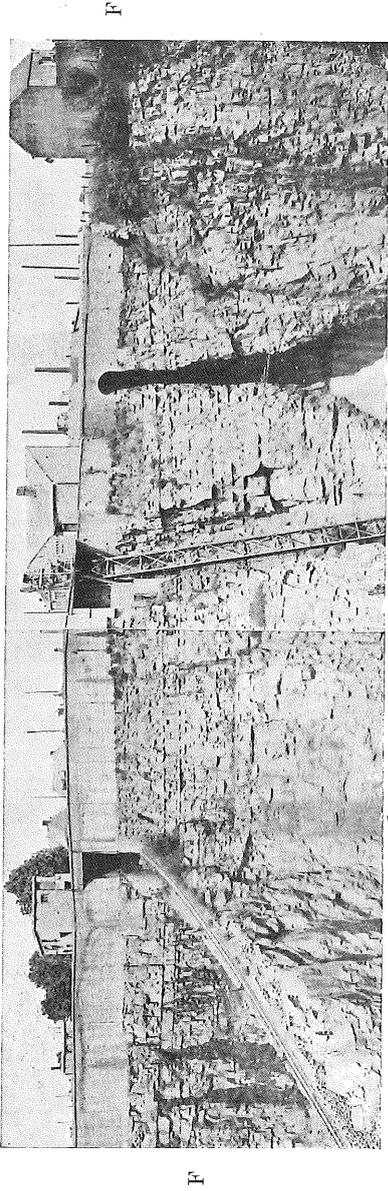


FIG. 1.

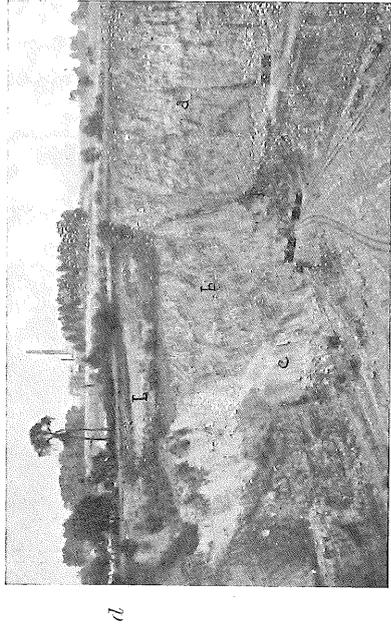


FIG. 2.



FIG. 3.

Compte rendu de l'excursion du 28 mai 1936 aux chantiers des nouveaux bâtiments universitaires, à Gand,

par ARMAND HACQUAERT.

(Planche IX.)

On construit, depuis quelques années, de nouveaux bâtiments pour l'Université de Gand. Grâce à l'exécution de ces travaux, d'importantes excavations ont été pratiquées sur le flanc Est et vers le sommet du témoin d'érosion connu sous le nom de « colline Saint-Pierre » ou « Blandinusberg ». Une de ces fouilles a déjà fait l'objet d'une description (1); l'autre sera bientôt décrite en détail par M. R. TAVERNIER (2).

Comme il est assez rare de pouvoir observer une coupe bien fraîche dans les terrains tertiaires de la région, nous avons proposé aux membres de la Société de se rendre à Gand, afin de procéder à l'étude de la fouille creusée pour l'édification de la nouvelle bibliothèque universitaire. Ce bâtiment, conçu en forme de tour, sera pourvu de trois étages de caves : les fondations sont encreées à plus de 10 mètres sous le niveau du sol.

Le jeudi 28 mai 1936, un groupe de membres se réunit à la gare de Gand Saint-Pierre, à l'arrivée du train de Bruxelles, et se rendit aussitôt Rozierstraat, à l'emplacement de l'ancienne Cité ouvrière (Cité De Vreese), en face de l'Institut des Sciences. Une profonde excavation, aux parois presque verticales, est creusée un peu à l'Ouest de l'axe de la rue Henri Conscience (n° 1 sur le plan, fig. 1). Le sol y est environ à la cote 27^m85 (3), mais au pied de la maison portant le n° 9, le niveau est légèrement plus élevé. La base de la fouille atteint la cote 17^m80. La photographie jointe à ce compte rendu donne un aspect d'ensemble des travaux (pl. IX).

Vers le sommet de la coupe, on observe sur le flanc Est un peu de *Quaternaire* (T sur la photo, pl. IX) : sable gris jaunâtre à stratification irrégulière, limoneux par endroits, surmontant

(1) R. TAVERNIER, Bijdrage tot de geologische kennis van de Blandinusberg te Gent. (*Natuurwetenschappelijk Tijdschr.*, 17, pp. 204-212, 3 fig., pl. VIII. Gand, 1935.)

(2) Dans le *Natuurwetenschappelijk Tijdschr.*, 19, 1937.

(3) La carte de l'Etat-Major ne nous renseigne pas à ce sujet, mais nous disposons d'un plan coté, dressé par les soins du Service des Travaux de la Ville et d'un levé que nous devons à l'obligeance de notre collègue, le Prof^r J. Cloquet.

un niveau graveleux où dominant des silex noirs. Ce gravier est ravinant sur l'argile sous-jacente, qui est fortement remaniée en certains endroits. La base de ce dépôt de terrasse est à la cote 27, soit à 20 mètres environ au-dessus du niveau de la plaine alluviale de l'Escaut.

Au-dessous du Quaternaire, le *Bartonien* est représenté sous deux facies : argile verte glauconifère (altérée en jaune par endroits), dite « argile d'Assche » (A), au sommet et sable argileux glauconifère, dit « wemmélien », à la base (W). Entre ces deux dépôts on observe une bande épaisse de 15 centimètres environ, d'allure irrégulière et très riche en glauconie, connue dans la région sous le nom de « bande noire ». Un tel banc,

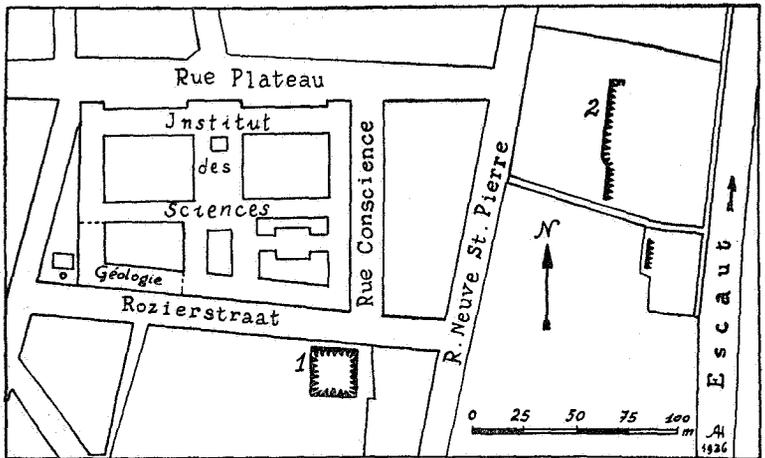


FIG. 1.

moins continu et parfois dédoublé, d'allure lenticulaire, s'observe également à la base du sable argileux. D'ailleurs, ce dernier sédiment passe graduellement au sable, et comme il est complètement décalcifié, il est assez malaisé de le distinguer du sable lédien sous-jacent; il renferme çà et là des concrétions phosphatées, que l'on n'observe pas dans le Lédien. La « bande noire » inférieure sert de limite aux deux formations. La base du Bartonien est légèrement ravinante.

Le *Lédien* (Le), visible sur toute son épaisseur, a une puissance de 8 mètres environ. Il est formé de sable généralement jaune et riche en calcaire. Les *Nummulites variolarius* sont très abondants. Vers le haut, des masses entières sont décalcifiées; le sable y est blanchâtre, irrégulièrement tacheté de limonite et

de bioxydes de manganèse. Quelques lits sont plus argileux et trois bancs, ayant une épaisseur variant entre 25 et 40 centimètres, sont si riches en carbonate de chaux, qu'ils se sont transformés en grès (« pierre de Balegem »). Des ouvriers, munis de perforatrices à air comprimé, débitent ces bancs de grès (*a*, *b*, pl. IX). Ces bancs, qui ne sont d'ailleurs pas toujours continus, se trouvent aux cotes 23 à 23^m50, 20 et 18^m50.

La base du Lédien (« Laekenien ») est légèrement ravinante sur le Panisélien et présente les caractères habituels à ce niveau : dents de poissons, fragments de coquilles roulées, grains de quartz atteignant 1 millimètre environ, etc. De rares tests roulés de *Nummulites laevigatus* furent observés. Les visiteurs eurent l'occasion de récolter de nombreux fossiles dans le Lédien.

Enfin, le *Panisélien* (P) n'est visible que sur quelques décimètres (base de la fouille à 17^m80). C'est du sable glauconifère verdâtre, légèrement argileux (« sable d'Aalter »).

Cet étage a été exposé dans les fouilles exécutées récemment rue Neuve-Saint-Pierre (n° 2 de la fig 1), pour l'édification des laboratoires des Écoles techniques supérieures (1). Les membres de la Société se sont rendus sur ces chantiers et, dans les déblais, ils ont pu observer du sable d'Aalter fossilifère. Quelques spécimens de *Venericardia planicostata* ont été recueillis.

Enfin, on avait exposé dans les locaux du laboratoire de géologie, Rozierstraat, quelques fossiles provenant de la région gantoise et appartenant aux étages yprésien, panisélien, lédien et bartonien. Quelques-unes des pièces exposées furent récoltées par E. Delvaux ou proviennent des collections de feu le Dr Ballion (2).

Nous désirons terminer ce bref compte rendu en adressant des remerciements à l'entrepreneur M. René Gillion, qui a bien voulu nous permettre l'accès de ses chantiers.

(1) Voir R. TAVERNIER, *op. cit.*

(2) Les collections du Dr Ballion furent visitées, en 1885, par les membres de la Société royale malacologique de Belgique. Elles furent acquises par le Laboratoire de Géologie de l'Université.

EXPLICATION DE LA PLANCHE IX.

Fouille de la nouvelle bibliothèque universitaire, à Gand.

Photo prise vers le Nord-Est. A droite, en haut, pignon de la maison n° 9.

M : Niveau du sol avant les travaux; cote approximative : 27^m95.

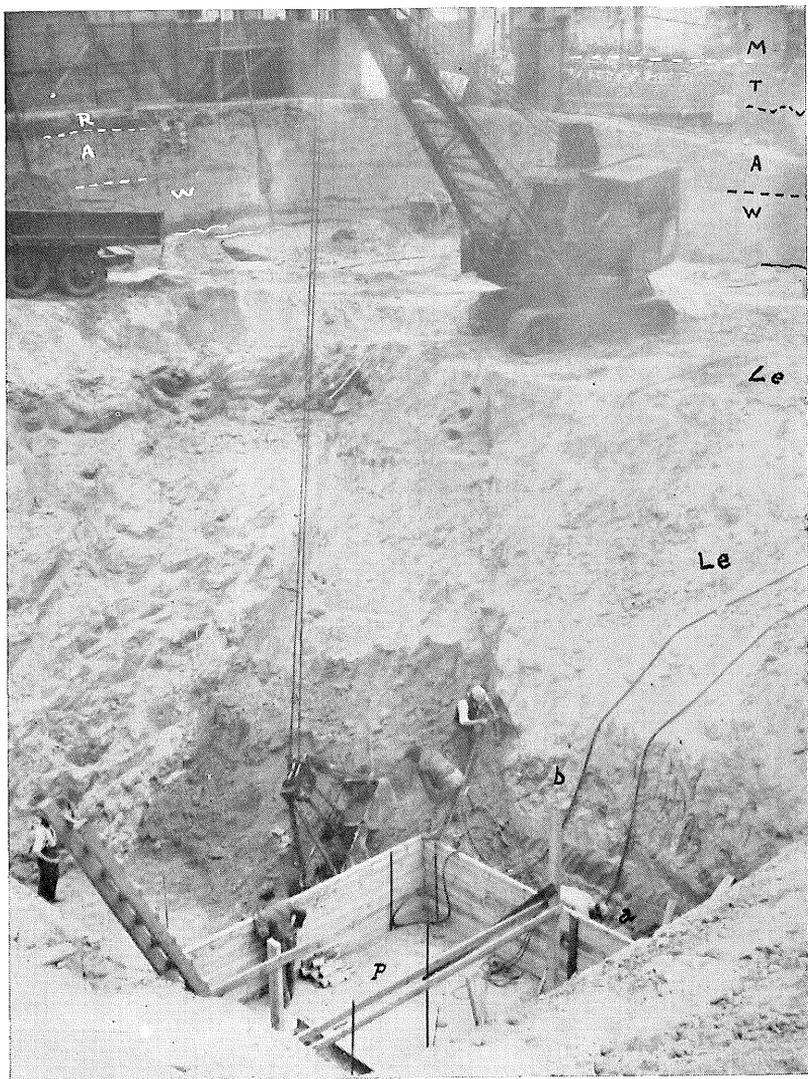
T : Quaternaire. Dépôt de terrasse.

A : Bartonien. Argile d'Assche glauconifère, limitée inférieurement par une bande noire.

W : Bartonien. Sable argileux wemmélien. A la base, bande noire sableuse, d'allure lenticulaire, dédoublée par endroits, absente ailleurs. Cette bande noire inférieure est surtout bien visible sur le front Nord, entre le camion et l'excavateur.

Le : Lédien. Sable et grès. Deux bancs de grès sont bien visibles sur le cliché, en *a* et *b*.

P : Panisélien. Le contact entre les sables panisélien et lédien coïncide à peu près avec la base de la fouille. Comme la base du Lédien est légèrement ravinante, le Panisélien affleure en quelques endroits.



A. HACQUAERT
FOUILLE DE LA NOUVELLE BIBLIOTHEQUE UNIVERSITAIRE A GAND