

SOCIÉTÉ
GÉOLOGIQUE
DU
NORD

ANNALES

Tome LXXX

1960

VOLUME PUBLIÉ AVEC LE CONCOURS DU
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD
23, RUE GOSSELET
LILLE

SOCIETE GEOLOGIQUE DU NORD

23, Rue Gosselet, LILLE — Tél. 53.05.38

Extraits du Règlement de la Société Géologique du Nord

§ 1. — L'objet de la Société est l'étude de la géologie du Nord de la France.

§ 5. — Le nombre des membres de la Société est illimité. Pour faire partie de la Société, il faut s'être fait présenter dans une de ses séances par deux membres et avoir été proclamé dans la séance suivante par le Président, après élection.

§ 8. — La cotisation annuelle est fixée à 12,00 NF. pour la France et l'Union Française ; 15,00 NF. pour l'Etranger.

§ 10. — La Société tient ses séances habituelles à Lille, de Novembre à Juillet, une fois par mois. Chaque année, d'Avril à Juillet, la Société tient des séances extraordinaires sur le terrain, aux dates et lieux indiqués aux sociétaires par avis spéciaux.

§ 13. — Les ouvrages conservés dans la Bibliothèque de la Société peuvent être empruntés par les membres (voir le règlement spécial).

Extrait du Règlement concernant les publications

§ 1. — La Société publie des *Annales* et des *Mémoires*.

§ 2. — Les *Annales* paraissent périodiquement. Elles forment annuellement un volume qui est distribué gratuitement aux membres.

§ 3. — Les *Mémoires* sont publiés lorsque la situation financière de la Société le permet. Ils ne sont pas envoyés gratuitement aux membres qui pourront se les procurer à un prix de faveur fixé par le Conseil (voir le règlement spécial et les prix au dos de la couverture).

§ 8. — Les *Mémoires* ne peuvent être mis en vente par les auteurs.

Tirages à part

Les tirages à part sont faits, après avis du délégué aux publications, sur le même papier que celui des Annales ou sur un papier différent, à la demande des auteurs, avec ou sans couverture. En raison des fluctuations actuelles des prix, ceux-ci sont fixés par l'imprimeur.

Cotisation 1960 : 15,00 NF. — Etranger : 20,00 NF.

Pour tous renseignements et abonnement, s'adresser à :

M. le Secrétaire de la Société, Institut de Géologie, 23, rue Gosselet, LILLE.

Compte Chèques Postaux : Lille 5247 — Téléphone : 53.05.38

ANNALES DE LA SOCIETE GEOLOGIQUE DU NORD

Compte Chèques Postaux : Lille 5247

Tome I à X (moins I, II, III, VIII, IX épuisés) ne se vendent plus qu'avec la série complète ..	8,00 NF.
Tomes XI à XLVI (sauf XXXVIII, XXXIX et XLV épuisés)	8,00 »
Tomes XLVII à L (sauf XLVIII épuisé)	10,00 »
Tomes LI à LXXVII, chacun	12,00 »
Tome LXIV (disparu pendant l'occupation)	»
Tomes LXVIII à LXXI, chacun	16,00 »
Tomes LXXII à LXXIV	24,00 »

SOCIÉTÉ
GÉOLOGIQUE
DU
NORD

ANNALES

Tome LXXX

1960

VOLUME PUBLIÉ AVEC LE CONCOURS DU
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD
23, RUE GOSSELET
LILLE

MEMBRES DU BUREAU

— 1960 —

<i>Président</i>	M. J. RICOUR
<i>Vice-Président</i>	M. P. DUMON
<i>Directeur</i>	M. P. PRUVOST
<i>Secrétaire</i>	M. M. WATERLOT
<i>Trésorier</i>	M. l'Abbé TIEGHEM
<i>Délégué aux publications</i>	M. J. POLVÊCHE
<i>Bibliothécaire</i>	M ^{me} S. DEFRETIN
<i>Libraire</i>	M. J. CHALARD
<i>Secrétaire-adjoint</i>	M ^{lle} D. LE MAÎTRE

A N N A L E S
D E L A
S O C I É T É G É O L O G I Q U E D U N O R D
publiées avec le concours du Centre national de la recherche scientifique

Société fondée en 1870 et autorisée par arrêtés en date des 3 Juillet 1871 et 28 Juin 1873

23, rue Gosselet, Lille — Tél. 53.05.38 — C.C.P. Lille 5 247

Séance du 6 Janvier 1960

PRÉSIDENCE DE M. CH. DELATTRE, PRÉSIDENT

La Société procède, conformément aux règlements, au renouvellement de son Bureau.

M. J. RICOUR est élu *Président* pour l'année 1960, il a obtenu 32 voix sur 43 suffrages exprimés.

M. P. DUMON est élu *Vice-Président* pour l'année 1960, il a obtenu 42 voix sur 43 suffrages exprimés.

M. P. PRUVOST est élu *Directeur*

M. M. WATERLOT » *Secrétaire*

M. G. TIEGHEM » *Trésorier*

M. J. POINÉCHE » *Délégué aux Publications*

M. J. CHALARD » *Libraire*

M^{lle} D. LE MAÎTRE » *Secrétaire adjoint*

M^{me} S. DEFRETIN » *Bibliothécaire*

Sont élus membres de la Société :

M^{lle} BRICE, Assistante à la Faculté libre des Sciences, 13, rue de Toul, Lille (présentée par M. Dubar et M^{lle} Le Maître).

M. CALLENS, Industriel, 217, Bd de la Liberté, Lille (présenté par MM. Waterlot et Fourneau).

M. P. THEILLIER, Géologue au B.R.G.G.M., 28, rue de l'Intendance, Valenciennes (présenté par MM. Ricour et Chalard).

M. D. PFEFFER, Licencié ès-Sciences, 40, rue Voltaire, Saint-Quentin (Aisne) (présenté par MM. Waterlot et Delattre).

Le Président présente ses félicitations à M. COLLIGNON, Général de Division en retraite, qui vient d'être élu Membre correspondant de l'Académie des Sciences.

M^{lle} D. LE MAÎTRE présente une note sur « Les Calcaires hercyniens de la bordure sud-orientale du Massif Armoricaïn ».

M. A. BONTE présente plusieurs notes parues récemment sur le Boulonnais.

COMMUNICATIONS

**Découverte de *Reticuloceras metabilingue* Wright et de *R. wrighti* Hudson
au Siège de Sessevalle du Groupe de Douai des H.B.N.P.C.**

par J. CHALARD et A. DALINVAL (1)

Pl. I

Sommaire. — *Reticuloceras metabilingue* et *R. wrighti* ont été trouvés à la fosse de Sessevalle à 130 m au mur de la Passée de Laure. Localisation et description du gîte. Description et figuration des spécimens trouvés. C'est la première fois que ces espèces sont signalées en France. Elles indiquent l'existence de la sous-zone R2 (Marsdénien des auteurs anglais) dans le Namurien du Nord de la France.

Le siège de Sessevalle se trouve en bordure nord-est du Groupe de Douai ; il exploite un gisement plissé dans le faisceau d'Olympe de l'assise de Vicoigne, composé d'une série d'anticlinaux et de synclinaux dont les axes sont orientés sensiblement est-ouest.

Ce gisement est situé sur le bord nord du Bassin. Le massif auquel il appartient se trouve être en surélévation dans la région de la fosse de Sessevalle, et s'ennoie ensuite lentement à l'est vers les fosses Agache et d'Arenberg du groupe de Valenciennes et plus rapidement à l'ouest vers la fosse Barrois du groupe de Douai.

L'étage 440 est ainsi le dernier étage d'extraction de la fosse de Sessevalle, car il n'y apparaît plus que quelques fonds de synclinaux productifs, mis à part le versant situé le plus au sud, qui sera déhouillé par les fosses Agache et Barrois.

C'est pour permettre l'exploitation de ces différents versants entre les étages 290 et 440 que la bowette nord-est et son prolongement nord viennent d'être creusés. La coupe verticale (fig. 1) passant non loin de ce prolongement montre en effet que si la plupart des veines ne descendent pas jusqu'à l'étage 440, elles s'en approchent souvent de très près.

La bowette a traversé notamment l'anticlinal séparant les versants 3 et 4 à 1040 m, permettant ainsi d'étudier la partie supérieure de l'assise de Flines sur une distance de 160 m environ en stamper normales sous le niveau marin de la Passée de Laure. Cette zone est très régulière et montre en particulier de 1154 à 1165 m le massif de quartzites clairs à petits grains noirs d'oxyde de fer déjà

repéré en d'autres points du groupe de Douai, notamment dans le recoupage nord 290 quartier nord-est du siège Lemay (DalINVAL 1954), ainsi que diverses passées contenant souvent au toit une faune marine pauvre à *Lingula mytilloides* et *Planolites ophthalmoides*.

C'est à 995 m dans le versant 3 et à 1081 m dans le versant 4 que se situe l'horizon qui nous intéresse ici ; sa distance verticale sous le niveau marin de la passée de Laure est de 130 m environ. La coupe est la suivante à 1081 m, du toit au mur :

— Schistes durs à *Planolites ophthalmoides*.

— 0,15 à 0,20 : schistes durs, assez fins, contenant : *Lingula mytilloides* SOWERBY, *Orbiculoidea missouriensis* (SHUMARD), *Edmondia sulcata* (PHILLIPS), *Schizodus carbonarius* (SOWERBY), *Sch. ariniformis* (PHILLIPS), *Falaeolina boltoni* DEMANET. « *Nuculopsis* » *laevirostris* (PORTLOCK), *Ariculopecten delepini* DEMANET, *Bucaniopsis moravicus* (KLEBELSBERG), *Euphemus jacksoni* WEIR, débris de Nautiloïdes et de *Metacoceras*, *Reticuloceras metabilingue* WRIGHT, *R. wrighti* HUDSON.

— 0,40 : calcaire gris-noir à nombreuses petites enérines.

— 0,18 : charbon.

Les Goniatites sont assez rares dans ce toit, et les recherches prolongées effectuées par l'un de nous (A.D.) avec l'aide de M. J. BIERMONT, géomètre à la fosse de Sessevalle, n'ont permis d'en recueillir que quelques fragments, et seulement au point 1081 m (versant 4). Au point 995 (versant 3), où le même banc passe également, aucune Goniatite n'a été découverte.

(1) Ingénieurs-géologues aux Houillères du Bassin du Nord et du Pas-de-Calais (H.B.N.P.C.).

S. DE SESSEVALLE - Coupe verticale passant par le méridien 666.500

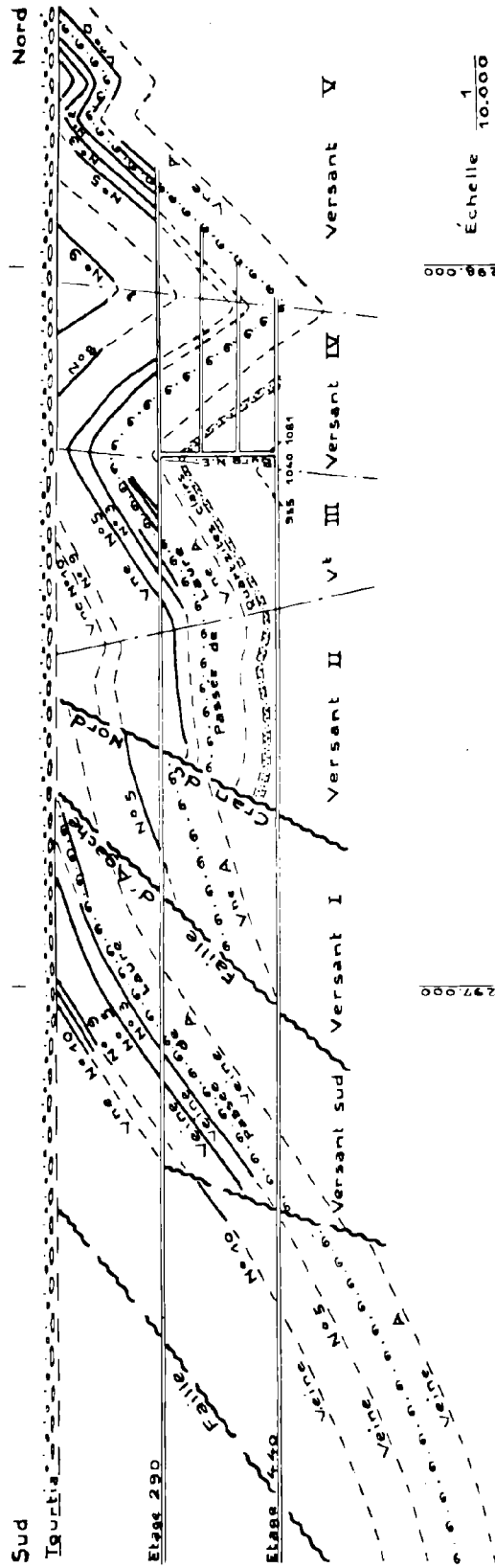


FIGURE 1

Pour la détermination des Goniatites, nous avons demandé l'aide de MM. A. DELMER et J. BOUCKAERT, auxquels les espèces de la zone R2 sont familières. Nous avons pu, avec eux, comparer nos échantillons à des échantillons bien déterminés de différentes espèces de *Reticuloceras* conservés dans la collection

du Service Géologique de Belgique : ils ont conclu que les échantillons trouvés à la fosse de Sessevalle appartenaient aux espèces *Reticuloceras metabilingue* WRIGHT et *R. wrighti* HUDSON. Nous les remercions de leur aide.

DESCRIPTION DES FOSSILES TROUVÉS

PREMIÈRE PIÈCE (Pl. I, fig. 1, 1a, 1b). — *Reticuloceras metabilingue* WRIGHT :

Fragment d'empreinte positive mesurant 15 mm de long sur 9 mm de large dans sa plus grande largeur. Ce fragment a été fossilisé seul, la coquille ayant été brisée avant la fossilisation. L'individu entier mesurerait entre 15 et 20 mm de diamètre (dimensions prises sur une coquille aplatie).

Le fragment trouvé est une portion du flanc gauche appartenant à la partie la plus récente de la coquille, limitée par le bord buccal, avec une *lingua* bien développée. Sur le flanc, stries radiaires fines et régulières, très serrées (8 au mm), non crénelées nettement. Toutefois, en certains points sur le flanc et sur la *lingua*, certaines stries radiaires montrent une légère tendance à la crénelure. Sur la *lingua* aussi, les stries radiaires sont fines, mais elles sont moins serrées (5 stries au mm).

Lingua prolongée en arrière, sur le flanc, par une « roue » un peu surélevée, étroite et régulière ; la roue est bien limitée du côté ventral par une ride inflexionnelle fine et saillante, elle est limitée de façon moins nette du côté dorsal par un sillon large et à section arrondie, empiétant sur la roue (empiètement du sillon sur la roue dû peut-être à une déformation mécanique du fossile au cours de la fossilisation). Apparence de quelques stries spirales peu distinctes sur la *lingua*, surtout dans la partie du fossile la plus éloignée du bord buccal.

Cette pièce appartient à une espèce plus évoluée que *R. bilingue* (SALTER) en raison des caractères suivants :

- 1) stries radiaires non crénelées nettement ;
- 2) « roue » étroite et régulière, un peu surélevée ;
- 3) *lingua* bien prononcée ;
- 4) disparition presque complète des stries spirales sur la *lingua*.

Elle appartient cependant à une espèce moins évoluée que *R. superbilingue* BISAT dont elle diffère par les caractères suivants :

1) tendance à la crénelure, visible sur certaines stries radiaires ;

2) « roue » moins bien marquée (il n'y a pas de ride inflexionnelle nette limitant la roue du côté dorsal) ;

3) *lingua* moins prononcée ;

4) traces de quelques stries spirales sur la *lingua*.

Ces caractères sont ceux de l'espèce *R. metabilingue* WRIGHT à laquelle cette première pièce doit être rapportée.

DEUXIÈME PIÈCE (Pl. I, fig. 2, 2a, 2b ; contre-empreintes fig. 3, 3a, 3b). — *Reticuloceras wrighti* HUDSON :

Fragment d'empreinte positive mesurant 20 mm de long sur 10 mm de large. Ce fragment a été fossilisé seul, la coquille ayant été brisée avant la fossilisation. La coquille entière mesurerait environ 25 mm de diamètre (dimension prise sur une coquille aplatie).

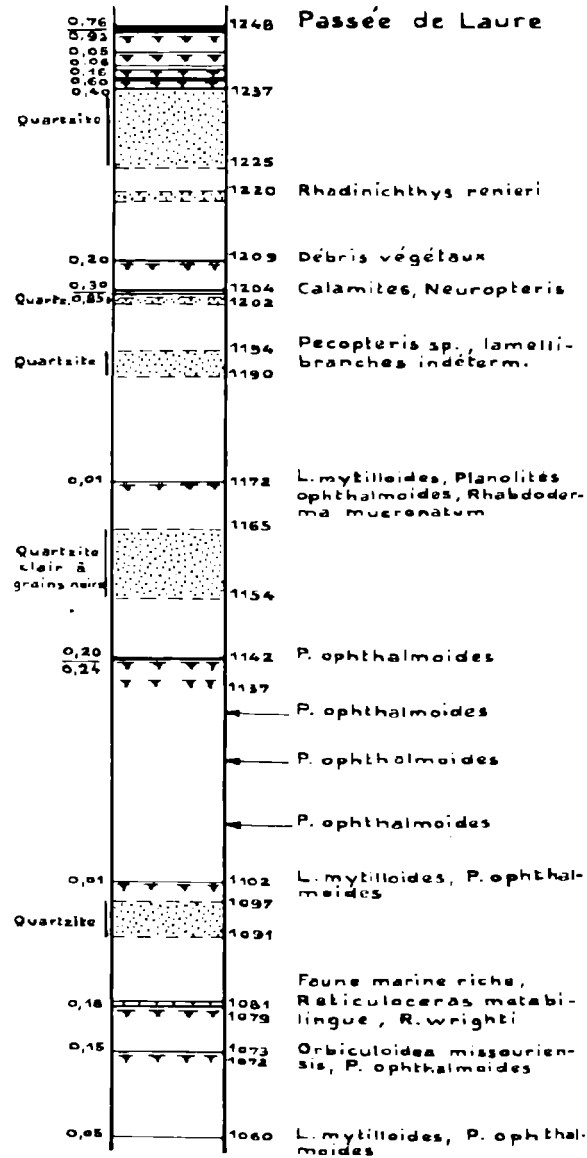
Le fragment trouvé est une portion du flanc droit appartenant à la partie la plus récente de la coquille, limitée par le bord buccal. Il possède une *lingua* bien développée (mais non entièrement dégagée de la roche sur le spécimen). Sur le flanc, stries radiaires parallèles, fines, très serrées (12 par mm), non crénelées. Toutefois, en certains points sur le flanc, les stries radiaires, un peu irrégulières, paraissent un peu sub-crénelées. Sur la *lingua* aussi les stries radiaires sont fines, mais elles sont moins serrées (5 à 6 stries par mm), elles ne montrent pas de crénelures nettes.

Lingua prolongée en arrière sur le flanc, par une « roue » assez nette, plus surélevée que sur la pièce précédente ; la roue est limitée du côté ventral par une ride inflexionnelle saillante et sub-anguleuse, du côté dorsal par un sillon large et à section arrondie empiétant sur la roue (disposition due peut-être, comme pour la première pièce, à une déformation mécanique au cours de la fossilisation).

Siège De Sessevalle

Prolongement Bowette nord-est 440

Coupe stratigraphique au 1/1000



LÉGENDE

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> Calcaire Grès ou quartzite Schiste | <ul style="list-style-type: none"> Charbon Mur Limite de banc |
|---|---|

FIGURE 2

Cette deuxième pièce est très proche de la première. Elle en diffère néanmoins par les caractères suivants :

1) stries radiaires du flanc plus fines et plus serrées ;

2) « roue » mieux marquée (la ride inflexionnelle du côté ventral a un profil sub-anguleux) et plus surélevée ;

3) pas de traces de stries spirales sur la *lingua*.

Elle est intermédiaire entre la pièce précédente (*R. metabilingue*) et l'espèce *R. superbilingue* dont elle se rapproche par l'absence de crénelures sur les stries radiaires, et l'absence de stries spirales sur la *lingua*.

Elle diffère toutefois nettement de *R. superbilingue* par les caractères suivants :

1) tendance à la sub-crénelure visible encore sur certaines stries radiaires ;

2) « roue » moins bien marquée que chez *R. superbilingue* et limitée par une seule ride inflexionnelle nette, alors qu'il y en a deux, bien nettes, chez *R. superbilingue* ;

3) *lingua* moins prononcée que chez *R. superbilingue* où la *lingua* est davantage « projetée » en avant.

Ce sont les caractères de l'espèce *Reticuloceras wrighti* HUDSON à laquelle cette deuxième pièce doit être rapportée.

POSITION STRATIGRAPHIQUE

La coupe stratigraphique (fig. 2) donne la position du niveau à Goniatites par rapport au niveau marin de la Passée de Laure, et le détail des terrains trouvés entre les deux horizons. Ces 130 m de stampe montrent, comme toujours dans le terrain houiller, des alternances de couches de charbon (avec mur) de grès et de schiste. Mais on remarquera les particularités suivantes : les couches de charbon sont relativement minces ; les bancs de grès au contraire sont épais et généralement à l'état de quartzite ; enfin beaucoup de schistes contiennent des faunes marines, mais le plus souvent des faunes pauvres à *Lingula mytiloides* et *Planolites ophthalmoides*. Ce sont les caractères de la « Série à faune marine pauvre » décrite par l'un de nous (J.C. 1958). Le seul niveau à faune relativement riche est le niveau à 1081 m, celui qui a fourni précisément les Goniatites.

Remarquons qu'ici aussi, comme c'est la règle dans l'assise de Flines, les Goniatites sont localisées dans des schistes qui surmontent immédiatement un banc de calcaire à émerines.

Sur un plan plus général, la découverte de ces Goniatites est importante : c'est la première fois, à notre connaissance, que ces espèces sont trouvées en France ; c'est la première fois aussi que l'on signale des Goniatites de la zone R2 (Marsdénien des auteurs anglais) dans le Namurien du bassin houiller du Nord de la France, alors que ce bassin a déjà fourni abondamment des Goniatites des zones E, II et R1.

La découverte, à la fosse de Sessevalle, de Goniatites de la zone R2 nous apporte donc un nouveau jalon dans la connaissance de la stratigraphie du bassin. Ce jalon est d'autant plus précieux qu'il est proche de l'horizon à *Reticuloceras superbilingue* BISAT, et surtout de l'horizon à *Gastrioceras subcrenatum* (SCHLOTHEIM) choisi comme limite entre le Namurien et le Westphalien et qu'il serait particulièrement heureux de découvrir chez nous. Mais jusqu'à présent, rappelons-le, jamais ni *R. superbilingue* ni *G. subcrenatum* n'ont été trouvés dans le bassin houiller du Nord de la France.

BIBLIOGRAPHIE

BISAT W.S. (1924). — The carboniferous Goniatites of the North of England and their zones. *Proc. Yorks. geol. Soc.*, vol. XX, part. I.

BOUROZ A. (1954). — Contribution à l'étude du Namurien du bassin houiller du Pas-de-Calais. *A.S.G.N.*, t. LXXIV, p. 137-160.

CHALARD J. (1958). — Contribution à l'étude du Namurien du bassin houiller du Nord de la France. *Thèse soutenue le 19 décembre 1958*, Lille (à paraître).

DORLOBOT (J. DE) et DELÉPINE G. (1930). — Faune marine du terrain houiller de la Belgique. *Mém. Inst. géol. Univ. Louvain*, t. VI, fasc. I, Louvain.

DALINVAL A. (1954). — Quelques niveaux-repères dans le houiller inférieur du bord nord du bassin au Siège Lemay. *A.S.G.N.*, t. LXXIV, p. 125-137.

HUDSON R.G.S. (1945). — The Goniatites Zones of the Namurian. *Geol. Magazine*, vol. LXXXII, n° 1.

WRIGHT W.B. (1926). — New Goniatites from the Millstone Grit of Lancashire. *Sum. Progress geol. Survey Great Brit. for 1925*, Appendix VIII, p. 192-198.

WRIGHT W.B. (1927). — The Geology of the Rossendale Anticline, Palaeontology. *Geological Survey Memoirs England*, chap. IX, p. 111-130, Londres.

EXPLICATION DE LA PLANCHE I

Les clichés photographiques ont été exécutés au laboratoire de géologie de la Faculté des Sciences par M. A. Leblanc.

FIG. 1. — *Reticuloceras metabilingue* WRIGHT. Empreinte positive, grandeur naturelle.

FIG. 1a. — Même spécimen $\times 3$.

FIG. 1b. — Même spécimen $\times 5$.
N° 1960-740

FIG. 2. — *Reticuloceras wrighti* HUDSON. Empreinte positive, grandeur naturelle.

FIG. 2a. — Même spécimen $\times 3$.

FIG. 2b. — Même spécimen $\times 5$.
N° 1960-746

FIG. 3. — *Reticuloceras wrighti* HUDSON. Contre-empreinte négative du même fossile, grandeur naturelle, éclairage inversé.

FIG. 3a. — Même spécimen $\times 3$.

FIG. 3b. — Même spécimen $\times 5$.
N° 1960-752

Origine de tous les spécimens : Fosse de Sessevalle, prolongement de la bowette nord-est à l'étage 440, toit du calcaire à 1081 m .

Position stratigraphique : à 130 m en perpendiculaire sous la Passée de Laure. Zone R2 (Marsdénien).

-----0-----

Le *Dicrostonyx henseli* Hinton, Lemming du Pléistocène. Sa répartition dans le temps et dans l'espace

par le Docteur Madeleine FRIANT (1)

Sommaire. — Dans l'état actuel de nos connaissances, le *Dicrostonyx henseli* HINTON, par la répartition de ses gisements, au cours du Würmien supérieur, souligne, d'une manière frappante, les districts toundroïdes, d'abord très restreints, qui s'étendirent, ensuite, largement en Europe occidentale, à la fin de la dernière glaciation.

I. — LES CARACTÈRES DU GENRE *DICROSTONYX*

Le *Dicrostonyx* est un Microtiné de taille moyenne, assez isolé des autres à beaucoup de points de vue. Il se distingue surtout par des *caractères extérieurs* : couleur du pelage, griffes des extrémités antérieures, et des *caractères anatomiques* (très importants pour les espèces fossiles) : morphologie du crâne et de la dentition.

a) Caractères extérieurs.

Le PELAGE d'été, dans son ensemble, est brunâtre ou grisâtre, avec des poils assez courts (15 à 18 mm), alors que le pelage d'hiver est complètement blanc, avec des poils plus longs (25 mm environ). Les mues (très exceptionnelles chez les Rongeurs simplicités) ont lieu en automne et au printemps.

LES GRIFFES des doigts III et IV de L'EXTRÉMITÉ ANTÉRIÈRE, au début de l'été, sont assez larges et bulbeuses à la base ; puis, la partie bulbeuse se développe au-dessous de la griffe et devient aussi forte, ou même plus forte, que la griffe primordiale : il existe, alors, deux griffes l'une sur l'autre ; enfin, la griffe originelle se détache peu à peu. Il y a, par suite, un changement périodique de ces griffes, comme il existe un changement périodique des bois chez les Cervidés. Ici, le phénomène est en rapport avec l'hibernation relative du *Dicrostonyx*, qui se creuse des galeries dans le sol pour y demeurer durant la saison froide, alors qu'en été, il mène une vie active.

b) Caractères anatomiques.

Le CRANE, d'une longueur condylo-basale de 29 à 32 mm, est robuste, élargi et un peu déprimé, avec un rostre allongé (fig. 1).

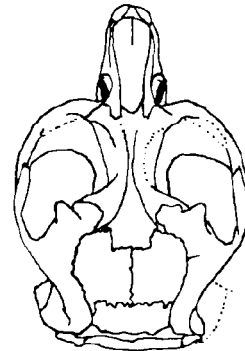


FIG. 1. — Crâne de *Dicrostonyx henseli* HINTON vu par sa face supérieure. Dépôts pléistocènes des fissures d'Ightham, Kent. 1 fois $\frac{1}{2}$ grandeur naturelle. Imité de M.A.C. HINTON.

La DENTITION comporte des *incisives* supérieures non sillonnées, des incisives inférieures courtes, situées à l'intérieur de la mandibule, du côté lingual des molaires, où elles se terminent au niveau de M_3 . Les *dents jugales* sont à croissance continue, sans trace de cément au niveau des plis rentrants.

(1) Professeur à l'École d'Anthropologie de P. Broca, 95, boulevard St-Michel, Paris.

Tuberculées à l'état jeune, elles s'abrasent rapidement et, chez l'adulte, leur surface de mastication présente une série de triangles presque clos, allongés dans le sens transverse, alternativement externes et internes, à peu près de mêmes dimensions. L'émail est nettement différencié en régions épaisses et *minces*, qui recouvrent, respectivement, les parties concaves et *convexes* des angles saillants, comme chez les plus évolués des *Microtus*. L'émail devient très mince, disparaît même, au sommet des angles. La face triturante présente le dessin suivant :

— A la *mâchoire supérieure* (fig. 2, à gauche) :

- M¹ : boucle antérieure suivie de 6 triangles alternants, dont le postéro-externe est très réduit. 4 angles saillants de chaque côté.
 M² : boucle antérieure suivie de 5 triangles (3 externes et 2 internes), dont le postéro-externe est réduit. 4 angles saillants externes, 3 internes.
 M³ : boucle antérieure suivie de 4 triangles clos et d'une boucle postérieure formée par l'union de 2 triangles plus ou moins réduits. 4 angles saillants de chaque côté.

— A la *mâchoire inférieure* (fig. 2, à droite) :

- M₁ : boucle postérieure, 7 triangles clos (4 internes et 3 externes) et boucle antérieure constituée par 4 triangles (ou plus), réduits et confluent. Cette dent n'a pas moins de 9 angles rentrants et 5 angles saillants externes, 6 internes.
 M₂ : boucle postérieure, 4 triangles alternants et une paire d'angles vestigiaux en avant, dont l'externe est le plus réduit ; la dentine de cette paire vestigiale conflue avec celle du 4^e triangle.

Les vestiges mis à part, il y a 3 angles saillants de chaque côté.

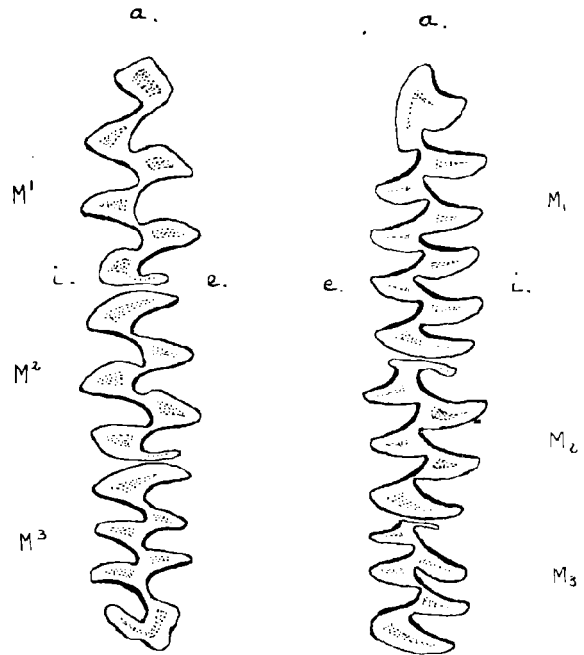


FIG. 2. — *Dicrostonyx henseli* HINTON
 A gauche : série des molaires *supérieures gauches*,
 A droite : série des molaires *inférieures gauches*,
 vues par leur face triturante.
 Pléistocène des Doneraile Caves (Irlande).
 Très grossi.
 Imité de M.A.C. HINTON.

M₃ : ressemble à M₂, mais un peu plus réduite. De ses angles vestigiaux antérieurs, l'externe disparaît dans quelques espèces.

II. — LES *DICROSTONYX* DU PLEISTOCENE

D'après M.A.C. HINTON, qui fait autorité en la matière, il existe six espèces actuelles de *Dicrostonyx* et deux espèces fossiles, différentes des actuelles. Les espèces fossiles sont :

- *Dicrostonyx gulielmi* SANFORD, et
- *Dicrostonyx henseli* HINTON.

1) *Dicrostonyx gulielmi* SANFORD.

Ce *Dicrostonyx* est surtout caractérisé par :

1^o sa *grande taille*, la longueur dentaire des adultes atteignant 20 mm ;

2^o ses *molaires*, qui ressemblent à celles du *Dicrostonyx torquatus* PALLAS actuel. Il faut surtout noter qu'à M¹ et à M², il existe un angle vestigial postéro-interne, plus ou moins marqué, et que le bord postérieur du triangle postéro-interne a conservé son émail épais et sa forme concave primitive.

Le *Dicrostonyx gulielmi* SANFORD a été signalé au MOUSTÉRIEN, en Angleterre méridionale seulement : Kent, Erith : terre à brique de la moyenne terrasse récente de la Tamise (M.A.C. HINTON) et, plus tard, durant le WÜRMIEN TERMINAL, en Irlande,

en Angleterre, dans le centre de la France (Neschers), en Allemagne et en Suisse.

2) *Dicrostonyx henseli* HINTON.

Le *Dicrostonyx henseli* HINTON, rencontré par l'auteur dans plusieurs gisements d'Europe, sera étudié, ici, avec quelques détails.

1) TYPE décrit par M.A.C. HINTON, en 1910 (Ann. Mag. Nat. Hist. 6).

2) LOCALITÉ-TYPE ET HORIZON : Ightham, Kent (dépôts remplissant les fissures du « Kentish Rag »). Pléistocène récent.

3) CARACTÈRES.

TAILLE petite, la longueur dentaire des adultes ne dépassant pas 19 mm.

CRANE ressemblant à celui du *Dicrostonyx hudsonius* PALLAS actuel, qui est moins aplati d'avant en arrière que celui des autres espèces vivantes. Chez le fossile, le crâne est plus petit, avec des os nasaux moins élargis, un diastème relativement plus court, des bulles auditives très petites, ovoïdes, non dilatées antérieurement (fig. 1).

MOLAIRES relativement larges (fig. 2) et ressemblant à celles du *Dicrostonyx hudsonius*.

A M^2 et à M^3 , le bord postérieur du dernier triangle est réduit, ayant perdu sa courbure concave originelle et ayant une tendance à perdre son émail épais ; il n'y a jamais d'angle vestigial postéro-interne. M_3 avec un petit angle vestigial antéro-interne, mais sans angle correspondant externe ; le 3^e triangle externe, plus ou moins réduit.

4) DISTRIBUTION STRATIGRAPHIQUE ET GÉOGRAPHIQUE.

En Europe occidentale, le *Dicrostonyx henseli* HINTON fait son apparition à la base du Würmien supérieur et, plus précisément, durant le MOUSTÉRIEN FROID (Moustérien supérieur), qui correspond à la phase de crue de la dernière glaciation. Il est alors, peu répandu et les quelques gisements qu'on en connaît sont tous situés entre le vaste glacier scandinave et le glacier alpin. Citons surtout :

I. - Dans les ARDENNES BELGES : la caverne de Goyet (couches noires de la salle du Mouton, au-

dessous de l'Aurignacien : détermination de l'auteur) ; Hastières et Trou de la Naulette.

II. - EN ALLEMAGNE MÉRIDIONALE :

— dans l'Eifel : *Buchenloch* ;

— en WÜRTTEMBERG : *Sirgenstein* (couches 7 et 8 : A. DUBOIS et H.G. STEHLIN) ; Wildscheuer.

III. - Dans le JURA SUISSE : la grotte de *Cotencher* (A. DUBOIS et H.G. STEHLIN).

Mais c'est durant le WÜRMIEN TERMINAL, au Magdalénien inférieur surtout, que le *Dicrostonyx henseli* HINTON fut abondant ; on le rencontre :

— en IRLANDE : *Doneraile Caves* ;

— en ANGLETERRE : *Kent, Middlesex, Derbyshire, Herefordshire*, dans les îles *anglo-normandes* (Jersey) ;

— en FRANCE septentrionale : *Maubeuge, Cambrai* (G. DUBOIS) ; centrale : *Coudes* (Puy-de-Dôme) et méridionale : *Teyjat, Dordogne* (HARLÉ).

— en BELGIQUE ;

— dans le Grand-Duché de LUXEMBOURG : gisements d'*Étrange* (V. FERRANT et M. FRIANT) ;

— en SUISSE : *Birseck, Ettingen, Schweizersbild* (A. DUBOIS et H.G. STEHLIN) ;

— en ALLEMAGNE :

Saxe, *Quedlinbourg* ;

Würrtemberg, *Kleine Scheuer* ;

Hohenzollern, *Nikolaushöhle* (F. HELLER) ;

— en Europe orientale :

TCHÉCOSLOVAQUIE, *Zuzlawitz, Sipka* ;

HONGRIE, *Pilisszanto, Palfy, Peskö* ;

POLOGNE, *Ojcow*.

Il convient d'ajouter que quelques-uns de ces gisements, connus depuis longtemps, seraient à réviser quant à l'espèce de *Dicrostonyx* rencontrée. Tous ceux qui ont été vérifiés par M.A.C. HINTON, G. DUBOIS, H.G. STEHLIN, H. HELLER ou moi-même sont en italique dans la liste ci-dessus.

III. — CONSIDERATIONS GÉNÉRALES

Au Moustérien, la Faune a montré des différences très sensibles dans l'espace et dans le temps.

La présence du *Dicrostonyx* durant le maximum de crue de la Glaciation würmienne, le MOUSTÉRIEN SUPÉRIEUR, dans une zone entourant l'Inlandsis scandinave (*D. guillemi*) et en quelques endroits, exclusivement situés entre les calottes glaciaires scandinave et alpine (*D. henseli*), prouve, d'après H.G. STEHLIN, que ce Rongeur a trouvé là des conditions comparables à celles qui existent dans les régions arctiques, quant à la végétation et au climat.

Au *Dicrostonyx henseli* HINTON, qui nous intéresse surtout ici, on trouve associée, durant cette période, une Faune froide : le Renard polaire (*Vulpes lagopus* L.) qui, de nos jours, chasse inlassablement les Lemmings dans la prairie glacée ; et aussi : le Glouton (*Gulo luscus* L.), assez rare, le Renne (*Rangifer tarandus* L.), le Lièvre des neiges (*Lepus variabilis* PALLAS) qui, sans être confinés à la toundra, y pénètrent souvent.

Enfin, une Faune « indifférente » ou, tout au moins, nullement arctique, accompagne, parfois, le *Dicrostonyx*, en particulier : la Taupe (*Talpa europaea* L.) et même l'Ours des cavernes (*Ursus spelaeus* Rosenm.), aujourd'hui éteint, dont l'habitat n'indiquait nullement des régions très froides.

Vers la fin de la glaciation würmienne, surtout au MAGDALÉNIEN INFÉRIEUR, la répartition du *Dicrostonyx henseli* HINTON s'étend beaucoup : de l'Irlande à l'Europe orientale et, vers le sud, jusque dans le midi de la France. Les régions toundroïdes avaient pris une grande extension : cette période froide et sèche correspond à la phase de recul des glaciers würmiens.

Le *Dicrostonyx henseli* est encore souvent associé au Renard polaire, au Glouton, au Renne, devenu abondant, au Lièvre des neiges et, en outre, çà et là, au Bœuf musqué (*Ovibos moschatus* Blainv.). De plus, comme au Moustérien supérieur, une Faunule banale, d'Insectivores et de Rongeurs, surtout, l'accompagne fréquemment.

IV. — CONCLUSIONS

Dans l'état actuel de nos connaissances, le *Dicrostonyx henseli* HINTON, par la répartition de ses gisements, au cours du Würmien supérieur, souligne, d'une manière frappante, les districts

toundroïdes, d'abord très restreints, qui s'étendent, ensuite, largement en Europe occidentale, à la fin de la dernière glaciation.

BIBLIOGRAPHIE

Les travaux mentionnant la présence du *Dicrostonyx* sont nombreux. Nous n'indiquons que les principaux ouvrages consultés.

DUBOIS A. et STEHLIN H.G. (1933). — La Grotte de Cotencher, station moustérienne. *Mém. Soc. pal. suisse*, 52-53, Bâle.

FEPRANT V. et FRIANT M. (1936). — Les gisements pléistocènes d'CEHANGO (Grand-Duché de Luxembourg). Fasc. I : Histoire, Stratigraphie. Les Insectivores. Les Rongeurs. *Bull. Soc. Nat. luxembourgeois*, p. 30.

HELLER FL. (1936). — Die fossile Mikrofauna der Magdalenienschicht in der Nikolaushöhle bei Veringenstadt (Hohenzollern). *Sitzungsber. Heidelberger Akad. d. Wissensch.*, 11, p. 6 u. 16.

HINTON M.A.C. (1910). — Some new late Pleistocene Voles and Lemmings. *Ann. Mag. Nat. Hist.*, 6, p. 37.

HINTON M.A.C. (1910). — A preliminary Account of the British Fossil Voles and Lemmings with some Remarks on the Pleistocene Climate and Geography. *Proceed. Geologists' Association*, 21.

HINTON M.A.C. (1926). — Monograph of the Voles and Lemmings (*Microtinae*) living and extinct. I. - *British Museum Nat. History*.

KOKFN E. (1912). — Die Geologie und Tierwelt der paläolithischen Kulturstätten Deutschlands. In : R.R. Schmidt, Die diluviale Vorzeit Deutschlands. E. Schweizerbart, Stuttgart.

Etude des Ammonites de l'Aalénien de deux gisements du Nord du Maroc (Prérif) ⁽¹⁾

par Thérèse LÉLIEVRE

Pl. V - VI - VII

Sommaire. — Etude de deux faunes de l'Aalénien récoltées par J. GUBLER dans le Prérif (Maroc). Au Djebel Tratt (W. de Fès), les Ammonites sont d'âge aalénien supérieur (zones à *concauum* et *discites*) et bajocien inférieur. A. Krendegg (N.E. de Moulay-Idriss), elles se répartissent entre la zone à *opalinum* et la zone à *discites*, ces deux faunes condensées en une couche de quelques décimètres.

Avec d'assez nombreux *Graphoceratidae*, les *Hammatoceratidae*, étudiés avec plus de détail, comprennent des espèces peu communes d'*Hammatoceras*, *Parammatoceras*, *Planammatoceras*, *Eudmetoceras*, *Euaptetoceras*, *Erycites*, *Abbasites*, *Ambersites*; plusieurs espèces sont nouvelles parmi ces deux derniers genres. En présence de ces faunes variées, se posent les problèmes du passage des *Hammatoceras* aux *Sonninia* et des *Erycites* et *Ambersites* aux *Stephanoceratidae*, ainsi que l'appartenance des *Zurcheria* aaléniennes à un genre nouveau, voisin des *Erycites*.

INTRODUCTION

L'Aalénien du Maroc a fourni des Ammonites assez nombreuses, et les listes qui en ont été données reflètent surtout leur parenté avec celles d'Europe occidentale. Les deux faunes du Prérif étudiées ici s'en distinguent par le nombre des éléments originaux, qui sont bien rarement cités ailleurs, ou même sont nouveaux. Dans ce Mémoire, seront décrits surtout ces genres ou espèces moins connus des faunes méditerranéennes, trouvés associés aux espèces classiques, de l'Aalénien moyen et supérieur.

Avant d'entreprendre l'étude paléontologique détaillée de cette faune, je me propose :

- de situer les deux gisements où les récoltes de fossiles ont été faites ;
- de donner un aperçu historique ;
- de présenter un tableau d'ensemble paléontologique et stratigraphique ;
- et d'aborder quelques problèmes que pose cette faune.

SITUATION DES GISEMENTS

Sur le bord méridional du Prérif, au Nord de la route de Fès à Meknès, les deux gisements du Dj. Tratt et de Krendegg se situent dans la zone

des rides, au Sud du front de la nappe prériefaine ; ils sont indiqués sur la Carte Géologique du Maroc au 1/100.000, feuille de Fès-Ouest [Rabat 1950] à 36 km en direction E-W, l'un de l'autre.

Le Djebel Tratt à 6 km environ à l'Ouest de Fès apparaît [Fallot, 1952, p. 34-35] comme une petite montagne de 858 m d'altitude, formée en majeure partie par une série jurassique appartenant au bassin secondaire des rides prériefaines, apparaissant dans un pli-faille à regard Sud, ouvert jusqu'au Toarcien et violemment déversé vers le Sud, jusqu'à venir redresser à la verticale la bordure septentrionale des calcaires lacustres de la plaine de Fès. Le Bajocien, l'Aalénien, le Toarcien supérieur affleurent dans le flanc sud raviné de la montagne. Ce sont des formations calcaréomarneuses qui ont fourni la faune aalénienne étudiée ici (coord. 530,7-532,3 × 385,5).

Le gisement de Krendegg, au S-W de Beni-Amar dans le massif de Moulay-Idriss, d'où provient l'autre faune, n'est pas décrit en particulier, mais il appartient à l'ensemble des formations secondaires, dont l'Aalénien et le Bajocien, étudiés par J. GUBLER [1938], et se situe au Nord du Dj. Zerhoum (s.s.) entre ce djebel et le contact frontal de la nappe prériefaine (coord. 495,3 × 387,7).

(1) Cette étude a été faite au Laboratoire de Géologie de l'Université Catholique de Lille.

HISTORIQUE

Tous les matériaux qui font l'objet de cette étude proviennent des deux gisements précédents et ont été recueillis en 1938-1939 par J. GUBLER [1938], alors Géologue au Service géologique du Maroc.

Ces récoltes avaient été confiées à M. G. DUBAR, et se trouvaient dans les collections du Laboratoire de la Faculté Libre des Sciences.

Le gisement du Dj. Tratt, découvert par BRUDERER, a été plusieurs fois fouillé par J. GUBLER et les premiers fossiles recueillis ont été examinés par le Colonel GÉRARD, puis par J. GUBLER et G. DUBAR. Leurs déterminations ont été rassemblées dans une liste publiée par J. GUBLER et R. LÉVY [1940] ; joints à de nouvelles récoltes, ces matériaux font l'objet d'une partie de cette étude.

Quant au gisement de Krendegg, un premier lot a dû être envoyé au Colonel GÉRARD qui en a utilisé un *Haplopleuroceras* dans son étude sur ce genre ; le matériel examiné ici provient d'autres récoltes plus récentes de J. GUBLER.

LISTE DES FOSSILES
ET TABLEAU STRATIGRAPHIQUE

REMARQUES.

Le tableau proposé n'est qu'un essai, et il est nécessaire de tenir compte des remarques suivantes:

1) L'âge exact de chaque espèce a été établi avec une plus ou moins bonne précision, d'après les indications de ARKFEL, S. BUCKMAN, HAUG, C. RENZ.

Ce sont les observations paléontologiques qui imposent l'appartenance à une série de zones.

2) Les renseignements stratigraphiques qui concernent certaines formes aaléniennes, m'ont été donnés par G. DUBAR, d'après les comparaisons faites avec les coupes du Haut-Atlas qu'il a étudiées.

3) Une série de formes occupe une position stratigraphique très nette qu'il n'a pas été possible de mettre en évidence dans le tableau, mais toutes les précisions sont données dans l'étude de chaque espèce.

Liste des fossiles établie d'après la classification qu'adopte Arkell (1957)

(*Treatise on Invertebrate Paleontology*, by R.C. MOORE, *Ammonoidea*)

	K (1)	T		K	T
SUPER-FAMILLE DES <i>HILDOCERATACEAE</i>					
A) FAMILLE DES <i>HILDOCERATIDAE</i>					
<i>Tmetoceras hollandae</i> BUCKM.	×		<i>Brasilia similis</i> BUCKM.	×	
			<i>Brasilia</i> cf. <i>pulchra</i> BUCKM.		×
			<i>Pseudographoceras literatum</i> BUCKM.	×	
			<i>Ludwigella</i> cf. <i>attenuata</i> BUCKM.	×	
			<i>Ludwigella rudis</i> BUCKM.	×	×
			<i>Ludwigella concava</i> BUCKM.	×	
			<i>Ludwigella</i> cf. <i>arcitenens</i> BUCKM.	×	
			<i>Graphoceras (Platygraphoceras)</i> sp. A BUCKM.		×
			<i>Graphoceras (Platygraphoceras) compactum</i>		×
			BUCKM.	×	×
			<i>Graphoceras</i> aff. <i>debile</i> BUCKM.		×
			<i>Graphoceras</i> cf. <i>limitatum</i> BUCKM.		×
			<i>Graphoceras</i> cf. <i>decorum</i> BUCKM.		×
			<i>Braunsina</i> cf. <i>projecta</i> BUCKM.	×	
			<i>Braunsina</i> cf. <i>contorta</i> BUCKM.		×
			<i>Braunsina</i> ? cf. <i>angulifera</i> BUCKM.		×
			<i>Hyperlioceras (Lopadoceras)</i> cf. <i>furcatum</i>		
			BUCKM.	×	
			<i>Hyperlioceras (Lopadoceras)</i> cf. <i>arcuatum</i>		
			BUCKM.	×	
			<i>Hyperlioceras (Lopadoceras) arcuatum</i>		
			BUCKM.	×	
			<i>Ædania</i> ? <i>lepta</i> BUCKM.		×
<i>Lioceras opalinum</i> REIN.	×				
<i>Lioceras</i> cf. <i>opalinum</i> REIN.	×				
<i>Lioceras</i> aff. <i>bifidatum</i> BUCKM.	×				
<i>Lioceras comptum</i> REIN.	×				
<i>Lioceras</i> cf. <i>partitum</i> BUCKM.	×				
<i>Ancollioceras</i> cf. <i>substriatum</i> BUCKM.	×				
<i>Vacekia stephensi</i> BUCKM.	×				
<i>Ludwigia tolutaria</i> DUM. sp.	×				
<i>Ludwigia tolutaria</i> DUM. in Roman	×				
<i>Ludwigia tolutaria</i> ROMAN non DUM.	×				
<i>Ludwigia (Hyattina)</i> sp. BUCKM.	×				
<i>Ludwigia</i> sp. cf. <i>Harporoceras opalinoides</i> MAYER	×				
fide VACEK	×				
<i>Brasilia (Manselia)</i> cf. <i>subfulcata</i> BUCKM. ..	×				
<i>Brasilia (Brasilina)</i> cf. <i>tutcheri</i> BUCKM.	×				

(1) K indique le gisement de Krendegg, T celui du Djebel Tratt.

C) FAMILLE DES HAMMATOCERATIDAE		K	T	D) FAMILLE DES SONNINIIDAE		K	T
<i>Hammatoceras diadematoïdes</i> MAYER sp.		X		<i>Sonninia crassispinata</i> ? BUCKM.			X
<i>Hammatoceras guliense</i> RENZ sp.		X		<i>Sonninia schlumbergeri</i> var. <i>erycina</i> RENZ. ...			X
<i>Hammatoceras</i> sp. aff. <i>lorteti</i> PRINZ non				<i>Sonninia</i> aff. <i>sulcata</i> BUCKM. in HAUG			X
DUM		X		<i>Sonninia</i> cf. <i>sulcata</i> ? BUCKM.			X
<i>Hammatoceras</i> cf. <i>vaceki</i> ROMAN.		X		<i>Sonninia</i> ? sp. ou <i>Hammatoceras</i> ?	X		
<i>Parammatoceras</i> cf. <i>megacanthum</i> BRASIL sp.		X		<i>Fontannesia curvata</i> BUCKM.	X		
<i>Parammatoceras</i> cf. <i>sieboldi</i> OPPEL sp.		X		<i>Haplopleuroceras subspinatum</i> BUCKM.			X
<i>Parammatoceras</i> cf. <i>sieboldi</i> VACEK non OPP. ..		X		<i>Haplopleuroceras mundum</i> BUCKM.			X
<i>Planammatoceras</i> cf. <i>planiforme</i> BUCKM.		X		<i>Haplopleuroceras ezimium</i> GÉRARD			X
(1 ^{re} forme)		X		<i>Zurcheria</i> cf. <i>pertinax</i> VACEK	X		
(2 ^e forme)		X		<i>Zurcheria</i> sp. cf. <i>parvispinata</i> BUCKM.	X		
<i>Planammatoceras</i> sp. cf. <i>planinsigne</i> VACEK ..		X		<i>Zurcheria</i> sp. nov.	X		
<i>Eudmetoceras prospheus</i> BUCKM.			X	SUPER-FAMILLE DES HAPLOCERATACEAE			
<i>Eudmetoceras eudmetum</i> ? BUCKM.			X	E) FAMILLE DES OPPELIIDAE			
<i>Euaptoceras infernense</i> ROMAN sp.			X	<i>Oppelina</i> ? cf. <i>blumius</i> GREGORIO	X		
<i>Erycites</i> cf. <i>reussi</i> HAUER sp.		X		<i>Bradfordia inclusa</i> BUCKM.			X
<i>Erycites</i> cf. <i>reussi</i> MENEGHINI non HAUER ..		X		SUPER-FAMILLE DES STEPHANOCERATACEAE			
<i>Erycites</i> sp.		X		F) FAMILLE DES OTOITIDAE			
<i>Erycites</i> cf. <i>gonionotus</i> BEN. sp.		X		<i>Docidoceras</i> cf. <i>modestum</i> VACEK sp.	X		
<i>Abbasites abbas</i> BUCKM.		X		<i>Docidoceras perfectum</i> BUCKM.			X
<i>Abbasites</i> cf. <i>abbas</i> BUCKM.		X		<i>Otoites</i> sp. (<i>O. sauzei</i> ROMAN non d'ORB)			X
<i>Abbasites</i> sp.		X					
<i>Ambersites</i> ? cf. <i>aegrotus</i> BUCKM.		X					
<i>Ambersites gardincola</i> de GREGORIO ?		X					
<i>Ambersites</i> nov. sp. ou var. A, B, C, D, E ..		X					

Essai de tableau stratigraphique

groupant les espèces du Tratt (T) et de Krendegg (K)

Zones	Sous-zones	Succession des Espèces		K.	T.
OTOITES SAUZEI		<i>Sonninia</i> cf. <i>sulcata</i> ? BUCKM.			X
		<i>Sonninia</i> aff. <i>sulcata</i> BUCKM. in Haug (1892) (3 var.).			X
		<i>Sonninia schlumbergeri</i> var. <i>erycina</i> RENZ (1925) ..			X
		<i>Bradfordia inclusa</i> BUCKM. (niveau ?)			X
		<i>Otoites</i> sp. (<i>O. sauzei</i> ROMAN (Crussol, 1921) non d'ORB.)			X
Limite sup. de la faune à caractères aaléniens	<i>Hyperlioceras discites</i>	<i>Sonninia crassispinata</i> ? BUCKM. (niveau ?)			X
		<i>Docidoceras</i> cf. <i>modestum</i> VAC. sp.	X		
		<i>Docidoceras perfectum</i> BUCKM.			X
		<i>Hammatoceras guliense</i> RENZ sp.	X		
		<i>Hammatoceras diadematoïdes</i> MAYER sp.	X		
		<i>Hyperlioceras</i> (<i>Lopadoceras</i>) <i>arcuatum</i> BUCKM.	X		
		<i>Hyperlioceras</i> (<i>Lopadoceras</i>) cf. <i>arcuatum</i> BUCKM. ..	X		
		<i>Hyperlioceras</i> (<i>Lopadoceras</i>) cf. <i>furcatum</i> BUCKM. ..	X		
		<i>Braunsina</i> cf. <i>projecta</i> BUCKM.	X		
		<i>Braunsina</i> cf. <i>angulifera</i> BUCKM.	X		X
		<i>Braunsina</i> cf. <i>contorta</i> BUCKM.	X		X
		<i>Graphoceras</i> cf. <i>decorum</i> BUCKM.	X		X
		<i>Graphoceras</i> (<i>Platygraphoceras</i>) <i>compactum</i> BUCKM.	X		X
		<i>Graphoceras</i> aff. <i>debile</i> BUCKM.			X
		<i>Graphoceras limitatum</i> BUCKM.			X
<i>Brasilia</i> cf. <i>pulchra</i> BUCKM.			X		

Zones	Sous-zones	Succession des Espèces	K.	T.
LUDWIGELLA CONCAVA	Ludwigella concaua	<i>Oppelina</i> cf. <i>blunius</i> GREGORIO	×	
		<i>Zurcheria</i> sp. cf. <i>parvispinata</i> BUCKM.	×	
		<i>Zurcheria</i> cf. <i>pertinax</i> VACEK.	×	
		<i>Zurcheria</i> sp. (nov. ?)	×	
		<i>Haplopleuroceras ezimium</i> GÉRARD		×
		<i>Haplopleuroceras mundum</i> BUCKM.		×
		<i>Haplopleuroceras subspatum</i> BUCKM.		×
		<i>Fontannesia curvata</i> BUCKM.	×	×
		<i>Eucptetoceras infernense</i> ROMAN sp.		×
		<i>Eudmetoceras eudmetum</i> BUCKM.		×
		<i>Eudmetoceras prophes</i> BUCKM.		×
		<i>Graphoceras V-scriptum</i> BUCKM.		×
		<i>Graphoceras (Platygraphoceras) sp. A.</i> BUCKM.		×
<i>Ludwigella concaua</i> BUCKM.	×	×		
<i>Ludwigella</i> cf. <i>arcitenens</i> BUCKM.	×	×		
LUDWIGIA MURCHISONAE	Brasilia bradfordensis	<i>Ambersites</i> cf. <i>gardincola</i> GREG.	×	
		<i>Ambersites</i> nov. sp. ou var. A, B, C, D, E	×	
		<i>Ambersites</i> ? cf. <i>aegrotus</i> BUCKM.	×	
		<i>Abbasites</i> sp.	×	
		<i>Abbasites</i> cf. <i>abbas</i> BUCKM.	×	
		<i>Abbasites abbas</i> BUCKM.	×	
		<i>Ludwigella rudis</i> BUCKM.	×	×
		<i>Brasilia similis</i> BUCKM.	×	
		<i>Brasilia (Brasilina) cf. tutcheri</i> BUCKM.	×	
		<i>Ludwigia (Hyuttina) sp.</i> BUCKM.	×	
	<i>Vacekia stephensi</i> BUCKM.	×		
	Ludwigia murchisonae ? II	<i>Planammatoceras</i> sp. cf. <i>planinsigne</i> VACEK.	×	
		<i>Planammatoceras</i> cf. <i>planiforme</i> BUCKM. (2 ^e forme) ..	×	
<i>Planammatoceras</i> cf. <i>planiforme</i> BUCKM. (1 ^{re} forme) ..		×		
<i>Parammatoceras</i> cf. <i>megacanthum</i> BRASIL.		×		
<i>Ludwigia tolutaria</i> ROMAN non DUM.		×		
<i>Ludwigia tolutaria</i> DUM. in ROMAN.		×		
<i>Ludwigia tolutaria</i> DUM. sp.		×		
<i>Tmetoceras hollandae</i> BUCKM.	×			
Ludwigia murchisonae I	<i>Erycites</i> cf. <i>gonionotus</i> BEN. sp.	×		
	<i>Parammatoceras sieboldi</i> VACEK non OP.	×		
	<i>Parammatoceras sieboldi</i> OPPEL sp.	×		
	<i>Hammatoceras</i> cf. <i>vaceki</i> ROMAN.	×		
	<i>Hammatoceras</i> sp. aff. <i>lorteti</i> PRINZ non DUM.	×		
	<i>Ludwigella</i> cf. <i>attenuata</i> BUCKM.	×		
	<i>Pseudographoceras literatum</i> BUCKM.	×		
<i>Brasilia (Manselia) cf. subfulcata</i> BUCKM.	×			
Ancolloceras	<i>Ancolloceras</i> cf. <i>substriatum</i> BUCKM.	×		
LIOCERAS OPALINUM	<i>Tmetoceras</i> <i>scissum</i>	<i>Lioceras</i> aff. <i>bifidatum</i> BUCKM.	×	
		<i>Lioceras</i> cf. <i>partitum</i> BUCKM.	×	
	<i>Lioceras</i> <i>opalinum</i>	<i>Lioceras comptum</i> BUCKM.	×	
		<i>Lioceras</i> cf. <i>opalinum</i> REIN.	×	
		<i>Lioceras opalinum</i> REIN.	×	

Il s'agit toujours dans ce travail de S. BUCKMAN et non de J. BUCKMAN.

Les fossiles bajociens énumérés dans ce tableau ne sont pas étudiés dans le texte ; leur détermination a été faite par G. DUBAR qui m'en a communiqué la liste ; dans une note à la suite de ce Mémoire, il décrit *Otoites* sp. du Bajocien, avec *Hammatoceras* sp. n. et un *Ambersites* sp. nov., aaléniens.

Quatre autres formes aaléniennes, d'abord considérées comme bajociennes, sont citées seulement dans la liste des fossiles, ce sont :

- *Oppelina* cf. *blumius* GREG. (Krendegg) ;
- *Docidoceras perfectum* BUCKM. (Tratt) ;
- *Braunsina* cf. *projecta* BUCKM. (Krendegg) ;
- *Fontannesia curvata* BUCKM. (Krendegg).

PROBLEMES SOULEVES PAR L'ETUDE DE LA FAUNE

Point de vue stratigraphique (1)

Les Ammonites des deux gisements sont étudiées ensemble, le tableau stratigraphique précédent permettant de faire apparaître les deux lots séparément et de les situer l'un par rapport à l'autre.

Pratiquement, la série commence avec l'« Inferior Oolithe » des Anglais. Les premiers fossiles appartiennent à la zone à *opalinum* et sont donc de l'Aalénien moyen. La succession est à peu près complète à travers l'Aalénien supérieur jusque dans le Bajocien inférieur.

Nous sommes en présence de deux exemples de faunes condensées ou mélangées :

Au Dj. Tratt, « la couche exploitée était épaisse de 10 cm et les Ammonites en tapissaient la surface sur 20 m carrés » (lettre de J. GUBLER à G. DUBAR, le 17-11-38).

A Krendegg, « il s'agit d'une couche de 30 cm d'épaisseur visible sur 3 m (J. GUBLER à G. DUBAR, le 17-11-38).

Dans le premier cas, la majorité des individus se rassemble dans les zones à *concara*, *discites* et vraisemblablement monte jusqu'à la zone à *sauzei* ; des formes de l'Aalénien supérieur sont donc associées avec des formes bajociennes, ainsi que l'avait déjà signalé J. GUBLER.

(1) Les détails stratigraphiques m'ont été transmis par G. DUBAR, d'après les lettres que lui avait adressées J. GUBLER.

Dans le second cas, tous les niveaux de l'Aalénien moyen et supérieur sont représentés depuis la zone à *opalinum* jusqu'à la zone à *discites* comprise.

Point de vue paléontologique

Largement représentées et bien diversifiées dans le Prérif et au Maroc en général, des formes telles que les *Vacekia*, les *Hammatoceras* du groupe *Parammatoceras* et *Planammattoceras*, certains *Erycytes*, les *Abbasites*, les *Ambersites*, les *Haplopleuroceras*, quelques *Zurcheria*, peu répandues dans les régions d'Europe septentrionale, constituent un caractère des faunes méditerranéennes.

L'association de ces mêmes formes à des genres communs en Europe occidentale : *Lioceras*, *Ludwigia*, *Brasilia*, *Graphoceras*, *Hammatoceras*, au sens strict, etc..., permet de les dater avec plus de précision.

Quelques autres faits sont à noter : la faune étudiée ne renfermait aucun *Phylloceras*, alors qu'ils abondent aux mêmes niveaux en d'autres régions du Maroc et dans les chaînes alpines. Les *Lytoceras* ne sont pour ainsi dire pas représentés (un seul individu : *Lytoceras rubescens* DUM.).

D'autre part, il n'y a pas de *Ludwigia marchisonae* et le groupe des *Deltotoceras* et autres formes répandues dans les régions septentrionales : Angleterre (S. BUCKMAN), Est de la France (BENECKE, MAUBLUGE) est absent.

Pour que l'ensemble de l'étude concernant ces formes soit complet, il aurait été intéressant de s'arrêter à la question lithologique. En l'absence de données précises, seules des observations faites sur le terrain seraient valables, car les caractères de fossilisation et de gangue ne permettent pas de distinguer plusieurs formations lithologiques. Les Ammonites sont plus ou moins phosphatées, la roche est calcaire marno-gréseuse, micacée.

REPARTITION GEOGRAPHIQUE DE CETTE FAUNE AALENIENNE

La faune marocaine étudiée apparaît très variée, comparée à celle des minerais de fer de l'Est de la France, ou à celle de Souabe. Ces dernières faunes sont composées d'*Hildoceratidae*, de *Graphoceratidae* et de rares *Hammatoceratidae* (*Pachammattoceras*, *Parammatoceras*).

Au contraire, tous les groupes d'*Hammatoceratidae*, les *Vacekia*, les *Haplopleuroceras*, les *Zurcheria*, existent en Angleterre, où une série d'es-

pièces y ont été créées par S. BUCKMAN, représentées par des individus peu nombreux.

Dans le sud des Alpes, la composition de la faune du cap San Vigilio (Est du lac de Garde) connue par le travail de VACEK, ressemble de façon étonnante quant aux genres à celle du Prérif. Ceci n'a rien d'anormal, tous deux font partie de la Mésogée. S'il n'est pas tenu compte des *Phylloceras* et *Lytoceras* abondamment représentés à San Vigilio, et absents de ces gisements pré-rifains, 8 espèces sur 24 sont communes, et en tous cas les mêmes groupes se retrouvent, de la zone à *opalinum* à la zone à *discites* incluse.

En Italie centrale, dans les Apennins, le même assemblage moins complet qu'au lac de Garde se rencontre ; il commence avec la zone à *opalinum* (« Lower Bajocian » de ARKELL), mais il manque les formes authentiquement bajociennes (zone à *discites*, etc..., c'est-à-dire « Middle Bajocian » de ARKELL).

Toujours en Italie, à l'extrémité ouest de la Sicile, au Monte San Giuliano (Monte Erice), un groupement d'Ammonites de la zone à *opalinum* à la zone *sowerbyi* incluse se rencontre à nouveau, avec des *Phylloceras* en abondance. Sauf ces derniers, les *Haplopleuroceras*, *Zurcheria*, *Erycites*, *Daciodoceras*, *Bradfordia* sont bien représentés, ce sont des formes semblables ou vraiment très proches de celles du Prérif.

Nous les retrouvons citées dans les principaux gisements aaléniens du Maroc (G. COLO, G. DUBAR, H. TERMIER).

Comme le fait peut être observé à d'autres niveaux du Lias et au-delà, cette faune aalénienne de type méditerranéen a laissé des traces de son passage vers l'W, depuis le Maroc jusqu'au Portugal (P. CHEFFAT), en Vendée (WELSCH), en Normandie (BRASIL, BIGOT) et jusque dans le sud de l'Angleterre.

EXEMPLES COMPARABLES DE NIVEAUX CONDENSES

Il se trouve que les faunes les plus remarquables par leur parenté avec les formes étudiées ici se rencontrent, gisant en bancs condensés de moins d'un mètre d'épaisseur, d'étendue souvent minime :

- San Vigilio [ARKELL, p. 176] ;
- Apennins [ARKELL, p. 216] ;
- San Giuliano (Sicile) [ARKELL, p. 209] ;
- Gisements marocains.

Pour ces derniers, de telles condensations ne se rencontrent pas seulement dans le Prérif, mais dans d'autres régions du Maroc ; d'après G. DUBAR, des réductions comparables existent à l'Aalénien au Nord du Moyen-Atlas (gisement de Seloum, à l'E de Khenifra), et vers sa terminaison Ouest, au N du Haut-Atlas (sources de la Moulouya, et depuis le jebel Tiffert jusque près de El-Ksiba. Au Bajocien inférieur, sur le bord nord du Haut-Atlas : Mibladen près de Midelt ; sources de l'Oued Outat (au S de Midelt), sources de la Moulouya à nouveau : il s'agit là de bancs très peu épais ou de croûtes à Ammonites souvent phosphatées, des zones à *sowerbyi* et *sauzei*.

D'autres gisements comparables ont été trouvés sur les hauts-fonds et au S du Haut-Atlas à l'Aalénien supérieur et au Bajocien.

En France, ZURCHER et H. DOUVILÉ ont étudié dans les environs de Toulon, le gisement classique des Ammonites phosphatées du Bajocien inférieur rassemblées en un seul banc. Des faits semblables sont signalés par F. ROMAN [1913, p. 21] dans la vallée du Rhône : « les couches où se rencontrent les fossiles » (surtout aaléniens) « sont réduites à de simples lentilles, sans continuité, disparaissant et reparaissant par le fait des érosions contemporaines du dépôt, sans aucune régularité, et s'enchevêtrant si bien que souvent les espèces caractéristiques des différents niveaux semblent confondues dans la même petite assise. Quelquefois, cependant, le mode de conservation des fossiles peut venir en aide pour distinguer les horizons... ».

Nous n'avons pas encore trouvé de telles différences dans la conservation des fossiles de Tratt et de Krendegg.

La fréquence de ces gisements condensés, justement au passage Aalénien-Bajocien, peut être considérée comme l'indice d'une régression marine. Dans de telles régions de faciès condensés, la sédimentation tranquille a cédé la place à un régime de courants et de sédimentation troublée.

CONCLUSIONS

L'étude de cette faune d'Ammonites me conduit aux résultats suivants :

Au point de vue paléontologique :

1) 69 espèces ou variétés ont été déterminées dont 32, peu répandues, sont particulièrement décrites, et 28 figurées.

Toutes ces formes ont pu être regroupées et rangées dans un tableau stratigraphique, par comparaison avec d'autres faunes mieux datées.

2) Quelques formes peu connues et des espèces ou variétés nouvelles ont été découvertes dans plusieurs groupes, en particulier chez les *Ambersites*.

3) Des genres établis par BUCKMAN et ultérieurement abandonnés par ARKELL ont pu être définis et séparés à nouveau, grâce à la variété du matériel. Ce sont les *Parammatoceras* et *Planammatoceras*, les *Eudmetoceras* et *Euapteloceras*, les *Abbasites* et les *Ambersites*.

Au point de vue stratigraphique :

4) Les deux gisements du Tratt et de Krendegg sont deux exemples de niveaux condensés ou mélangés qui ne sont qu'en partie contemporains. Au Tratt, 24 espèces s'étendent de la zone à *concava* à la zone à *sauzei* : 8 dans la zone à *concava*, 8 dans la zone à *discites* et 6 dans les zones à *sowerbyi* et *sauzei* ; il y a une seule forme dans la zone à *bradfordensis*, et une espèce reste non datée. A Krendegg, 53 espèces représentent toute une partie de l'Aalénien depuis la zone à *opalinum* jusqu'à la zone à *discites* comprise : 5 espèces dans la première zone, 29 dans la zone à *murchisonae*, 8 dans la zone à *concava*, 7 dans la zone à *discites*. 4 espèces n'ont pas pu être datées.

Les deux gisements sont contemporains au niveau des zones à *concava* et *discites*.

5) Ces faunes condensées s'ajoutent à celles déjà décrites, en Europe et en Afrique du Nord et leur existence ne peut que coïncider avec une

période de régression telle qu'elle est généralement reconnues à la fin de l'Aalénien.

Des problèmes difficiles à résoudre restent posés :

6) Les deux faunes ont été envoyées en grande partie dégagées, et il ne reste le plus souvent que peu de gangue sur les fossiles phosphatés. Un examen sommaire de cette gangue montre une roche assez uniforme, quel que soit l'âge de l'Ammonite.

Comment une telle accumulation de fossiles s'est-elle formée en une période qui peut équivaloir à une large partie de l'Aalénien ?

Il nous manque de voir sur le terrain les relations que ces Ammonites avaient entre elles et de chercher si elles n'étaient pas rassemblées par faunes de même âge dans ces quelques décimètres d'épaisseur. Certains débris de gangue montrent ainsi que lorsqu'un échantillon conserve un peu de cette gangue, les empreintes ou les débris de fossiles qui l'accompagnent appartiennent à des espèces contemporaines de l'Ammonite.

7) La limite Aalénien-Bajocien dans le cas présent est imprécise par suite de l'existence dans les deux gisements, de toute une catégorie d'espèces à caractères aaléniens et appartenant à la sous-zone à *discites*. Cette sous-zone est la base du « Middle Bajocian » d'ARKELL et des Anglais, et est placée à la base de notre Bajocien par beaucoup de géologues français.

8) La présence de quelques fossiles bajociens, associés à cette faune aalénienne, alors que l'ensemble est groupé à la surface du même banc (selon J. GÜBLER), est une autre question à résoudre.

ETUDE PALEONTOLOGIQUE

Super-famille des
HILDOCERATACEAE HYATT, 1867

- A) Famille des *Hildoceratidae* HYATT, 1867.
- B) Famille des *Graphoceratidae* BUCKMAN, 1905.
- C) Famille des *Hammatoceratidae* BUCKMAN, 1887.
- D) Famille des *Sonniniidae* BUCKMAN, 1892.

A) FAMILLE DES HILDOCERATIDAE

Cette famille est représentée dans la faune du Tratt par un seul exemplaire.

Genre *TMETOCERAS* S. BUCKMAN

Tmetoceras hollandae BUCKMAN
1892. S. BUCKMAN [p. 275, pl. XLVIII, fig. 11-12]

Super-famille des
STEPILANOCERATACEAE NEUMAYR, 1875

- E) Famille des *Otoitidae* MASCKE, 1907.

Cette division est celle qu'adopte ARKELL : *Ammonoidea*, in *Treatise on Invertebrate Paleontology*, by R.C. MOORE, 1957.

Niveau : *hemera murchisonae* selon BUCKMAN ; associé à *Brasilia baylei* dans le Haut-Atlas (zones à *murchisonae* et à *bradfordense*).

Il convient de noter l'absence de *Tm. scissum* BEN. dans les faunes étudiées.

B) FAMILLE DES GRAPHOCERATIDAE

Genre *LIOCERAS* HYATT, 1867

Lioceras cf. *opalinum* REINECKE in VACEK

1886. VACEK [p. 71, pl. VI, fig. 4, 6, 7]
Krendegg, n° 32, 65, 66, 68, 69

L'épaisseur de la coquille, plus grande du côté externe, ainsi que l'ornementation plus nettement falciforme les écartent des formes de BUCKMAN et QUENSTEDT.

Lioceras opalinum REIN. sp.

1899. BUCKMAN [p. XII, pl. X, fig. 6-8]
Krendegg, n° 76. - Zone à *opalinum*.

Lioceras cf. *bifidatum* BUCKMAN

1898. BUCKMAN [p. XXVIII, pl. VI, fig. 4]
Krendegg, n° 117. - *Hemera scissum*.

Lioceras comptum REIN. sp.

1899. BUCKMAN [p. XLIII, pl. VII, fig. 7]
Krendegg, n° 23, 78, 86. - *Hemera scissum*.

Lioceras cf. *partitum* BUCKMAN

1899. BUCKMAN [p. XXXIX, pl. IX, fig. 4-6]
Krendegg, n° 82. - *Hemera scissum*.

Lioceras (*Ancolioceras*) cf. *substriatum* BUCKMAN

1899. BUCKMAN [p. XLVIII, pl. VI, fig. 14-16]
Krendegg, n° 17. - Sous-zone *Ancolioceras*.

Coquille plus épaisse vers la périphérie, côtes plus effacées près de l'ombilic.

Genre *VACEKIA* S. BUCKMAN, 1899

Ce genre peu connu est particulièrement intéressant à signaler dans la présente faune qui aurait ainsi des affinités avec l'Aalénien supérieur du Portugal où les *Vacekia* sont abondantes (C. PERROT, 1955).

Vacekia stephensi S. BUCKMAN

Pl. V, fig. 3-4 et 1-2

1899. *Vacekia stephensi* BUCKMAN
[p. CLVII, fig. 162, pl. X, fig. 17-18].

L'exemplaire n° 31 (diamètre probable : 46 mm), réduit à un demi-tour (moule interne), est comprimé, très aplati, de côté externe étroit, tabulé et pourvu d'une carène très élevée, aiguë. Au début du fragment (hauteur de tour : 15 mm), l'ornementation est à peu près nulle, puis très vite, des côtes espacées, atténuées, apparaissent, s'accroissent de plus en plus, augmentent d'épaisseur et de nombre, certaines se divisent longitudinalement sur une

partie de leur parcours ; à la fin de la spire (hauteur de tour : 20 mm), elles sont régulièrement disposées, assez fines, serrées. Ces côtes sont falciformes, la première courbe vers l'avant est très accentuée ; le coude brusque est au milieu des flancs. Dans la courbe externe, la côte se projette très en avant, jusque sur la carène. Cette ornementation se retrouve sur une forme de VACEK qu'il nomme *Harpoceras costula* REINECKE mais qui ne présente pas la même section tabulée et la haute carène.

Ces caractères sont conformes à la description donnée par BUCKMAN, et à la figuration qu'il donne [1904, p. CLVII, fig. 162].

Deux autres exemplaires sont ici figurés : Pl. V, fig. 1-2. Le premier (diamètre environ 40 mm) montre ses tours internes où apparaissent sur le moule interne quelques rares traces d'une costulation très fine. Sur le tour externe (chambre d'habitation), les côtes sont assez fortes, très espacées (environ 12 sur le fragment du dernier tour : voir fig. 1, Pl. V). La section est identique à celle de la forme précédente.

L'autre exemplaire n° 120 (diamètre 43 mm), est différent, et montre vers la fin de la spire, le même déroulement que dans les formes précédentes, mais non accompagné d'une croissance en hauteur du dernier tour (fig. 2, Pl. V) ; est-ce dû à la compression, à la mauvaise conservation ? c'est le seul exemplaire présentant ce caractère. Par ailleurs, la costulation est très atténuée, faite de côtes fines, serrées (plus visibles là où le test existe encore). Il semble difficile malgré la différence signalée d'isoler cette forme de l'espèce *V. stephensi*, l'ornementation selon BUCKMAN étant variable, et au diamètre de l'Ammonite, les côtes peuvent n'être pas encore apparentes.

Une série d'individus dont plusieurs de petite taille ne présente pas de particularités (67, 114, 118, 121, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129).

Gisement : Krendegg (Moulay-Idriss).

Niveau : *hemera bradfordensis*.

Genre *LUDWIGIA* BAYLE, 1878

Ludwigia tolutaria DUMORTIER sp.

1874. *Amm. purchisonae* DUMORTIER [pl. LI, fig. 3-4],
Amm. tolutarius dans le texte, p. 255.

Krendegg, n° 103. Ornementation caractéristique de *A. tolutarius*. La section est plus épaisse du

côté ventral avec les flancs plus distincts de la surface externe que dans la figuration de DUMORTIER.

Un autre fossile n° 85, avec sa costulation plus serrée, une croissance en hauteur plus rapide et un ombilic plus étroit est à rattacher au même groupe de *L. tolutaria*.

Les n°s 22, 116 ont un ombilic plus étroit. Leur costulation est moins serrée, plus voisine de celle de l'espèce de DUMORTIER.

Niveau : dans la zone à *murchisonae*, à un niveau élevé (Haut-Atlas).

Ludwigia tolutaria DUM. in ROMAN

1913. ROMAN [p. 13, pl. IV, fig. 2]

L'échantillon n° 99 de Krendegg, avec des côtes assez épaisses, plus géniculées, espacées, un ombilic relativement ouvert, est très proche de la forme de ROMAN ; mais la croissance est un peu plus rapide que dans cette dernière.

Même niveau que la précédente.

Ludwigia tolutaria ROMAN non DUMORTIER

1913. ROMAN [p. 13, pl. III, fig. 5]

Le moulage n° 95 de Krendegg avec son ornementation faite de côtes géniculées formant un coude brusque au point de leur bifurcation, se situe dans ce groupe de *L. tolutaria*. ROMAN ne donne aucune précision sur la section ; toutefois, la carène, nettement distincte sur la partie ventrale qui est assez épaisse, arrondie, et la section à la fin de la spire, sont, aux différences de taille près, des caractères très voisins de ceux de l'espèce type de DUMORTIER. Comparée à cette dernière, la forme marocaine et celle de ROMAN montrent une croissance en hauteur plus rapide et une costulation plus fine et serrée.

Niveau : zone à *concauum*, selon ROMAN ; peut-être un peu plus ancienne (Haut-Atlas).

Ludwigia sp.

Harpoceras opalinoides MAYER in VACEK, 1886
[p. 17, pl. VII, fig. 2, 2a seules]

Krendegg, n° 75. Niveau... ?

Ludwigia (Hyattina) sp.

1886. *Lioceras bradfordense* BUCKMAN
[pl. IV, fig. 7], 1907 [p. CCXV].

Krendegg, n° 58.

Les côtes ombilicales sont plus espacées.

Niveau : hemera *murchisonae* ? *Hyattina brasili* S.B., voisine de cette espèce, est de cette hemera.

Genre *BRASILIA*

Brasilia (Manselia) cf. *subfalcata* S. BUCKMAN

1899 [p. LVIII, pl. XI, fig. 25-27]

Krendegg n° 79 (ombilic plus étroit, paroi ombilicale plus verticale).

Krendegg n° 83 (costulation plus fine, plus géniculée et inclinée en avant).

Niveau : hemera *murchisonae*.

Brasilia (Brasilina) cf. *tutcheri* S. BUCKMAN

1904. [p. LXXXIV, fig. 45]

Krendegg, n° 53 (forme de côté externe plus tabulé, mais caréné).

Niveau : hemera *bradfordensis*.

Brasilia similis S. BUCKMAN

1888. *Lioceras decipiens* var. *simile* S.B. [p. 31, pl. XV, fig. 1-2] ;

1904. [p. LXXXII, pl. XI, fig. 36].

Krendegg, n° 43.

Niveau : hemera *bradfordensis*.

Brasilia cf. *pulchra* S. BUCKMAN

1887. *Lioceras concavum* SOWERBY, var. [S. BUCKMAN, p. 72, pl. X, fig. 3-4].

1904. [p. LXXXI, fig. 41].

Krendegg, n°s 131, 135.

Costulation plus raide au début de la dernière spire, comme dans les *Graphoceras*. Zone à *discites*.

Genre *PSEUDOGRAPHOCERAS*

Pseudographoceras litteratum BUCKMAN

1913. *Ludwigia litterata* S.B. in ROMAN
[p. 12, pl. III, fig. 3]

Krendegg, n° 63.

Comparé au type de BUCKMAN, 1889 [pl. XI, fig. 19-21], l'ombilic est plus ouvert (36 % au lieu de 27 %) et les côtes moins nombreuses (24 au lieu de 27).

Niveau : hemera *murchisonae*.

Genre *GRAPHOCERAS*

Graphoceras ? *decorum* S. BUCKMAN

1887. *Lioceras concavum* SOWERBY in ROMAN [pl. VIII, fig. 3-4];
1904. *Graphoceras decorum* BUCKMAN [p. XCVIII].

Exemplaires déformés.

Le Tratt, n^{os} 118, 149: section et ornementation identiques.

Le Tratt, n^o 128: section de *G. decorum*, ornementation voisine de *G. stigmatosum* S. BUCKMAN, 1888 [pl. X, fig. 7-8].

Le Tratt, n^o 94: section moins aiguë que celle du type.

Le Tratt, n^o 95: section moins aiguë, ombilic plus large, ornementation plus anguleuse qui rappelle *G. V-scriptum* S.B., 1887 [pl. X, fig. 5-6].

Le Tratt, n^{os} 112, 116, 134, 144, 148, 150: zone à *discites* ?

Graphoceras cf. *V-scriptum* S. BUCKMAN

1887. *Lioceras concavum* var. *V-scriptum* S.B. [pl. X, fig. 5-6].
1904. *Graphoceras V-scriptum* S.B. [p. XCVI, fig. 58, pl. XV, fig. 18].

Le Tratt, n^o 130, et fragments n^{os} 113, 136, 141, 142: zone à *concauum*.

Graphoceras cf. *limitatum* S. BUCKMAN

1887. *Lioceras concavum* var. *V-scriptum* S.B. [p. 68, pl. X, fig. 7-8];
1904. *Graphoceras limitatum* S.B. [p. XCVI, pl. XV, fig. 22].

Le Tratt, n^{os} 102, 132: les côtes sont plus effacées vers l'ombilic qui est plus étroit. Ces formes en mauvais état, seraient peut-être à rapprocher de *Brasilia pulchra* S.B. Zone à *discites* ?

Graphoceras sp. aff. *debile* S. BUCKMAN

1905. *Graphoceras debile* S.B. [p. XCVI, pl. XX, fig. 22-24]

Le Tratt, n^o 129: côtes plus fortes, section moins renflée du côté externe. Zone à *discites* ?

Graphoceras (Platygraphoceras) compactum
S. BUCKMAN

1889. *Lioceras apertum* S.B. [pl. XV, fig. 3-4];
1904. *Platygraphoceras compactum* S.B. [fig. 57, p. XCV].

Le Tratt, n^{os} 92, 96, 99: zone à *discites*.

Graphoceras (Platygraphoceras) compactum
S. BUCKMAN in ROMAN

1913. *Ludwigia compacta* ROMAN [p. 9, pl. II, fig. 3]

Krendegg, n^o 27: costulation particulièrement saillante à son coude au milieu des flancs.

Zone à *concauum* (ROMAN) ou *discites* (BUCKM.).

Graphoceras (Platygraphoceras) sp. A. S. BUCKMAN

1888. *Lioceras apertum* S.B. [p. 76, pl. XV, fig. 9-10];
1904. *Platygraphoceras sp. A. S. BUCKM.* [p. XCIV].

Le Tratt, n^{os} 100, 145: l'espèce se situe (S.B.) entre *Ludwigella rudis* et *Graphoceras V-scriptum*; mais section moins épaisse de la forme anglaise. L'ouverture conservée avec ses oreillettes (n^o 145) permet de voir, à la fin de la loge d'habitation, la réduction de la carène et le développement des côtes qui traversent la ligne siphonale en formant des « varices » franchissant la carène. Zone à *concauum*.

Graphoceras (Braunsina) cf. anguliferum S. BUCK.

1888. *Ludwigia rudis* S.B. [p. 103, pl. XV, fig. 16-17];
1904. *Braunsina angulifera* S.B. [p. CI, fig. 63].

Le Tratt, n^o 119, et fragments (n^o 122,20) à flancs moins convexes sur le tour externe; un quatrième exemplaire présente aussi des affinités avec *Br. futilis* S. BUCKMAN, 1888 [pl. XV, fig. 7] 1904 [p. CI] par sa costulation serrée et la croissance de la spire. Zone à *discites*.

Graphoceras (Braunsina) cf. contortum S. BUCKMAN

1904. *Braunsina contorta* S.B.
[p. XCIX, pl. XVII, fig. 16-18]

Le Tratt, n^{os} 146, 147: ce dernier, de section externe un peu plus épaisse et arrondie. Zone à *discites*.

Genre *LUDWIGELLA*

Ludwigella rudis S. BUCKMAN

1888. *Ludwigia rudis* S.B. [pl. XV, fig. 11-13];
1904. *Ludwigella rudis* S.B. [p. LXXXV];
1913. *Ludwigia rudis* S.B. in ROMAN [p. 14, pl. III, fig. 6].

Krendegg, n^{os} 38, 88, 91; 24, 25, 93, 94, de plus petite taille, et n^{os} 26, 57, 102 à tours moins épais, apparentés à *Ludw. subrudis* BUCKMAN, 1888 [pl. XV, fig. 14-15].

Le Tratt, n^o 98: zone à *bradfordensis*.

Ludwigella concava Sow.

1886. *Lioceras concavum* Sow. in S.B. [p. 56, pl. II, fig. 5-6; pl. VIII, fig. 1-2];
1904. *Ludwigella concava* S.B. [p. LXXXVI, fig. 51].

Krendegg, n^o 44: exemplaire typique.

Ludwigella cf. attenuata S. BUCKMAN

1904. *Ludwigella attenuata* S.B. [p. LXXXVII, pl. XIX, fig. 10-12].

1886. *Harpoceras aalense* ZIETEN in VACEK [p. 20, pl. VII, fig. 12].

Krendegg, n° 60 : cette Ammonite diffère de l'espèce de BUCKMAN par une costulation dichotome, par les caractères du bord ombilical, et une costulation externe moins arrondie.

Le n° 74, à costulation plus fine vers l'ouverture, près de laquelle elle tend à disparaître, est plus voisin de la forme citée de VACEK que celle de BUCKMAN. Zone à *concauum*.

Ludwigella cf. arcitenens S. BUCKMAN in ROMAN

1913 *Ludwigia arcitenens* S.B. in ROMAN
[p. 7, pl. I, fig. 2]

Krendegg, n° 21 : côtes un peu plus espacées dans les tours internes, section un peu plus épaisse.

Krendegg, n° 89 : Ammonite à spire plus élevée que la précédente, et très voisine de l'espèce figurée par ROMAN, 1913 [pl. I, fig. 12] mais avec les côtes un peu plus proverses. Zone à *concauum*.

Genre *HYPERLIO CERAS* BUCKMAN, 1889

Hyperlioceras (Lopadoceras) cf. furcatum S. BUCK.

1904. *Lopadoceras furcatum* S.B.
[p. CXII, pl. XXI, fig. 16-18]

Krendegg, n° 59 : paroi ombilicale plus haute et plus déclive, côtes plus larges, plus espacées. Zone à *discites*.

Hyperlioceras (Lopadoceras) arcuatum S. BUCKMAN

1904. *Lopadoceras arcuatum* S.B.
[p. CXII, pl. XXI, fig. 19-21]

Krendegg, n° 81 : la section, au même diamètre, est plus aplatie, la costulation des tours internes plus serrée et plus divisée.

Krendegg, n° 122, est une forme un peu différente, à côtes plus serrées vers l'ouverture, et divisée dans les tours internes.

Le n° 76 s'éloigne davantage des précédents et de l'espèce-type, la croissance est plus rapide en hauteur, l'ombilic très étroit, les côtes s'effacent dans la région périombilicale mais restent épaisses au milieu des flanes et à la périphérie. La carène est également moins développée. Zone à *discites*.

Genre *OEDANIA* BUCKMAN, 1904

Cf. *Oedania lept* BUCKM.

1904. S. BUCKMAN [p. CVIII, pl. XXI, fig. 4-6]

Le Tratt, n° 56 : sur la fin du tour (loge d'habitation), les côtes forment un coude plus accentué au milieu des flanes ; elles sont plus serrées et s'atténuent, surtout dans la région ombilicale, la section est un peu plus épaisse du côté externe. Zone à *discites*.

C) FAMILLE DES HAMMATOCERATIDAE

Groupe des *HAMMATOCERAS*,
PARAMMATOCERAS, *PLANAMMATOCERAS*

— Caractères génériques —

Hammatoceras HYATT, 1867

Enroulement régulier, assez évolutive.

Section des tours subtriangulaire.

Ornementation faite de côtes primaires, de tubercules et côtes secondaires.

Parammatoceras BUCKMAN, 1925

ARKELL ne distingue pas ce genre, qu'il assimile au suivant, mais la comparaison faite avec les types de BUCKMAN, et d'autre part les caractères des exemplaires marocains justifient la distinction dans le cas présent.

Croissance relativement rapide.

Ombilic assez étroit, profond.

Section élevée, épaisse du côté externe, arrondie, flanes presque parallèles.

Tubercules, seulement dans les tours internes quand ils existent.

Disparition de la costulation vers l'ouverture.

Planammatoceras BUCKMAN, 1922

Croissance d'abord rapide, puis plus lente, entraînant le déroulement du dernier tour.

Ombilic ouvert à grand diamètre.

Section de même type que dans le genre précédent, qui peut être plus effilée ventralement.

Pas de tubercules. Côtes primaires devenant indépendantes des côtes secondaires.

Effacement de l'ornementation vers l'ouverture.

**

I. — Genre *HAMMATOCERAS*

Hammatoceras diadematoïdes MAYER sp.

Pl. V, fig. 5-6

1871. *Hammatoceras diadematoïdes* MAYER
[p. 243, pl. 8, fig. 9]

L'Ammonite n° 19, de la faune de Krendegg, est voisine par son mode d'ornementation des formes décrites par la suite. C'est un moule interne ayant conservé quelques fragments de test, en particulier sur les tours internes, et sur lequel aucune suture n'est visible. C'est une forme carénée, à ombilic ouvert. Chaque tour recouvre environ la moitié de la hauteur du tour précédent. La section est ovale avec un maximum d'épaisseur au milieu des flancs au niveau des épines. Ces épines très vigoureuses, très fortes, dont il reste la base, s'élèvent au milieu des flancs et dans les tours internes soutiennent les tours suivants. Il y a 13 épines sur le dernier tour. De chacune d'elles part vers l'ombilic une côte primaire réduite à un léger soulèvement, elle est droite, rétroverse. Vers l'extérieur un faisceau de 3 ou 4 côtes secondaires, épaisses, proverses, fortes, s'aplatissent au voisinage de la carène de part et d'autre de laquelle s'étalent deux zones lisses étroites. La carène cloisonnée a disparu, mais il semble qu'elle était assez élevée, étant donné la base large.

Dimensions :

D. max.	— 55,7 mm (carène non comprise)	
h.	— 21,5 mm	38 %
e.	— 18 mm (entre les épines)	32 %
d.	— 20 mm	36 %

Rapports et différences. — Ces dimensions sont proportionnelles à celles données par MAYER. Le nombre de tubercules, leur disposition, la croissance, l'enroulement sont également conformes à la description de MAYER. La section est ovale, épaisse, plus haute que large, celle de l'espèce *diadematoïdes* est selon MAYER, semi-circulaire. La seule différence réside dans la forme des côtes secondaires, ici obliques et non concaves vers l'avant comme dans l'espèce *diadematoïdes*.

Gisement. — Krendegg (Moulay-Idriss).

Niveau. — Zone à *sowerbyi* (au sens large) selon MAYER, Aalénien supérieur, Bajocien inférieur, selon RENZ.

REMARQUE.

Le n° 130 de Moulay-Idriss peut être facilement assimilé à cette espèce (*H. diadematoïdes* MAYER).

La costulation est de même type, les côtes secondaires s'épaississent de plus en plus, et les épines augmentent de taille avec la croissance de l'Ammonite. Sur cet échantillon dépourvu de son test, les côtes primaires sont à peu près inexistantes, ou réduites à des sortes de froncements. C'est ce caractère ainsi que la croissance plus lente et le plus grand diamètre de l'ombilic, qui entraînerait quelque hésitation. Car alors, il y aurait possibilité de rapprochement avec *Hammatoceras subinsigne* OPPEL, figuré par VACEK [1886, pl. XIV, fig. 1-4], mais étant donné l'absence des tours internes dans cette figuration et la petite taille de l'exemplaire à comparer, il est plus normal, à cause de leur grande ressemblance, d'assimiler ce n° 130 à l'espèce précédemment décrite.

Hammatoceras guliense RENZ sp.

Pl. V, fig. 7-8

1925. *H. diadematoïdes* var. *guliensis* C. RENZ
[p. 11, pl. I, fig. 1]

L'exemplaire n° 12 est exactement du même type que la variété *guliensis* de RENZ. C'est un moule interne entièrement cloisonné, montrant des traces d'usure.

Il diffère de l'exemplaire qui précède par sa costulation beaucoup moins vigoureuse ; les épines ou les tubercules, en particulier, sont beaucoup moins développés ; par contre, les côtes primaires sont plus nettes, bien marquées, à direction d'abord rétroverse, puis de plus en plus radiales. Le nombre de ces côtes est supérieur à celui de l'espèce *diadematoïdes* MAYER du Maroc : il y a 16 côtes primaires au diamètre de 50,7 mm au lieu de 13 pour le dernier tour. De même, les côtes secondaires sont beaucoup plus nombreuses, disposées en faisceaux de 3 ou 4. La forme des tours est également différente, ils sont plus hauts que larges et par rapport à l'espèce citée, dont les flancs sont très renflés, ceux de la forme décrite ici sont presque plats avec un maximum d'épaisseur au niveau des tubercules, c'est-à-dire un peu au-dessous de la moitié des flancs. La partie ventrale est très légèrement arrondie, presque tabulée, se raccordant aux flancs en formant « épaulement ».

De telles différences imposent la séparation spécifique de *H. guliense* et de *D. diadematoïdes*.

Avec la variété *guliensis* de RENZ, il y a beaucoup d'affinités : enroulement, proportions, costulation sont identiques. Toutefois, l'exemplaire n° 12 diffère par sa section beaucoup moins large ; l'Ammonite est aplatie et par rapport à la variété

de RENZ elle se présente comme si elle était écrasée, c'est-à-dire que le profil et la section ont une forme tout à fait semblable, à la variation d'épaisseur près.

La cloison est faite d'éléments finement découpés, le premier lobe latéral est long et touffu, la première selle latérale est bifide ainsi que la deuxième, à peine moins large que la première, ce qui donne un ensemble assez symétrique. Il y a 3 lobes suspensifs (Pl. V, fig. 7).

Dimensions :

D. max.	= 51,7 mm	
h.	= 18,6 mm	36 %
e.	= 15,7 mm	30 %
d.	= 20 mm	39 %

Gisement. — Krendegg (Moulay-Idriss).

Niveau. — Zone à *sowerbyi* selon MAYER : Aalénien supérieur, Bajocien inférieur, selon RENZ.

Hammatoceras sp.

1904. Cf. *Hammatoceras lorteti* DUM. in PRINZ [p. 79, pl. XXIII, fig. 2]

Diagnose. — Le n° 11 est le moule interne réduit au dernier tour, d'une Ammonite comprimée, discoïde, carénée, à ombilic assez grand. A la fin de ce dernier tour, la section est ogivale, les flancs étant d'abord divergents, puis légèrement convergents jusqu'à l'abord de la partie ventrale où la convergence s'accroît brusquement, de manière à former un angle aigu. Le maximum d'épaisseur se situe au 1/3 inférieur des tours, au niveau de l'arrêt des côtes primaires ; au début de ce dernier tour, les flancs sont plus régulièrement convexes avec un maximum d'épaisseur en leur milieu. Sur la paroi ombilicale, des empreintes d'épines sont nettement dessinées : ce sont les épines des tours précédents sur lesquelles s'est moulée la dernière spire, de sorte que le contour ombilical apparaît polygonal.

L'ornementation consiste en côtes primaires espacées (12 côtes sur la moitié du dernier tour, au diamètre 76 mm). Ces côtes primaires sont épaisses, renflées, et au début du dernier tour se terminent par une sorte de tubercule qui est la base d'une épine située au milieu des flancs ; il y a trois côtes secondaires pour une côte primaire ; elles sont proverses, arrondies, séparées les unes des autres par des intervalles de la largeur des côtes elles-mêmes. Elles s'étalent et s'estompent en atteignant la carène.

Il n'y a pratiquement pas de cloison utilisable.

Dimensions :

D. max.	= 76 mm	
h.	= 30 mm	39 %
e.	= 20 mm	26 %
d.	= 25 mm	32 %

Rapports et différences. — C'est une Ammonite du groupe *Hammatoceras lorteti* PRINZ non DUM. La croissance, l'évolution de la costulation justifient le rapprochement, mais la section est différente, le côté externe beaucoup moins large, plus ogival dans l'exemplaire marocain, qui est une espèce plus discoïde.

Gisement. — Krendegg (Moulay-Idriss).

Niveau. — Zone à *murchisonae* ?

II. — Genre *PARAMMATOCERAS*

Matériel étudié :

4 grands *Parammatoceras*, de la faune de Moulay-Idriss n°s 6, 7, 8, 9

Parammatoceras cf. *megacanthum* L. BRASIL.

Pl. V, fig. 15

1895. *Hammatoceras megacanthum* L. BRASIL. [p. 14, pl. III, fig. 1-3]

Diagnose. — (Exemplaire n° 9 : moule interne où il reste quelques rares fragments de coquille). Ammonite comprimée, carénée, évolutive, à croissance assez rapide et régulière : le dernier tour a une hauteur double du précédent. Ces tours sont plus hauts que larges. Le recouvrement est d'environ 2/3.

L'ombilic est relativement ouvert, laissant dégagés les tours internes ; il est légèrement conique, de profondeur moyenne, les tours tombant sur les précédents suivant une paroi presque verticale à sa base ; bord ombilical arrondi.

La section est ogivale, à sommet arrondi, carénée. La carène à base large a disparu mais est encore visible au début du dernier tour où elle atteint 5 mm de hauteur, elle est mince.

L'ornementation sur les *tours internes* est faite de côtes presque radiales, sinon légèrement rétroverses, et s'accroissant depuis le fond de l'ombilic jusqu'au quart de la hauteur, où elles s'épanouissent en épines fortes, épaisses, sur lesquelles s'appuie le tour suivant dont le bord ombilical se creuse ainsi à chaque épine ; les intervalles séparant les épines ont la même largeur qu'elles ; elles sont souvent brisées suivant leur cloisonnement ; on compte deux à trois côtes secondaires pour une côte primaire.

Dans l'avant-dernier tour, il y a une atténuation des côtes et des épines ; ces épines se réduisent à des sortes de tubercules ou de faibles pointes saillantes.

Dans le dernier tour conservé (qui est encore entièrement cloisonné), les côtes primaires s'atténuent et s'espacent irrégulièrement ; les côtes secondaires, plus régulières (deux ou trois pour une primaire), à faible relief, sont plus larges que leurs intervalles, proverses et infléchies davantage en avant, quand elles passent sur le côté ventral ; elles n'atteignent pas la carène qui est bordée d'une petite zone lisse.

Sur les fragments de test restant, il faut noter la présence de fines stries d'accroissement.

L'Ammonite est entièrement cloisonnée (voir Pl. V, fig. 15), la cloison est caractéristique d'*Hammatoceras*. Les selles sont symétriques, les lobes le sont moins, mais la distinction faite par BRASIL, d'après VACEK, n'est pas ici très sensible. D'après ce dernier, la cloison de *H. sieboldi* présente des lobes symétriquement découpés, tandis que les selles le sont d'une façon asymétrique. Et *H. megacanthum* L. BRASIL a le caractère inverse.

Dimensions :

D. max.	= 170 mm	(carène non comprise)
h.	= 72 mm	42 %
e.	= 40,5 mm	23 %
d.	= 52,2 mm	30 %

Rapports et différences. - L'exemplaire décrit est une espèce voisine de *Parammatoceras sieboldi* OPP. ; dans cette dernière espèce, les tours sont également recouvrants, mais l'ombilie est plus étroite ; les proportions relatives sont donc différentes et à même diamètre l'ornementation est différente, mais dans l'ensemble des tours, cette ornementation est de même type, présentant les mêmes variations à cela près qu'elle est beaucoup moins vigoureuse. La section se distingue également, elle est proportionnellement plus haute par rapport à l'épaisseur que dans l'exemplaire de M. Idriss, et surtout la région siphonale est plus aiguë. La cloison est identique aux différences de proportions près.

BRASIL distingue *Hammatoceras megacanthum* de la forme que VACEK appelle *Hammatoceras sieboldi* OPP. par une série de caractères que nous retrouvons dans l'exemplaire de Moulay-Idriss, sans toutefois que les différences soient aussi fortes, de sorte que finalement l'exemplaire marocain se situe entre les deux, à savoir : l'ombilie est légè-

ment moins ouvert que dans *H. megacanthum*, les tours sont plus recouvrants, et la section est proportionnellement plus haute par rapport à l'épaisseur, ayant une forme trigonale mais arrondie ventralement et dont la retombée des flancs sur l'ombilie présente le même contour. Ces caractères distinctifs justifient d'ailleurs l'assimilation de l'Ammonite de M. Idriss, au genre *Parammatoceras* auquel est rapportée aussi l'espèce de VACEK. D'autre part, la description de la costulation faite par BRASIL correspond parfaitement (ainsi que la figuration, mais à une taille très inférieure) à celle de l'exemplaire n° 9. Il en va de même pour la cloison à selles symétriques, à lobes plutôt dissymétriques.

En tenant compte de ces affinités, il semble justifié de rapporter l'échantillon à l'espèce *megacanthum*, bien qu'il soit intermédiaire entre elle et *H. sieboldi*.

Un deuxième exemplaire n° 8, à rapporter à la même espèce, est un moule interne avec quelques rares traces de test et dont un côté est peu utilisable. Des différences dans la grosseur des côtes, dans la suture qui est moins finement découpée peuvent être considérées comme des variations individuelles.

Gisement. — Krendegg (Moulay-Idriss).

Niveau. — Zones à *Ludwigia marchisonae* et à *Lioceras bradfordense* de Normandie, selon BRASIL.

REMARQUE.

Avec ces deux grands *Hammatoceras* sont à grouper deux fragments n°s 1 et 54 de Krendegg (le n° 54 est figuré Pl. V, fig. 13-14). Un de ces fragments est presque entièrement cloisonné et dépourvu de test, l'autre a conservé sur ses tours internes des fragments de test, mais aucune cloison n'est visible. La hauteur maximum des tours atteinte dans ces fragments est respectivement de 30 mm et 32 mm. A ces dimensions, comparées à *Hammatoceras megacanthum* BRASIL, l'ornementation est sensiblement la même, mais l'enroulement est plus rapide, et la section des tours plus trigonale. L'ensemble de leurs caractères les situe entre cette espèce et *H. sieboldi* OPPEL.

Parammatoceras sieboldi OPP. sp.

1862. *Ammonites sieboldi* OPPEL [p. 44, pl. 46, fig. 1] ;
1886. *Hammatoceras sieboldi* OPPEL in VACEK [p. 87, pl. XII, fig. 1-3].

L'exemplaire n° 6 de Moulay-Idriss est un moule interne, entièrement cloisonné ; il est très

endommagé, en particulier la costulation au dernier tour (diamètre maximum : 145 mm) et les lignes de suture ne sont utilisables qu'en partie pour la description. Par contre, les tours internes, à cause de la cassure de l'Ammonite, apparaissent avec tous leurs caractères.

Diagnose. — Ammonite comprimée, carénée, à croissance de plus en plus rapide : les tours internes sont recouverts sur leur moitié par les tours suivants, le recouvrement augmente jusqu'à atteindre les 2/3 des tours vers l'extérieur. L'ombilie est ouvert à paroi verticale dans les tours externes, le contour ombilical étant arrondi. La carène, dans les tours internes, apparaît mince et très développée, puis elle devient plus basse, plus large, plus arrondie ; dans le dernier tour la carène a disparu avec le test. La section est à contours arrondis, trigonale dans l'ensemble, plus haute que large, le maximum d'épaisseur se situant au tiers inférieur pour les tours externes, au milieu des flancs pour les tours internes. Ceux-ci sont caractérisés par une ornementation épineuse très vigoureuse, sur la moitié interne des flancs ; ces épines sont cloisonnées suivant une surface convexe, et quand la pointe de l'épine tombe, il reste un gros tubercule à surface arrondie. Les spires successives se moulent plus ou moins sur ces épines. On compte 10 tubercules au diamètre de 34 mm, et 9 vers 16 mm. De ces tubercules, ou des épines, partent des côtes fines, côtes secondaires, rectilignes, proverses, disposées en éventail de 4 ou 5. Elles n'atteignent pas tout à fait la base de la carène qu'elles laissent entourée de deux petites zones lisses. Ces tours internes ont ainsi, par leur ornementation épineuse et costulée, des caractères qui les rapprochent des *Sonninia*. De petits fragments de test restant sur ces tours montrent une striation fine correspondant aux lignes d'accroissement.

La description détaillée de ces tours internes est intéressante en vue de la détermination d'une série de petites formes difficiles à situer parce qu'elles possèdent à la fois des caractères d'*Hammatoceras* et des caractères de *Sonninia*.

Le tour externe conservé du fossile n° 6 décrit montre des côtes primaires larges, épaisses, espacées, qui sont plutôt des ondulations du test, des gonflements allongés dans le sens transversal, à peine esquissés sur la paroi ombilicale. Ces côtes primaires, apparues avant le diamètre de 70 mm, tandis que disparaissaient les épines, sont rectilignes, à direction légèrement proverse. Elles n'atteignent pas le milieu des tours. Les côtes secondaires, nombreuses, s'étalent de plus en plus, au fur et à

mesure qu'elles atteignent la partie ventrale ; elles sont plus larges, arrondies, assez plates et s'infléchissent nettement en avant sur le bord externe. La cloison peut être observée en partie vers le diamètre de 18 mm, le lobe siphonal, assez large, est presque aussi profond que le premier lobe latéral ; la deuxième selle latérale est au niveau des tubercules, et il existe trois petits lobes auxiliaires, à peine obliques (d'orientation presque spirale). A 70 mm, les lobes auxiliaires sont fortement suspensifs, comme le deuxième lobe latéral.

Dimensions (carène non comprise) :

D. max.	= 145 mm	
h.	= 65,4 mm	45 %
e.	= 42 mm	28 %
d.	= 36 mm	24 %

Rapports et différences. — C'est avec le type d'OPPEL qu'il existe le plus d'affinités : forme générale, enroulement, diamètre ombilical, variations de la costulation sont analogues. La suture, dans la mesure où elle est utilisable, est assez semblable. Une seule réserve est à faire pour la section, si les contours d'ensemble sont très voisins, la section figurée par OPPEL est beaucoup plus rétrécie, presque aiguë sur la partie ventrale. A cela près, il n'y a aucune ambiguïté.

Gisement. — Krendegg (Moulay-Idriss).

Niveau. — Zone à *murchisonae* du Württemberg selon OPPEL ; zone à *murchisonae* selon HATG.

Parammatoceras sieboldi VACEK non OPPEL

Pl. V, fig. 16

1886. *Hammatoceras sieboldi* VACEK
[p. 87. pl. XI. fig. 6]

Diagnose. — L'échantillon n° 7 est encore un grand *Hammatoceras* dont un côté seulement est bien conservé et possède une partie importante du test finement strié. L'autre côté est défoncé, mais il reste intéressant pour la suture bien qu'elle soit déficiente.

C'est une Ammonite presque discoïde, carénée, à tours comprimés beaucoup plus hauts que larges, à flancs parallèles jusqu'au milieu des tours environ, puis très légèrement convergents, se rejoignant sur la partie ventrale arrondie et carénée.

La croissance est rapide. Les tours se recouvrent sur les 2/3 de leur hauteur. Il y a déroulement net à la fin de la spire dès le début de la loge d'habitation (celle-ci est conservée sur plus d'un quart de tour). L'ombilie est profond, peu ouvert par rapport au diamètre de l'individu, mais les

tours internes sont nettement dégagés et visibles. La paroi ombilicale est verticale dans les tours internes et déclive dans le dernier tour, l'angle formé avec le tour précédent étant environ de 120° au diamètre maximum de 172,5 mm.

Dans les tours internes, l'ornementation est faite de côtes épaisses qui, au contact des tours suivants, deviennent épineuses, sans toutefois jamais atteindre l'allure de la costulation et des épines décrites pour les échantillons précédents. Très vite d'ailleurs, les épines disparaissent et les côtes primaires sont larges, à faible relief, rectilignes, rétroverses sur la moitié du dernier tour conservé ; sur la deuxième moitié, elles sont très atténuées, mais ne disparaissent pas complètement. Les côtes secondaires (trois pour une côte primaire), séparées des précédentes par une sorte de zone spirale lisse, sont larges, arrondies, séparées les unes des autres par d'étroits intervalles et prennent une direction très légèrement proverse ; elles n'atteignent pas la carène qui reste entourée de deux étroites zones lisses ; cette carène, sur le dernier tour, a environ 4 mm de hauteur et est à base large.

La cloison ne peut pas être étudiée dans le détail, mais présente nettement dans sa ligne d'ensemble des caractères d'*Hammatoceras*.

Dimensions :

D. max.	=	172,5 mm	
h.	=	84 mm	49 %
e.	=	36,7 mm	21 %
d.	=	33,5 mm	19 %

Rapports et différences. — Ces caractères sont ceux d'*Hammatoceras sieboldi* VACEK non OPPEL, mais avec des côtes moins nombreuses, moins serrées, surtout dans les tours internes.

Gisement. — Krendegg (Moulay-Idriss).

Niveau. — Zone à *murchisonae* du Württemberg selon OPPEL ; zone à *murchisonae* selon ПАРК.

*

**

Une série de petites formes de Krendegg dont la parenté avec le genre *Hammatoceras* paraît évidente à la suite de l'étude des grands exemplaires précédents, est à considérer maintenant.

Ces Ammonites, carénées présentent toutes le même type de costulation, faite de côtes primaires à peine marquées ou même absentes dans la région périombilicale, d'épines très accentuées, très fortes, situées au milieu des flanes ou un peu en-dessous, et de côtes secondaires qui partent de ces tuber-

eules, côtes disposées en gerbes de trois, quatre ou cinq, très infléchies vers l'avant, mais pouvant devenir presque radiales.

Isolés, ces exemplaires n^{os} 122, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 143, 144 pourraient cependant, étant donné justement cette ornementation épineuse caractéristique, appartenir aux « *Sonninia* ». De fait, il semble difficile d'apporter une solution définitive, car l'étude des cloisons aiderait à les répartir entre les *Sonninia* et les *Hammatoceras* ; or, ces cloisons ne sont pas toujours entièrement visibles. Les observations suivantes peuvent toutefois amener à une détermination provisoire.

Diagnose :

a) Les exemplaires numéros 138 et 143, réduits à leur moule interne dont le plus petit (n^o 138), entièrement cloisonné, a un diamètre de 19 mm, seraient avec certitude des « *Hammatoceras* ».

La parenté de la ligne de suture (déjà très découpée à ce diamètre) avec celle visible dans le tour interne (bien dégagé à la faveur d'une cassure) de *Hammatoceras sieboldi* OPPEL (grand exemplaire n^o 6 décrit plus haut) est nette. La même disposition des lobes suspensifs se retrouve, et l'ensemble de la cloison présente les mêmes caractères.

Par comparaison, les ressemblances observées dans l'ornementation d'une part, dans la section d'autre part, rapprochent ce n^o 138, bien situé à cause de sa cloison, des exemplaires 143, et finalement de la forme n^o 18 (de taille plus grande : 45 mm). Faut-il pour autant, ramener ces Ammonites à l'espèce *sieboldi* ? il conviendrait alors d'admettre que ce sont des individus très jeunes, car la cloison n'est pas visible sur tous, certains ayant leur chambre d'habitation.

b) Les exemplaires numéros 122, 134, 139, sont des formes très voisines de celle figurée par VACEK (1866) [pl. XIV, fig. 9] qu'il rapporte à *Hammatoceras lorteti* DUMORTIER. Elles diffèrent des précédentes par une costulation plus serrée et moins proverse en arrivant à la carène, par la situation des tubercules épineux un peu en-dessous du milieu des flanes, par une section plus haute, moins développée en largeur. La cloison qui apparaît en partie sur l'échantillon n^o 134 possède le premier lobe latéral découpé et assez allongé, mais la région périombilicale n'en est pas visible.

c) Deux dernières Ammonites numéros 136, 137 (figurées Pl. V, fig. 9-12) s'isolent des précédentes, ne serait-ce que par leur aspect extérieur : teinte, patine, elles sont par ailleurs très bien conservées, avec des côtes primaires réduites à des lignes sail-

lantes franchement rétroversées, qui n'atteignent pas tout à fait le milieu des flancs. Les côtes secondaires, qui dans la partie cloisonnée sont équidistantes et comme indépendantes des tubercules, se groupent sur la dernière loge en faisceaux de quatre à cinq côtes issues des tubercules. Elles sont assez fortement proverses, souvent incurvées près de la carène. Ces côtes secondaires s'épaississent en abordant la carène.

La cloison, silhouettée au début du dernier tour (n° 136, diamètre maximum : 21 mm), est très simple et pourrait être celle d'une *Sonninia*, mais il n'est pas possible de le conclure.

On pourrait leur joindre les numéros 135, 140, 144.

Gisement. — Les 10 exemplaires proviennent de Krendegg (Moulay-Idriss).

REMARQUE.

Si une place importante a été faite à la description de ces petites formes, c'est que malgré leur appartenance probable au genre *Hammatoceras*, elles présentent également des caractères frappants de *Sonninia*. Il est donc intéressant d'insister sur les observations qui pourraient amener une détermination plus sûre.

Du point de vue stratigraphique, si les *Sonninia* épineuses semblent au Maroc caractéristiques du Bajocien inférieur, l'attribution à ce genre de certaines des petites Ammonites étudiées ajouterait des éléments bajociens à la faune de Krendegg, qui, sans cela, est seulement aalénienne.

III. — Genre *PLANAMMATOCERAS*

Les exemplaires numéros 13, 14, 41 de Moulay-Idriss sont à rapporter à ce genre, mais avec beaucoup de réserves, car plusieurs difficultés se présentent :

Ces exemplaires sont de petite taille, comparés aux figurations dont ils peuvent être rapprochés.

Il faudrait bien connaître dans les détails les tours internes des types, ce qui n'est pas le cas.

Enfin, ils ont beaucoup d'affinités avec les groupes voisins dont il existe des représentants dans la faune étudiée : les *Parammatoceras* d'une part, les *Eupptoceras* d'autre part.

Ces exemplaires, dont la détermination reste donc ambiguë et non définitive, sont tous figurés sur la Plaque VI. Nous allons les décrire et les

comparer aux faunes semblables de BUCKMAN et de VACEK.

Planammatoceras cf. *planiforme* S. BUCKMAN (1^{re} forme)

Pl. VI, fig. 1-2

1922. *Planammatoceras planiforme* S. BUCKMAN
[t. IV, pl. CCCXVI]

Diagnose. — Moule interne entièrement cloisonné, en mauvais état de conservation. Le n° 13 est une Ammonite carénée, comprimée, peu évoluée au diamètre maximum de 70 mm, à croissance rapide qui s'achève par un déroulement net, surtout sensible à partir du diamètre de 65 mm. Le recouvrement dépasse les 2/3 du tour précédent, à la fin de la spire conservée. La paroi ombilicale est verticale et se raccorde aux flancs par un contour étroitement arrondi.

Les tours sont plus hauts que larges, à flancs très légèrement convergents, la partie ventrale est arrondie, non aiguë, et la base de la carène cloisonnée est à peine en relief.

La costulation, bien visible sur une partie du dernier tour, consiste en côtes primaires arrondies, larges, distantes les unes des autres d'un intervalle égal à leur propre largeur ; elles commencent au bord ombilical et atteignent le tiers inférieur des flancs, elles sont rectilignes, légèrement proverses. Elles se divisent en trois côtes secondaires rectilignes qui s'étalent au fur et à mesure qu'elles arrivent sur la partie ventrale, où elles n'atteignent pas la carène qui est de ce fait entourée de deux étroites bandes lisses. Vers l'ouverture, ces côtes s'infléchissent plus largement du côté externe.

Dans les tours internes, de conservation déficiente, les côtes primaires seules apparaissent, elles sont déjà épaisses et espacées.

Dimensions :

D. max.	=	70 mm	
h.	=	32 mm	45 %
e.	=	18 mm	27 %
d.	=	18 mm	27 %

Toute l'Ammonite est cloisonnée, aucune cloison n'est entièrement visible, mais les lobes suspensifs s'observent facilement, et le premier lobe latéral semble être très allongé et ramifié.

Rapports et différences. — De *Planammatoceras planiforme* S. BUCKMAN, l'exemplaire décrit se distingue par la dimension de l'ombilic nettement plus étroit, mais on peut penser qu'à même taille

l'enroulement est de même ordre, et que les différences doivent être peu sensibles.

La section est plus arrondie, plus large ventralement.

L'ornementation est absolument identique à celle de l'avant-dernier tour de l'échantillon de BUCKMAN.

Quant à la suture, elle est beaucoup trop fragmentaire sur l'exemplaire décrit, pour être nettement comparée.

Gisement. — Krendegg (Moulay-Idriss).

Niveau. — Zone à *murchisonae*, hemera *Erycites* (S. BUCKMAN).

Planammatoceras cf. *planiforme* S. BUCKMAN

(2^e forme)

Pl. VI, fig. 3-4

1922. *Planammatoceras planiforme* S. BUCKMAN
[t. IV, pl. CCCLVI]

L'exemplaire n° 41 ne peut être rapproché que de l'espèce *planiforme* de BUCKMAN, malgré des différences notables à la fois dans la section et dans l'ornementation.

Diagnose. — C'est une Ammonite comprimée, carénée, à croissance rapide, avec un commencement de déroulement assez tardif. Le moule interne, entièrement cloisonné, est sectionné suivant un diamètre (voir Pl. VI, fig. 4) permettant de mesurer le recouvrement des tours : il est de 2/3 sur l'avant-dernier tour, de 1/2 sur le dernier tour, c'est-à-dire au diamètre de 78,8 mm. L'ombilie égale le quart du diamètre et montre des tours internes bien dégagées.

La section est élevée avec un maximum d'épaisseur au milieu des flancs, les côtés sont presque parallèles sur la moitié périombilicale, puis ils convergent très lentement jusqu'au moment où ils atteignent la région ventrale : celle-ci est légèrement arrondie, épaisse, elle porte une carène dont il ne reste ici que la base large et arrondie, mais qui est visible en section sur l'avant-dernier tour.

Les côtes primaires dans les tours internes sont larges, espacées, et le deviennent de plus en plus puisque sur la dernière moitié de la spire, donc au diamètre de 78,8 mm, il n'y a que dix côtes à disposition radiale. A la périphérie, les côtes secondaires sont régulièrement disposées, comme si elles étaient indépendantes des primaires qu'elles ne prolongent pas exactement, elles s'élargissent en abordant la partie ventrale et n'atteignent pas la

carène qui est ainsi entourée de deux zones lisses. Ces côtes secondaires sont proverses, mais ce mouvement est seulement esquissé.

La cloison, dont les éléments sont très découpés, est très comparable au dessin de BUCKMAN. Les éléments auxiliaires sont plus développés, en relation avec la plus grande hauteur de la spire.

Dimensions :

D. max.	=	78,8 mm	
h.	=	35 mm	44 %
e.	=	19 mm	24 %
d.	=	19,8 mm	25 %

Rapports et différences. — *Planammatoceras planiforme* S. BUCKMAN a une croissance moins rapide, les tours sont donc moins recouvrants, l'ombilie est plus ouvert.

La section est différente : dans l'exemplaire marocain, la partie ventrale, à carène très obtuse, est large, légèrement arrondie, assez distincte des flancs, ce qui n'existe pas sur l'espèce type à section beaucoup plus ogivale.

La costulation est difficile à comparer, étant donné les variations de l'ornementation entre les tours internes et le dernier tour sur l'échantillon de BUCKMAN, et le fait que l'exemplaire de Moulay-Idriss est incomplet. Il est simplement possible de constater que l'ornementation de ce dernier est très voisine de celle qui caractérise la première moitié du dernier tour de l'espèce de BUCKMAN.

Les différences portent uniquement sur les proportions et la section du côté externe, mais l'évolution se fait dans le même sens (spire et ornementation) presque aux mêmes diamètres. D'autre part, il y a une grande parenté de cette Ammonite avec les formes du même gisement citées précédemment.

Gisement. — Krendegg (Moulay-Idriss).

Niveau. — Hemera *Erycites*, d'après BUCKMAN.

Planammatoceras sp.

Pl. VI, fig. 5-6

1886. Cf. *Hammatoceras planinsigne* VACEK
[pl. XIII, fig. 5, non 1, 2 et 4]

Diagnose. — Un moulage interne, n° 14, entièrement cloisonné. Ammonite discoïde, carénée, à croissance rapide, il n'est pas possible de préciser le recouvrement des tours, vu l'état de conservation de ce moule interne. L'ombilie est assez étroite, par rapport au diamètre, toutefois les tours internes apparaissent nettement. La paroi ombilicale, d'abord arrondie, fait un angle aigu avec les flancs et est

« entaillée par dessous » de telle sorte que l'ombilic est « excavé ». Peut-être cette disposition est-elle due à l'épaisseur plus grande de la coquille en ce point.

La section est ogivale, allongée, avec un maximum d'épaisseur au niveau du bord ombilical. Les flancs convergent lentement jusqu'à la partie ventrale, en formant un angle aigu, de sorte que la section en ogive élancée est parfaitement régulière.

Les tours internes sont ornés de côtes assez larges, de même type que celles rencontrées dans les deux exemplaires n^{os} 13 et 41 (*Pl. cf. planiforme*). Ces côtes primaires, sur le tour externe, prennent naissance sur la paroi ombilicale; elles ont là une disposition légèrement arquée, concave vers l'avant, mais leur ligne d'ensemble est radiale, elles atteignent le milieu des flancs, au diamètre de 57 mm. De ces côtes primaires partent des côtes secondaires par trois ou quatre. Dès leur départ, elles s'alignent presque parallèlement, elles s'élargissent progressivement et sont contiguës quand elles atteignent la partie ventrale où elles laissent une petite bande lisse de part et d'autre de la carène dont il ne reste ici que la base. L'ensemble de la côte primaire et de la côte secondaire donne une ligne légèrement flexueuse. La cloison est très visible (voir Pl. VI, fig. 5) sur tout son parcours. C'est une cloison d'*Hammatoceratidé*, mais les éléments sont assez élargis et non allongés, tout au moins au diamètre de 52 mm environ.

Dimensions :

D. max.	= 57 mm	
h.	= 23,5 mm	41 %
e.	= 15 mm	26 %
d.	= 12,8 mm	22 %

Rapports et différences. — C'est la parenté de l'exemplaire avec les deux précédents, n^{os} 13 et 41, qui entraîne son rattachement au genre *Planammatoceras* (détermination provisoire).

Comparée à l'Ammonite nommée *Hammatoceras planinsigne* VACEK [pl. XIII, fig. 5 seule], l'Ammonite étudiée se distingue par une croissance plus rapide, un ombilic plus étroit. Le mode d'ornementation est très voisin, le dessin général des côtes est identique, mais dans l'exemplaire marocain, les côtes primaires et secondaires sont beaucoup plus nombreuses et serrées. La section est différente si l'on se réfère au diagramme rapporté par VACEK (fig. 3) dont les tours sont beaucoup plus épais et arrondis au niveau de la région ventrale. Toutefois, il y a une élévation très nette

des tours avec la croissance et le maximum d'épaisseur, comme dans l'échantillon n^o 14, se situe au niveau du bord ombilical. De plus, la paroi ombilicale présente la même caractéristique : elle est oblique sous le flanc, faisant avec le tour précédent un angle d'environ 60° (VACEK, fig. 3). Malgré des différences notables, l'exemplaire (fig. 5) de VACEK semble l'espèce la plus proche de l'Ammonite de Krendegg.

Gisement. — Krendegg (Moulay-Idriss).

Niveau. — Sans doute de même âge que les deux formes précédentes du groupe *planiforme*.

*
**

Groupe des
EUDMETOCERAS - EUAPTETOCERAS

ARKELL rassemble ces deux genres sans distinction dans le seul genre *Eudmetoceras*. Cependant, l'étude des spécimens africains nous amène à maintenir la séparation établie par BUCKMAN, ainsi qu'on le verra ci-après.

CARACTÈRES DES DEUX GENRES.

Eudmetoceras S. BUCKMAN, 1920

Génotype: *Eudmetoceras eudmetum*, 1920 [t. III, pl. CLXXIX].

L'ombilic est large, peu profond. L'enroulement est régulier. Les flancs sont convexes avec un maximum d'épaisseur au milieu des tours.

Note. — « *Eudmetoceras* » *amplectens* S.B. 1920, espèce distinguée par BUCKMAN avant la création du genre *Euaptetoceras* en 1922, a les caractères de croissance rapide de ce dernier genre et doit être séparée des *Eudmetoceras*. L'ombilic est très étroit, profond, avec déroulement net au dernier tour et en même temps accroissement considérable de la spire en hauteur.

Euaptetoceras S. BUCKMAN, 1920

Génotype: *Euaptetoceras euaptetum*, 1922 [t. IV, pl. CCXCIX].

L'ombilic est étroit, plus profond que dans le genre précédent. La spire s'accroît vite en hauteur, les flancs sont relativement plats.

Il est difficile de distinguer nettement les sutures de ces deux genres. Toutefois, les deux génotypes permettent de noter les caractères suivants :

— *Eudmetoceras* —

- 1^{er} lobe latéral bien développé.
1^{er} lobe symétrique.
1^{er} lobe situé presque sur la ligne médiane spirale.
Les lobes auxiliaires sont au nombre de 3 sur le flanc.
Les éléments sont moins finement divisés que chez
Euaptetoceras.

— *Euaptetoceras* —

- 1^{er} lobe latéral bien développé.
1^{er} lobe dissymétrique.
1^{er} lobe situé environ au 1/3 sup. de la spire dans
l'espèce de BUCKMAN.
Les lobes auxiliaires sont au nombre de 4 sur le flanc.
Ces caractères se lisent sur les figurations don-
nées par BUCKMAN et se retrouvent nettement sur
les exemplaires africains, ce qui justifie dans le
cas présent la séparation en deux genres distincts.

Eudmetoceras, *Euaptetoceras* sont représentés
dans la faune du Tratt.

I. — Genre *EUDMETOCERAS* S. BUCKMAN, 1920

Eudmetoceras prosphues BUCKMAN

Pl. VI, fig. 9-10

- 1913 *Poecilomorphus infernensis* ROMAN [p. 19, pl. IV,
fig. 8 seulc].
1923. *Eudmetoceras prosphues* S. BUCKMAN [t. IV,
pl. CCCXCVIII].

Diagnose. — L'exemplaire n° 67 est une Ammo-
nite à spire épaisse, carénée, à flancs convexes.
La carène est arrondie, apparente sur le moule
interne ; elle reste nette et forte au diamètre maxi-
mum de 25,3 mm. Elle est entourée de deux dépres-
sions qui les séparent des côtes.

L'ombilic est ouvert. Les tours intérieures appa-
raissent avec leur enroulement régulier, pas plus
du 1/5 de chaque tour n'est recouvert.

La section des tours est subquadratique, la plus
grande largeur est au milieu des flancs.

Les côtes sont assez aiguës près de l'ombilic
et deviennent épaisses, larges à partir du milieu
des flancs, elles s'aplatissent, s'étalent, mais conti-
nuent à rester saillantes, nettement séparées les
unes des autres (15 au plus grand diamètre) en
abordant la partie ventrale. Là elles s'infléchissent

vers l'avant et comme elles restent renflées, elles
limitent un sillon qui les sépare de la carène ;
ces côtes sont dans l'ensemble radiales sur les flancs.

Les cloisons sont bien visibles sur les exemplaires
n°s 54, 73, où elles ont été silhouettées. Les caracté-
ristiques du type, données précédemment, appa-
raissent.

Dimensions :

D. max.	= 25,5 mm	
h.	= 8 mm	31 %
e.	= 11 mm (approx.)	43 %
d.	= 9 mm	35 %

Rapports et différences. — Forme parfaitement
assimilable à la figuration de BUCKMAN quant à
l'enroulement, à la costulation, à la section. Il n'y
a pas sur l'exemplaire n° 67 décrit de ligne sutu-
rale permettant la comparaison à même taille.

Gisement. — Le Tratt.

Niveau. — *Hemera eudmetum* de BUCKMAN
située entre les zones à *concaum* et *discites*.

11 exemplaires, n°s 48, 49, 51, 52, 53, 54, 55,
57, 68, 74, 75, sont des *Eudmetoceras* apparentés
à cette espèce *E. prosphues*, avec certaines varia-
tions dans l'ornementation, à savoir : côtes plus
ou moins nombreuses, plus ou moins serrées —
ou des variations dans la forme de la section qui
a tendance avec la croissance à devenir moins qua-
drangulaire, moins renflée sur les flancs.

Ces formes du Tratt ont subi des déformations
notables ou présentent des anomalies de croissance.
C'est pourquoi il est difficile de préciser davantage.

Enfin, toute une série de petits individus, n°s
58, 59, 60, 63, 69, 70, 71, 72, 73, 108, 109, etc...,
appartiennent à ce groupe, sans qu'il soit possible
étant donné leur taille de les déterminer avec
précision.

Eudmetoceras eudmetum (?) S. BUCKMAN

1920. *Eudmetoceras eudmetum* BUCKMAN
[t. III, pl. CLXXIX]

Exemplaire n° 47 : coquille discoïde à flancs
devenant rapidement plans et parallèles, à section
subquadrangulaire (l'éloignant de *Euapt. infer-
nense*), à croissance plus rapide que chez *Eudmeto-
ceras prosphues*. L'ornementation est celle de
Eudmetoceras prosphues, mais très vite il y a
bifurcation des côtes. Les proportions sont com-
patibles avec celles données par BUCKMAN pour
Eudmetoceras eudmetum :

D. max.	= 27,8 mm	
h.	= 11 mm	39 %
e.	= 8,6 mm	30 %
d.	= 9 mm	31 %

Il reste difficile de comparer davantage cet exemplaire à la figuration de BUCKMAN, étant donné les différences de taille.

Gisement. — Le Tratt.

Niveau. — Avec les formes précédentes : *hemera eudmetum*.

II. — Genre *EUAPTETOCERAS* S. BUCKM., 1922

Euaptetoceras infernense ROMAN sp.

Pl. VI, fig. 7-8

1913. *Poecilomorphus infernensis* ROMAN [p. 19, pl. IV, fig. 10].

1923. *Euaptetoceras infernense* S. BUCKMAN [l. IV, pl. CCCXCVII].

Diagnose (exemplaire n° 107 et fragment n° 50). — Ammonite aplatie, discoïde, à croissance rapide, de sorte que l'ombilic est peu ouvert. La carène est nette, peu élevée, là où elle est conservée. Les tours internes ont disparu. Le dernier tour est presque entier.

La section est subogivale avec un maximum d'épaisseur dans la région voisine de l'ombilic, et avec une partie ventrale arrondie. Les flans sont légèrement convergents. La paroi ombilicale est peu profonde et d'ailleurs mal dégagée sur l'échantillon.

La costulation est régulière sur tout le dernier tour. Les côtes primaires partant du bord ombilical sont radiales, elles sont fortes, accusées par une sorte de pincement qui les met en relief, et bien séparées les unes des autres. Un peu en-dessous de la moitié inférieure du tour, ces côtes se divisent en deux côtes secondaires qui s'aplatissent jusqu'à s'étaler en arrivant près de la carène où elles atteignent leur maximum de largeur. Ces côtes secondaires sont plus larges, plus arrondies, plus serrées, et ont un mouvement proverse qui se dessine à partir du quart supérieur dans la région ventrale. On compte 26 côtes au diamètre de 43,9 mm.

Les cloisons ne sont pas visibles.

Les dimensions prises, carène comprise, concordent avec celles données par BUCKMAN.

Dimensions :

D. max.	= 43,9 mm	
h.	= 18 mm	41 %
e.	= 13,2 mm	29 %
d.	= 11,5 mm	26 %

Rapports et différences. — C'est avec l'*Euaptetoceras infernense* de BUCKMAN qu'il y a le plus d'affinités en ce qui concerne les dimensions, l'ornementation, le nombre des côtes et la section.

L'exemplaire figuré par ROMAN a dans l'ensemble une ornementation plus fine.

Gisement. — Le Tratt.

Niveau. — *Hemera eudmetum*. Les *Euaptetoceras* et *Eudmetoceras* se rencontrent au même niveau (S. BUCKMAN).

**

Groupe des

ERYCITES - *ABBASITES* - *AMBERSITES*

CHARACTÈRES DISTINCTIFS GÉNÉRIQUES.

Les 3 genres ont le même enroulement caractéristique qui les apparente à certains *Stephanoceratacaea*.

Erycites GEMMELLARO, 1886

Génotype : *Amm. gonionotus* BENECKE.

Coquille à spire plus ou moins arrondie, évolutive dans les premiers stades, qui en un deuxième stade deviennent parfois très involute, tandis que chaque spire recouvre plus largement la spire précédente, et que l'ombilic devient « cratériforme » ; dans un dernier stade, la spire se déroule de plus en plus, se comprime, et peut augmenter de hauteur jusqu'à l'ouverture (*Ammonites fallax* BEN.). Les jeunes *Erycites* portent un rudiment de carène, et, sur leur moulage interne, une simple bande siphonale lisse. Une constriction précède l'ouverture. L'ornementation consiste en côtes primaires simples, rectilignes, qui peuvent être légèrement proverses, et de côtes secondaires, en nombre double ou triple, qui sont droites ou légèrement proverses, pouvant alterner ventralement de part et d'autre d'une bande siphonale lisse.

Cloison (voir exemplaire de Krendegg n° 35) à lobe siphonal court par rapport au premier lobe latéral, extrêmement long, étroit vers l'avant et touffu, dont une arborisation vient au contact de la ligne siphonale chez l'adulte. La deuxième selle latérale est double de largeur de la première. Le deuxième lobe latéral est creusé obliquement, moins profond que le premier. Le premier lobe auxiliaire est presque radial, le deuxième un peu oblique.

Les deux genres suivants sont réunis par ARKELL ; ils sont très voisins du précédent dont

ils peuvent être considérés comme des sous-genres; mais la comparaison des deux types de BUCKMAN et l'étude des exemplaires marocains justifient dans le cas présent leur distinction.

Abbasites BUCKMAN, 1921

Génotype : *A. abbas* S.B.

Enroulement de type *Erycites* : ombilic ouvert, laissant voir en partie les tours internes, à croissance régulière. Les tours sont épais, surbaissés, même au stade adulte ; l'Ammonite reste « globuleuse », le déroulement s'effectuant brusquement à partir seulement de la moitié du dernier tour, un peu après le début de la loge d'habitation. En même temps, la section se rétrécit latéralement sans s'élever. L'ornementation est radiale dans les tours internes, et peut devenir légèrement proverse dans les tours externes. Pas de carène ; alternance des côtes, de part et d'autre d'une étroite bande siphonale.

La cloison est dans l'ensemble formée de lobes moins allongés que dans *Erycites*, avec élargissement et simplification des éléments, en particulier régression des lobes auxiliaires.

Ambersites BUCKMAN, 1921

Génotype : *A. aegrotus* S.B.

Très voisin du genre précédent dont il diffère par un ombilic plus étroit et un déroulement plus brusque encore. Le principal caractère distinctif réside dans la costulation : les côtes primaires sont très courbées vers l'avant, saillantes, et donnent naissance à des côtes secondaires qui prennent une direction contraire ; rétroverses, ces côtes secondaires sont légèrement flexueuses et alternent seulement chez les jeunes *Ambersites* de part et d'autre d'une étroite bande siphonale ; chez l'adulte, les côtes traversent sans interruption le côté externe.

La section est de même type que dans le genre précédent, très large, mais peu surbaissée et devient au moment du déroulement plus étroite, sans augmenter de hauteur.

La cloison est encore plus simplifiée, peu découpée, à dessin d'ensemble très symétrique, tous les éléments étant orientés suivant la ligne spirale, sauf le premier lobe auxiliaire très réduit, légèrement oblique.

Dans la faune marocaine étudiée, ces trois genres sont bien représentés. Les individus sont assez abondants, mais leur étude devient compliquée du fait

de leur diversité, d'où la longue suite des descriptions qui s'est révélée nécessaire.

I. -- Genre *ERYCITES*

Erycites cf. *reussi* HAUER sp.

Pl. VII, fig. 1

1856. *Ann. reussi* HAUER [pl. XX, fig. 1-3].

1867-81. *A. reussi* HAUER in J. MENECHINI [pl. XII, fig. 4].

Diagnose. — L'exemplaire n° 52 est une Ammonite assez profondément ombiliquée, à spire large et arrondie, plus embrassante dans les tours internes que dans les tours externes, d'où un déroulement très net de la moitié du dernier tour conservé ; il est cependant de croissance très uniforme pour un *Erycites*.

Des rétrécissements des tours alternant avec des gonflements sont assez fréquents (quatre rétrécissements sur le dernier tour de l'exemplaire décrit). Il ne reste plus que des fragments de test, mais il semble bien que la carène était réduite à une bande lisse sur le siphon.

La paroi ombilicale n'est pas distincte des flancs.

Les tours sont plus épais que hauts, et le rapport h/c semble augmenter progressivement (0.60 à la fin de la spire, 0.57 au premier tour conservé).

La costulation est assez fine : les côtes primaires, très légèrement proverses ou radiales (22 côtes dans le dernier et l'avant-dernier tour), se divisent au maximum d'épaisseur du tour en 3 ou 2 côtes secondaires ; ces côtes, plus fines, plus serrées, accusent un léger mouvement vers l'arrière, avant d'aborder presque perpendiculairement la ligne siphonale ; elles alternent de part et d'autre de cette ligne. Au diamètre maximum de 35,5 mm, 12 côtes primaires sont comptées pour un demi-tour.

La suture présente à la fois des caractères d'*Erycites* et d'*Abbasites*. La disposition du lobe siphonal court par rapport au premier lobe latéral qui est long, étroit, ramifié, et dont une ramification atteint presque la ligne siphonale, caractérise la cloison d'*Erycites*. De même, la disposition des selles latérales, dont la deuxième est d'environ le double de la première. Mais le deuxième lobe latéral, large, non oblique, et les lobes auxiliaires peu développés (d'ailleurs assez peu visibles) caractériseraient plutôt la cloison d'*Abbasites*.

Les dimensions, de mesure exacte difficile, étant

donné la gangue qui emprisonne l'exemplaire, sont les suivantes :

D. max.	— 35,5 mm	
D.	= 33,2 mm	
h.	= 11 mm	33 %
e.	= 17,5 mm	49 %
d.	= 12,5 mm	37 %

La chambre d'habitation, conservée sur un quart de tour, devait atteindre presque un tour complet, d'après les empreintes sur la spire précédente.

Rapports et différences :

1) *Erycites reussi* HAUER est la forme figurée la plus voisine ; à diamètres différents, les dimensions sont légèrement différentes. Ce qui est dû au déroulement des tours avec la croissance ; l'ornementation est très voisine.

La cloison, sans être identique, est du même type.

2) L'exemplaire décrit (n° 52) est assez proche aussi d'*Erycites cestiferum* BRASIL. Au même diamètre, les dimensions sont concordantes, l'enroulement est identique et la section est certainement très voisine. Mais les cloisons sont inconnues dans cette espèce. D'autre part, la costulation diffère : les côtes primaires de l'espèce normande se divisent en deux côtes secondaires, elles sont fines, plus serrées et donc plus nombreuses que dans l'Ammonite décrite.

3) *Abbasites abbas* S. BUCKMAN diffère par les dimensions, le nombre des côtes qui sont moins espacées et plus inclinées vers l'avant, par la cloison, tout au moins dans la région siphonale.

Un autre individu (n° 39) peut aussi être rapproché de l'espèce de HAUER. Il a conservé sa chambre d'habitation, et ce qui reste de l'ouverture montre des caractères d'*Erycites* ; il y a déroulement brusque au diamètre de 40 mm, et la section près de l'extrémité antérieure devient plus déprimée, à section arrondie.

Dimensions :

D. max.	— 50,9 mm	
D.	= 33,7 mm	
h.	= 11,7 mm	35 %
e.	= 16,2 mm	48 %
d.	= 12,9 mm	38 %

Rapports et différences. — Avec l'Ammonite n° 52 décrite précédemment, il y a beaucoup d'affinités dans l'enroulement (voir dimensions) et l'ornementation générale.

Ces deux échantillons n°s 39 et 52 diffèrent par la hauteur des tours, le n° 39 ayant le côté

externe plus bombé, également par le moins grand écartement des côtes primaires au même diamètre.

Ces petites variations écartent le fossile étudié n° 39 du type *E. reussi* HAUER et le rapprochent au contraire d'*Erycites reussi* MENEGHINI. Les dimensions sont analogues à celles données par ce dernier auteur, sauf en ce qui concerne l'ombilie, moins ouvert dans l'espèce marocaine. La costulation, la croissance des tours, leurs variations en hauteur et épaisseur le long de la spire sont identiques.

Il faut ajouter que GREGORIO figure une forme très voisine : *Stephanoceras gardincola* mut. *irpus*. [1886. pl. X, fig. 7] dont l'ornementation est voisine ainsi que l'enroulement, mais les dimensions ne correspondent pas.

Gisement. — Krendegg (Moulay-Idriss). Accompagnant le premier *Erycites* décrit (n° 52), dans la même gangue, se trouve une petite *Ludwigella rudis* S. BUCKMAN (de la zone à *bradfordense*).

Erycites sp.

Pl. VII, fig. 2-3

1904. Cf. *Erycites telegdi-rothi* PRINZ
[p. 92, pl. XXXII-XXXIII, fig. 2]

Diagnose (exemplaire n° 35). — Ammonite à tours de section subcirculaire, enroulés suivant une spire dont l'accroissement paraît régulier, l'ombilie est ouvert. Comme il n'est conservé que le dernier tour de l'exemplaire et la trace en creux des tours internes, il est difficile de préciser, mais il semble que l'ombilie était assez profond. Au diamètre maximum (39 mm) où la chambre d'habitation n'est conservée que sur un quart de tour, on n'observe pas encore de changement dans les proportions de la spire ; la largeur, plus grande que la hauteur, atteint son maximum au-dessous du milieu des tours.

Les côtes, serrées, arrondies sur les tours internes, s'espacent et s'épaississent avec la croissance de l'Ammonite. Les primaires sont radiales avec une très légère inflexion, elles laissent le bord ombilical lisse et leur parcours se réduit au tiers inférieur des tours ; là elles se bifurquent, ou se trifurquent. Les côtes secondaires faiblement rétroverses redeviennent radiales près du siphon, elles atteignent la zone lisse siphonale en s'aplatissant et en faisant avec les côtes opposées un angle voisin de 140-145° ; elles ne se correspondent pas de part et d'autre de cette ligne.

La cloison est très nettement dessinée, caractéristique du genre *Erycites* avec un premier lobe latéral très développé, ramifié, dont une expansion est en contact avec la bande siphonale. Le deuxième lobe latéral est beaucoup moins étendu, il est oblique, ainsi que les lobes auxiliaires dont un surtout est bien développé, à direction presque radiale.

La deuxième selle latérale est très découpée bifide égale à environ deux fois la première selle mais à base très resserrée entre les deux lobes latéraux qui se rejoignent presque.

Dimensions :

D. = 38,7 mm	
h. = 14 mm	36 %
e. = 17 mm	43 %
d. = 14,8 mm	37 %

Rapports et différences. — C'est une Ammonite qui semble assez nouvelle, et la seule forme à laquelle on puisse la comparer est l'espèce *E. telegdirothi* PRINZ dont la croissance et l'ornementation appellent le rapprochement. Dans les deux formes, l'enroulement est régulier. La costulation est très fine dans les tours internes. Les côtes primaires sont courtes, mais au même diamètre, elles sont plus espacées dans l'exemplaire marocain. D'autre part, d'après la description de PRINZ, la section de l'Ammonite de Krendegg est très différente, beaucoup plus large, arrondie, à flancs très convexes.

Gisement. — Krendegg (Moulay-Idriss).

Niveau. —

Erycites cf. *gonionotus* BENECKE sp.

Pl. VII, fig. 4-5

1866. *A. gonionotus* BENECKE [p. 172, pl. 7, fig. 3]

1886. *H. gonionotum* VACEK [p. 41, pl. XVI, fig. 9]

Diagnose (Exemplaire n° 34). — Coquille évolutive, dont la croissance paraît assez régulière, à tours épais, plus larges que hauts, à paroi ombilicale non distincte des flancs. L'ombilie est assez profond formant un ensemble en gradins et surfaces décelives.

Les côtes secondaires sont raccordées par deux ou trois aux côtes primaires, elles sont légèrement inclinées vers l'avant et continuent les côtes primaires. Ces dernières (16 sur le dernier demi-tour) sont épaisses, arrondies ; l'intervalle les séparant est aussi large que la côte elle-même. Ces côtes et une partie des côtes secondaires sont bien visibles dans les tours internes. Sur la partie ventrale, les

côtes secondaires ne se rejoignent pas mais abordent en alternant une bande siphonale lisse.

La partie conservée du dernier tour correspond à la loge d'habitation ; les sutures sont peu visibles dans le tour précédent, où le test est encore partiellement conservé.

Dimensions :

D. = 44,5 mm	
h. = 13,8 mm	31 %
e. = 16,6 mm	37 %
d. = 20 mm	45 %

Rapports et différences. — *Ammonites gonionotus* BENECKE présente des différences dans l'ornementation des tours internes dont les côtes sont moins fines, moins serrées et divisées à plus grande distance de l'ombilie.

Avec la forme représentée par VACEK, il est plus aisé d'établir des comparaisons — ce qui ne présente pas de difficultés, puisque les exemplaires de BENECKE et de VACEK sont originaires de San Vigilio. Mais la même remarque peut être faite dans les figures de VACEK pour les tours internes, à costulation beaucoup moins fine, beaucoup moins divisée, et qui apparaît même rétroverse ; mais les dimensions, la disposition générale des côtes, l'enroulement, la section (non à l'extrémité de la spire figurée par VACEK, mais telle qu'elle apparaît au 1/2 tour précédent sur le diagramme dessiné) sont bien de même type.

Gisement. — Krendegg (Moulay-Idriss).

Niveau. — Zone à *murchisonae*. D'après HAUG (1885, p. 70), *E. gonionotum* est une bonne espèce caractéristique de cette zone, de la province méditerranéenne.

II. — Genre *ABBASITES*

Abbasites abbas S. BUCKMAN

Pl. VII, fig. 9-11

1921. *Abbasites abbas* S. BUCKMAN [t. III, pl. CCXXXVI]

Diagnose. — L'exemplaire n° 40 est le moulage interne d'une Ammonite presque globuleuse, profondément ombiliquée, avec déroulement brusque dans le dernier demi-tour. La chambre d'habitation forme les 4/5^{es} du dernier tour, et son ouverture n'est pas conservée. Il n'y a pas de carène à proprement parler, mais une étroite bande lisse sur l'emplacement du siphon, de part et d'autre de laquelle les côtes alternent.

La paroi ombilicale est presque verticale, haute, lisse dans sa partie la plus interne. Cette paroi

est caractérisée sur la première moitié du dernier tour par une concavité accentuée. Les tours sont larges, déprimés sur la face ventrale, surtout dans la région qui précède immédiatement le rétrécissement et le déroulement du dernier tour. Celui-ci, en effet, qui avait au diamètre de 23,2 mm une épaisseur de 16,3 mm, présente brusquement au diamètre de 25 mm un rétrécissement donnant à la fin du dernier tour une allure tubulaire. L'épaisseur diminue et reste la même jusqu'à l'ouverture (diamètre 28 mm, épaisseur 14 mm) ; il y a donc en même temps déroulement et contraction du dernier tour. Des rétrécissements périodiques moindres se manifestent d'ailleurs sur toute l'Ammonite depuis les tours internes.

Les côtes dans les premiers tours sont fines, serrées, inclinées en avant, rectilignes. Le mouvement proverse s'accroît avec l'âge. La bifurcation des côtes primaires (15 pour un demi-tour au diamètre de 29,7 mm) donne naissance aux côtes secondaires, qui suivent la même direction. La bifurcation a lieu au maximum d'épaisseur des tours. Ces côtes secondaires dans le moulage interne s'aplatissent de plus en plus à mesure qu'elles s'approchent de la bande siphonale lisse, elles sont rectilignes, nettement proverses sur la deuxième moitié du dernier tour, alors qu'elles étaient perpendiculaires à la ligne siphonale sur les tours précédents.

La ligne de suture est bien visible et très proche de celle figurée par S. BUCKMAN, avec un premier lobe latéral large symétrique, trifurqué, dépassant de peu le lobe siphonal et n'atteignant pas la ligne siphonale. La deuxième selle latérale, double de la largeur de la première selle, est peu oblique. Il y a une série de petits éléments auxiliaires, le dernier lobe auxiliaire seul étant oblique.

Dimensions. — L'exemplaire de Moulay-Idriss serait une forme naine de *Abbasites abbas* S. БУСМ.

D. max.	=	29,7 mm	
h.	=	9 mm	30 %
e.	=	13,7 mm	46 %
d.	=	13,2 mm	44 %

Rapports et différences. — *Abbasites abbas* créé par S. BUCKMAN a beaucoup d'analogies avec l'exemplaire décrit : enroulement avec déroulement net de la fin de la dernière spire, élévation rapide et constante du dernier tour, ombilic profond à haute paroi ombilicale, même longueur de la loge d'habitation, même costulation, suture très voisine, mais des différences notables existent dans les dimensions, en particulier le rétrécissement du dernier tour est moins accentué.

Gisement. — Krendegg (Moulay-Idriss).

Niveau. — *Hemera bradfordensis* selon BUCKMAN.

Abbasites cf. abbas S. BUCKMAN

Pl. VII, fig. 6-8

1921. *Abbasites abbas* S. BUCKMAN [t. III, pl. CCXXXVI]

Diagnose. — L'Ammonite n° 36 est un moulage interne, avec la chambre d'habitation qui forme tout le dernier tour. Elle est presque globuleuse dans les tours internes, profondément ombilicquée à tours plus larges que hauts, à croissance d'abord rapide de sorte que les tours internes ne sont visibles que suivant leur paroi ombilicale cratéri-forme. A partir de la deuxième moitié du dernier tour, il y a déroulement net et de plus en plus accentué, en même temps que contraction de la spire devenant plus étroite, ce qui lui donne une allure tubulaire.

L'ouverture de contour sinueux, très proéminent du côté externe, est bordée en arrière, d'une constriction très nette du moulage interne. La section est d'abord très déprimée, un peu trapézoïdale, puis devient ovale dans le sens transversal (au diamètre 39 mm, l'épaisseur est de 22 mm). Des rétrécissements suivis d'élargissement apparaissent sur le parcours de la spire.

La paroi ombilicale, très raide, est d'abord lisse puis costulée. Malgré l'état de l'Ammonite, il semble que cette paroi présente sur environ la première moitié de la dernière spire une concavité lisse très marquée.

Les côtes primaires, assez fines (13 côtes au dernier demi-tour), proverses dans les tours internes, d'autant plus qu'elles sont proches de l'ouverture, s'épaississent et s'espacent de plus en plus. Elles finissent par devenir très saillantes là où les tours présentent une largeur maximum ; en même temps elles se divisent en trois côtes secondaires (quelquefois deux) ; celles-ci, d'abord assez fines, s'épaississent vers l'avant et s'étalent au voisinage de la ligne siphonale réduite à une petite zone lisse. Ces côtes secondaires l'atteignent perpendiculairement sans se correspondre et ont une tendance à s'infléchir très légèrement vers l'avant dans le dernier quart de la chambre d'habitation. La constriction précédant l'ouverture correspond à une zone lisse.

La suture n'est pas distincte complètement (seul le deuxième lobe latéral, large, apparaît nettement, comme dans les *Abbasites*).

Dimensions. Avant la constriction antérieure:

D. = 40,8 mm	
h. = 12 mm	29 %
e. = 17,4 mm	42 %
d. = 18,4 mm	45 %

Rapports et différences. — *Abbasites abbas* S. BUCKMAN en diffère par un nombre de côtes légèrement supérieur. Les côtes de l'exemplaire africain sont plus espacées, elles sont également plus accentuées.

L'épaisseur des tours est plus grande : 42 % quand la hauteur est de 29 % (ex. n° 36), mais devient égale à 45 % quand la hauteur atteint déjà 34,5 %. Le bord ombilical semble plus abrupt.

Les dimensions ne sont pas absolument concordantes, en particulier le déroulement est moins accentué chez *Abbasites abbas*.

L'exemplaire de Moulay-Idriss présente toutefois beaucoup d'affinités avec la forme précédente: même disposition des côtes, mêmes variations de l'épaisseur, rétrécissements, gonflements, constriction terminale qui borde l'ouverture.

Gisement. — Krendegg (Moulay-Idriss).

Niveau. — *Hemera bradfordensis* selon BUCKMAN.

Abbasites ? sp.

Pl. VII, fig. 12

1921. *Abbasites* aff. *abbas* S. BUCKMAN
[t. III, pl. CCXXXVII]

Diagnose. — Le n° 111 est une petite Ammonite à l'état de moulage interne, entièrement cloisonné, profondément ombiliqué, à tours larges surbaissés donnant une section à contours largement arrondis. La croissance est assez rapide.

Cet échantillon est très endommagé, de sorte que les tours internes sont mal visibles. La costulation est usée, et la spire est très incomplète. Les cloisons existent jusque dans la partie la plus antérieure. Des traces de rétrécissements sont visibles suivies d'élargissement des tours.

La paroi ombilicale est abrupte sans être verticale. Elle est lisse, près de la suture ombilicale, puis légèrement costulée.

L'ornementation est faite de côtes d'abord fines, proverses, légèrement arquées, puis progressivement plus épaisses et plus espacées. Ce sont les côtes primaires qui en certains points de la spire prennent un mouvement très net en « virgule ». Puis elles se divisent en côtes secondaires, très fines, nombreuses, s'aplatissant et s'élargissant progres-

sivement jusqu'à l'ouverture. Ces côtes arrivent jusqu'à une étroite bande siphonale lisse, de part et d'autre de laquelle elles ne se correspondent pas. Ces côtes secondaires venant de la trifurcation des primaires, ne prolongent pas exactement celles-ci ventralement mais se redressent un peu pour arriver perpendiculairement au bord de la ligne siphonale.

La suture est très visible et caractérisée par des éléments allongés suivant la ligne spirale ; seul le deuxième lobe auxiliaire (ombilical) est « suspensif ».

Le premier lobe latéral long est ramifié symétriquement de telle sorte qu'il se divise en quatre branches à son extrémité, il dépasse le lobe siphonal mais d'assez peu. Ce dernier est assez long, découpé. La deuxième selle latérale est bifide, mais à peine plus large que la première selle latérale. Quant au deuxième lobe latéral, il est large, bifide ; il y a trois lobes auxiliaires nets, le premier peu développé.

Dimensions :

D. = 20,6 mm	
h. = 9,2 mm	44 %
e. = 12 mm	58 %
d. = 6 mm	29 %

Rapports et différences. — *Abbasites abbas* BUCKMAN diffère par le type d'ornementation plus rectiligne. Les dimensions sont sensiblement différentes.

La section a des contours identiques.

La suture est également différente, avec des caractères d'*Erycites*, mais dans l'ensemble peut être considérée comme parente aussi de la cloison représentée par BUCKMAN.

Ambersites aegrotus S. BUCKMAN diffère par les dimensions. La section d'*Ambersites* est plus élevée, présentant un bombement au milieu de la partie ventrale. La cloison est plus ramassée, plus uniforme sur la figuration donnée par BUCKMAN et dans l'ensemble elle s'éloigne de celle décrite plus haut.

De ces comparaisons, il résulte que l'exemplaire de Moulay-Idriss présente à la fois des caractères d'*Ambersites* et d'*Abbasites*, et il est difficile de le rattacher à un genre plutôt qu'à l'autre. Toutefois, d'après la suture et la section, il semble qu'on puisse le ranger parmi les *Abbasites*.

Gisement. — Krendegg (Moulay-Idriss).

Niveau. — *Hemera bradfordensis* selon BUCKMAN.

III. — Genre *AMBERSITES*

Ambersites ?

Pl. VII, fig. 16-17

1921. *Ambersites* cf. *aegrotus* ? S. BUCKMAN
[t. III, pl. CCXXXVIII]

Diagnose (exemplaire n° 151). — Ammonite globuleuse, profondément ombiliquée, à enroulement relativement rapide diminuant progressivement, d'où déroulement. Les tours sont larges, plus épais que hauts, anguleux sur les côtés, à contour ventral fortement bombé, présentant en son milieu un maximum de hauteur.

Les flancs, dans leur partie ombilicale, sont inclinés sans atteindre la verticale, entièrement costulés dans les tours internes ; les côtes n'apparaissent qu'au-dessus d'une bande lisse, à un quart de tour avant le début de la loge d'habitation.

Les côtes primaires sont aiguës, arquées, à concavité tournée vers l'avant, elles sont espacées et dépassent le point de plus grande épaisseur des tours où elles deviennent très saillantes. Puis elles se divisent en trois ou quatre côtes. Ces côtes secondaires traversent la partie ventrale en se redressant pour atteindre perpendiculairement la zone siphonale étroite et lisse, et deviennent légèrement obliques sur la chambre d'habitation où elles se rejoignent ; elles sont d'abord fines, nombreuses, s'épaississent régulièrement et s'espacent de plus en plus.

Les cloisons apparaissent mais l'état défectueux de l'Ammonite ne permet pas de les suivre entièrement, ni de les caractériser.

Dimensions :

D. max.	=	28,2 mm	
D.	=	25 mm	
h.	=	10,4 mm	41 %
e.	=	18 mm	72 %
d.	=	7,5 mm	30 %

Rapports et différences. — *Ambersites aegrotus* S. BUCKMAN diffère par le trajet sinueux des côtes secondaires, bifurquées et non trifurquées, mais il y a analogie de forme : section, enroulement, dessin accentué des côtes primaires arquées. D'autre part, les dimensions sont du même ordre ; malheureusement il n'est pas possible de comparer les cloisons ni la terminaison de la spire.

Amm. fallax DUMORTIER non BECKE [pl. LV, fig. 5-6] a une section différente beaucoup plus surbaissée et donc les tours sont plus épais. Les côtes sont moins nombreuses, plus aiguës pour les

primaires, mais également trifurquées et de disposition et de dessin semblables. Les dimensions sont assez voisines. Cet exemplaire de DUMORTIER diffère de *A. fallax* BEN. par une costulation primaire non radiale, et nettement arquée en avant.

Présentant beaucoup d'affinités avec *A. aegrotus* BUCK. et *A. fallax* BEN. in DUMORTIER, il semble cependant qu'on puisse assimiler l'exemplaire de Krendegg à *Ambersites*.

Gisement. — Krendegg (Moulay-Idriss).

Niveau. — Zone à *bradfordensis* selon BUCKMAN, au même niveau que les *Abbasites*.

**

Appartenant au genre *Ambersites* existe un groupe de spécimens ayant chacun des caractères assez particuliers et suffisamment nets pour qu'on les décrive et qu'on puisse considérer chacun comme une espèce distincte. Toutefois, ne disposant que de trop rares spécimens, je me bornerai à donner une description détaillée sans introduire de noms nouveaux. La désignation sera faite par une lettre en attendant qu'une documentation plus riche permette de compléter les diagnoses et de les nommer spécifiquement.

Ambersites nov. sp. A

Pl. VII, fig. 22-23

Diagnose. — Le n° 153 est une Ammonite épaisse, à spire qui s'enroule rapidement dans les tours internes très embrassants et qui subit au début de la chambre d'habitation un déroulement brusque à partir duquel les tours s'aplatissent latéralement. La section devient alors plutôt quadrangulaire après avoir été presque semi-circulaire, les flancs deviennent plats après avoir été fortement convexes. L'ombilie est profond, cratériforme, assez peu ouvert.

Deux accidents réparés par l'Ammonite sont visibles sur la chambre d'habitation et modifient au moins localement la costulation de cette partie. Dans les tours internes, jusqu'à la loge d'habitation, les côtes primaires, assez aiguës, concaves vers l'avant (12 en un demi-tour à la fin de la partie cloisonnée), se divisent en deux ou trois côtes secondaires. Celles-ci esquissent un léger mouvement vers l'arrière. La disposition des côtes au voisinage de la bande siphonale est variable étant donné les accidents subis. Les côtes sont interrompues et alternent sur la ligne siphonale, elles semblent

toutefois traverser la ligne siphonale sans interruption sur la dernière loge. Dans cette région, elles deviennent plus épaisses, plus saillantes. De même, les côtes primaires, qui sont nettement arquées et n'atteignent pas tout à fait le milieu des flanes. La cloison est peu visible.

Dimensions :

D. = 43,2 mm	
h. = 16,4 mm	37 %
c. = 18,8 mm	43 %
d. = 13,4 mm	36 %

Rapports et différences. — Cette nouvelle espèce présente des affinités avec *Ambersites aegrotus* S. BUCKMAN. Les proportions sont assez identiques pour l'ombilic, pour la hauteur des tours, mais non pour leur épaisseur et la section s'en trouve très différente.

La costulation est de même type, mais pour les raisons émises précédemment, le rapprochement est difficile.

Stephanoceras gardincola « mut. *tulcus* » de GREGORIO est également une forme très voisine. La costulation est semblable, dans les tours internes comme dans les tours externes. Les dimensions sont sensiblement différentes, mais il reste qu'il existe entre ces deux formes une très grande parenté. En l'absence de cloison, il est difficile de trancher et en dehors de la costulation, la forme générale et les variations de l'enroulement de l'espèce de GREGORIO sont en faveur du genre *Ambersites*.

Gisement. — Krendegg (Moulay-Idriss).

Niveau. — Hemera *bradfordensis*.

Sur le bord Nord du Haut-Atlas, au Nord de GOURRAMA (d'après la coupe de Almou-Abbouri de G. DUBAR), les *Ambersites* se rencontrent avec les *Abbasifles*, au voisinage de la faune à *concauum*, peut-être dans la zone à *bradfordense*.

Ambersites nov. sp. *B*

Diagnose. — L'exemplaire n° 149 est une Ammonite à tours épais, surbaissés, coroniforme dans les tours internes, devenant plus élevés, à flanes plus plats, de section subrectangulaire dans le tour externe; ainsi la coquille a un enroulement de type *Erycites*.

Les côtes primaires sont saillantes, en virgule dans les tours internes, un peu plus rectilignes au dernier tour. Les côtes secondaires se raccordent par un coude, et sont légèrement rétroverses (ou radiales), ce qui donne une ornementation caractéristique du genre *Ambersites* de BUCKMAN.

C'est un exemplaire très voisin de celui qui vient d'être décrit (*Ambersites* sp. *A*) ; il en diffère par des côtes plus fines, plus serrées au début du dernier tour, par un diamètre ombilical plus grand, par une épaisseur moindre à diamètre égal, mais ils relèvent du même type; la dernière spire est aussi moins élevée. Elle porte environ 80 côtes secondaires.

Dimensions :

D. = 40,3 mm	
h. = 13,3 mm	33 %
c. = 18,2 mm	45 %
d. = 15,2 mm	42 %

Les sutures ne sont pas apparentes.

Rapports et différences. — Ce sont les formes figurées par GREGORIO qui sont les plus voisines, compte tenu de l'enroulement, de la costulation, de la section; mais étant donné l'interprétation générique défectueuse donnée par GREGORIO, c'est au genre créé par BUCKMAN qu'il convient de rattacher la forme présente.

Gisement. — Krendegg (Moulay-Idriss).

Niveau. — Hemera *bradfordensis* ou un peu plus récent, comme pour l'espèce précédente (*Ambersites* sp. *A*).

Ambersites gardincola GREGORIO ?

Pl. VII, fig. 18-19, 20, 21

1886. *Stephanoceras gardincola* GREGORIO
[p. 16, pl. X, fig. 5, 10]

Diagnose. — Deux exemplaires n°s 148, 154, sont pourvus de leur dernière loge; la costulation flexueuse caractéristique, les variations dans l'enroulement des tours (surtout à la fin de la spire) et la forme correspondante de la section, les associent au genre *Ambersites* pour les mêmes raisons que précédemment. Ce sont toujours des formes voisines, aux variations d'épaisseur des tours près, des exemplaires figurés par GREGORIO [1886, pl. X, fig. 5, 6, 10].

Les dimensions sont les suivantes :

N° 154 (fig. 19)		N° 148 (fig. 20)	
D. = 37,9 mm		D. = 28,3 mm	
h. = 11,8 mm	31 %	h. = 11,8 mm	41 %
e. = 15,8 mm	41 %	c. = 13,2 mm	47 %
d. = 15,1 mm	40 %	d. = 9,4 mm	33 %

Un caractère remarquable de ces deux formes est la disposition des côtes sur la partie ventrale: elles se raccordent, au moins dans le dernier tour.

et pour cela se contournent légèrement, car elles ne se correspondent pas parfaitement. Le résultat est que ces côtes externes sont sinueuses, légèrement dissymétriques. Sur la partie antérieure vers la chambre d'habitation, elles traversent normalement la partie ventrale ; sur le plus petit de ces deux individus (n° 148), une petite partie de l'ouverture est conservée avec son test tandis que la spire s'évase vers cette ouverture, la costulation est remplacée par des stries fines qui suivent la même sinuosité. Le n° 155, de 23,6 mm de diamètre, a 58 côtes ; le n° 154, de 37,9 mm, a 66 côtes.

Note. — GREGORIO a donné des noms de « mutations » à toutes les Ammonites mises par lui sous le nom de *Stephanoceras gardincola*. Il est nécessaire de séparer, au milieu d'elles, un type correspondant au nom de *St. gardincola*. Nous choisissons comme type de *Ambersites gardincola* GREGORIO sp. le premier exemplaire figuré par lui sous ce nom [1886, pl. X, fig. 5]. De ce fait, le nom de « mut. *tulcus* GREG.

» n'a plus de raison d'être.

Rapports et différences. — Les tours internes de l'espèce de GREGORIO sont d'un type différent des exemplaires marocains, ceux-ci conservant la même ornementation sur l'ensemble de la spire. Toutefois, ce qui pourrait être un défaut de dessin ne peut être retenu pour base de comparaison. Il faudrait pour trancher, voir le type de GREGORIO.

Cette forme se distingue des formes A et B, comme de *Amb. cf. aegrotus* BUCK., par la section encore plus étroite, plus arrondie dans le tour externe, et par sa faible hauteur, de sorte que sur un tour et quart la spire a 14 à 15 mm de large.

Gisement. — Krendegg (Moulay-Idriss).

Niveau. Hemera *bradfordensis* ou un peu plus récent, comme pour les formes précédentes.

REMARQUES.

1) Les exemplaires n°s 155, 156 (tous deux de 24 mm) correspondent vraisemblablement aux individus jeunes de ces espèces représentées à Krendegg (155 n'est pas éloigné sur un tour presque entier ; il en serait de même pour 156).

Diagnose. — Le n° 156 est une petite Ammonite moyennement ombilicquée à tours plus larges que hauts de section subtrapézoïdale, la surface ventrale n'est pas aplatie mais présente une élévation maxima en son milieu.

La paroi ombilicale est très inclinée sans être verticale et costulée depuis sa base, mieux visible quand le test est conservé. Les côtes primaires sont saillantes (24 ou 25 côtes au dernier tour,

arquées en forme de virgule, elles atteignent le bord ombilical, c'est-à-dire le niveau où les flancs présentent le maximum d'épaisseur vers le tiers de la hauteur des tours, puis elles se divisent en deux ou trois côtes secondaires, qui changent de direction, par rapport aux précédentes qui sont rétroverses, et le restent jusqu'à la ligne siphonale où elles sont successivement décalées ou en contiguïté ; vers l'avant, elles traversent nettement la partie ventrale ; il y a une petite bande lisse siphonale (n° 155) qui correspond à l'interruption des côtes, mais elle n'est visible que sur le moule interne.

Dimensions (n° 156) :

D. —	23,8 mm	
h. —	8,7 mm	36 %
e. —	14,2 mm	59 %
d. —	7,5 mm	31 %

2) Toujours à rattacher au groupe précédent, le n° 142 [Pl. VII, fig. 21], un autre exemplaire voisin des figurations de GREGORIO [pl. X, fig. 5, 6], est un individu du même genre conservé avec sa dernière loge se distinguant des autres par son ombilic large, par son ornementation fortement accusée, par la présence avant la bouche d'une constriction très prononcée ; la costulation est ventralement identique aux autres. La suture n'est pas visible. La spire se rétrécit beaucoup vers l'ouverture (incomplète), qui est bordée, en arrière, d'une constriction (moule interne) plus fortement infléchie en avant que les côtes primaires.

Dimensions :

D. =	26,4 mm	
h. =	8,7 mm	32 %
	(à 10 mm en arrière de l'ouverture)	
e. =	10,9 mm	41 %
d. =	10,7 mm	40 %

Gisement. — Krendegg (Moulay-Idriss).

Niveau. — Avec les formes précédemment décrites (n°s 148, 154).

Une série de plus petits exemplaires appartenant à des espèces différentes sont d'interprétation assez difficile, à cause de l'absence de cloisons visibles d'une part, à cause du peu de formes semblables décrites ou figurées d'autre part. Ce sont dans l'ensemble des formes voisines de *Ambersites* de BUCKMAN. Il semble que beaucoup aient conservé leur dernière loge, mais s'agit-il de formes jeunes des espèces précédentes ou de formes naines ? Les principaux types que l'on peut y dégager sont décrits ci-après.

Ambersites nov. sp. C

Pl. VII, fig. 13-15

Diagnose, d'après 4 échantillons (n^{os} 158, 161, 163, 164). — Le n^o 158 est une petite Ammonite globuleuse, profondément ombiliquée, à tours larges, d'abord à section arrondie, puis progressivement moins convexes sur la partie ventrale. La paroi ombilicale est verticale et d'abord lisse sur le moulage interne contre le tour précédent, portant seulement de faibles côtes sur le test, puis ces côtes s'accroissent.

Sur l'échantillon décrit, le test est partiellement bien conservé, permettant d'observer sur le test des stries fines parallèles à la costulation. Les côtes primaires sont aiguës, arquées vers l'avant ; elles atteignent le maximum d'épaisseur des tours puis se bifurquent ou se trifurquent en côtes secondaires ; elles sont rétroverses, faisant un coude avec les côtes primaires, puis se redressent perpendiculairement à la ligne siphonale, où elles s'affrontent successivement décalées, puis continues et à nouveau alternantes, sans carène ni bande siphonale : c'est l'ornementation type du genre *Ambersites* créé par S. BUCKMAN. On compte 65 côtes pour un diamètre de 19,2 mm.

Il n'y a pas de cloison apparente.

Dimensions (n^o 158) :

D. max.	=	19,2 mm	
h.	=	7,5 mm	39 %
e.	=	13 mm	67 %
d.	=	5,7 mm	29 %

Rapports et différences. — Les proportions, la forme de la section avec moindre convexité ventrale, rapprochent cette forme du type *Abbasites* de BUCKMAN, mais la costulation est beaucoup plus voisine de son genre *Ambersites*. Un exemplaire figuré par GREGORIO [1886. pl. X, fig. 9] présente une costulation analogue.

Elle se distingue des formes précédemment décrites, surtout par ses côtes primaires et secondaires plus fines ; de *Ambersites* cf. *aegrotus* et *Amb. E* par le bord ombilical un peu plus arrondi, l'ombilic un peu plus large.

Gisement. — Krendegg (Moulay-Idriss).

Niveau. — *Hemera bradfordensis* (avec les autres *Ambersites*).

Ambersites nov. sp. D

— Faune de Moulay-Idriss n^{os} 108, 109, 160 : moule internes.

Diagnose. — Le n^o 160 (diamètre 23 mm) est une petite Ammonite globuleuse à enroulement rapide laissant un ombilic réduit à paroi ombilicale très inclinée presque verticale. Les tours sont épais, beaucoup plus larges que hauts avec un maximum de hauteur correspondant au bord ombilical. La section est donc dans l'ensemble surbaissée, anguleuse sur les côtés, le contour ventral étant très largement arrondi.

La costulation est fine ; les côtes primaires aiguës, nettement arquées vers l'avant, à l'extérieur du bord ombilical qu'elles franchissent, se bifurquent ou se trifurquent en côtes secondaires qui se redressent vers l'arrière de manière à franchir la partie ventrale perpendiculaire à la ligne siphonale. Il n'y a pas à proprement parler de bande siphonale et les côtes se raccordent sur la ligne siphonale ; leur raccord n'est d'ailleurs pas parfait et en certains endroits on distingue une sorte d'aplatissement des côtes dissimulant un léger décalage (n^o 160). Il y a 66 côtes au diamètre de 22,8 mm.

Sur l'exemplaire n^o 108, de diamètre maximum : 15,4 mm, la zone lisse siphonale est bien distincte, la costulation y est très fine et les cloisons apparaissent mais ne peuvent être suivies avec précision.

Sur l'échantillon n^o 160 précédemment décrit, il n'y a pas de cloison visible.

Les dimensions respectives sont les suivantes :

— N ^o 160 —		— N ^o 109 —	
D. =	22,8 mm	D. =	15,9 mm
h. =	10,5 mm 46 %	h. =	6 mm 37 %
e. =	15,3 mm 67 %	e. =	13,2 mm 83 %
d. =	5,9 mm 26 %	d. =	4 mm 25 %

— N^o 108 —

D. =	14,5 mm
h. =	5,1 mm 35 %
e. =	10,9 mm 75 %
d. =	4 mm 27 %

Rapports et différences. — *Ambersites* nov. sp. D, avec une costulation aussi fine que *Amb. C* (mais un ombilic plus étroit), a une spire comparable à celle d'*Amb. cf. aegrotus*, plus anguleuse sur les côtés mais moins épaisse que celle-ci.

Gisement. — Krendegg (Moulay-Idriss).

Niveau. — *Hemera bradfordensis*.

Ambersites nov. sp. E

Pl. VII, fig. 12

Diagnose. — Les exemplaires n^{os} 150, 152 (moules internes) sont très voisins des précédents sans être

identiques. Le n° 152 est une forme globuleuse involute, et dont les tours d'abord largement convexes sur les flancs, élevés suivant la ligne siphonale, deviennent beaucoup moins convexes vers l'ouverture. Il y a rétrécissement accentué de la spire, mais à ce diamètre (27,3 mm) il n'y a qu'un léger déroulement.

Les côtes primaires sont fines comme les côtes secondaires (n° 152 : 35 au dernier tour). A peine sont-elles plus espacées, plus aiguës, arquées vers l'avant ; elles se divisent en deux ou trois côtes secondaires (n° 152 : 77 côtes) qui sont fines, serrées et s'aplatissent ventralement ; elles se redressent par rapport à la direction des côtes primaires de manière à atteindre la ligne siphonale perpendiculairement. Au début de la dernière spire, cette ligne siphonale est nettement marquée par une bande

faiblement ondulée, très étroite de part et d'autre de laquelle les côtes alternent ou se correspondent suivant les points ; vers l'avant, les côtes traversent sans interruption la partie ventrale.

Sur l'exemplaire n° 150, les mêmes caractères s'observent, mais l'ornementation dans l'ensemble est moins fine, les tours sont moins larges. Aucune trace de suture n'est franchement visible.

Dimensions (n° 150) :

D.	=	24,7 mm	
h.	=	9 mm	36 %
e.	=	14 mm	56 %
d.	=	7 mm	28 %

Gisement. — Krendegg (Moulay-Idriss).

Niveau. — Hemera *bradfordensis*.

D) FAMILLE DES SONNINIDAE

Groupe des *HAPLOPLEUROCERAS* et *ZURCHERIA*

I. — Genre *HAPLOPLEUROCERAS*

S. BUCKMAN, 1892

Le genre *Haplopleuroceras*, très bien représenté au Maroc, a été étudié par le Colonel GÉRARD qui, en dehors des deux espèces créées en Angleterre par S. BUCKMAN, a décrit et figuré trois espèces nouvelles d'après les échantillons récoltés en partie dans les gisements du Tratt.

Dans la faune qui fait l'objet de cette étude, les représentants du genre *Haplopleuroceras* sont nombreux, en particulier dans la faune du Tratt. Il ne semble pas que ce soient ceux déjà vus par GÉRARD, mais les mêmes formes, avec les mêmes caractères exactement, se retrouvent.

Ce genre apparaît dans le Haut-Atlas, rassemblé en un *seul niveau* de la zone à *concaum*, à peine plus récent que l'« hemera » *concaum*. On le trouve à la partie tout à fait supérieure de l'Aalénien, juste avant la disparition des derniers *Graphoceratidés*.

Haplopleuroceras subspinatum S. BUCKMAN

1892. S. BUCKMAN [p. 299, pl. XLIX, fig. 5-6 ; pl. LI, fig. 5-10].

1937. Ch. GÉRARD [p. 625, pl. XXX, fig. 1-5].

Jebel Tratt, n°s 7, 11, 18, 30 ; 9, 31, 45 ; 10, 12 ; cf. 28 (moulanges internes).

Haplopleuroceras mundum S. BUCKMAN

1892. S. BUCKMAN [p. 302, pl. LI, fig. 11-12].

1937. GÉRARD [p. 626, pl. XXX, fig. 6-9].

Jebel Tratt, n°s 2, 3, 13, 16, 23, 29 ; 4, 5, 8, 14, 15, 17, 19, 20, 21, 22 ; 32, 33.

Haplopleuroceras erimum GÉRARD

1937. GÉRARD [p. 627, pl. XXXI, fig. 10-13]

Jebel Tratt, n°s 24, 25, 26, 34, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44.

II. — Genre *ZURCHERIA* H. DOUVILLÉ, 1885

Zurcheria cf. *pertinax* VACEK

Pl. VI, fig. 14

1886. *Hammatoceras pertinax* VACEK [p. 96, pl. XVI, fig. 5-6].

1892. *Zurcheria pertinax* VACEK in BUCKMAN [p. 297, pl. XLIX, fig. 21-22].

L'exemplaire n° 30, par tous ses caractères, est voisin de l'espèce de VACEK ; la section montre des flancs un peu moins convexes. Les côtes restent plus flexueuses à tous les âges. A moins de 10 mm, elles se groupent par deux, plus et moins fortes, à partir d'une épine périombilicale qui manque dans le type ; seules les plus fortes ont une épine au bord externe. Après cette alternance, très accen-

tuée vers 18 mm, les côtes plus faibles tendent à disparaître et les plus fortes se serrent jusqu'à 30 mm ; la carène reste très faible, à peine visible.

Après une partie de spire brisée, la dernière loge à l'état de moulage interne porte encore des côtes atténuées, avec un épaissement plutôt qu'une épine au bord de l'ombilic, qui s'efface aussi vers l'ouverture. Les côtes sont très proverses, flexueuses, remplacées par des faibles plis, projetés en une anse allongée sur le côté ventral.

Ainsi les principales différences d'avec le type sont : l'épine périombilicale, la flexuosité des côtes à tous les âges. Il semble que l'ornementation ventrale de l'exemplaire de VACEK est accentuée du fait de l'existence du test. La suture, au même diamètre, ne semble pas aussi fine que dans la figuration de VACEK et le premier lobe latéral est presque en contact par deux points externes avec la ligne siphonale, comme celle des *Erycites*.

Un autre échantillon (n° 90) semble appartenir à *Zurcheria pertinax*, mais il est mal conservé. Ses côtes paraissent plus rectilignes que dans l'échantillon décrit (n° 30).

Un fragment de loge d'habitation (n° 16) s'apparente à la même espèce ; le côté externe arrondi, à peine pourvu d'une trace de carène, l'écarte des *Haplopleuroceras* que rappelle sa costulation nettement plus forte que dans *Z. pertinax* ; les côtes portent encore une très faible épine externe et un renflement périombilical.

Un autre fragment (n° 17), début de chambre d'habitation, de taille plus petite, à côté externe arrondi et carène plus nette, a une franche costulation d'*Hapl. subspinalum*.

Gisement. — Krendegg.

Niveau. — Zone à *concauum*, selon BUCKMAN.

Zurcheria aff. *parvispinata* S. BUCKMAN

Pl. VI, fig. 13

1892. *Zurcheria parvispinata* BUCKMAN
[p. 296, pl. XLIX, fig. 18-19]

Rapports et différences. L'exemplaire n° 37 est un moule interne entièrement cloisonné à croissance régulière, contrairement à ce qui est commun chez les *Zurcheria*. Les côtes sont rectilignes, proverses, puis de plus en plus radiales ; côtes épineuses alternant avec des côtes lisses plus

faibles. Ce mode de costulation entraîne le rapprochement avec l'espèce *Z. parvispinata* de BUCKMAN. La section et la partie ventrale lisse munie d'une carène rudimentaire sont identiques. La cloison, bien visible, à éléments larges, présente un lobe siphonal très étroit, et très court, un premier lobe latéral dont les pointes externes s'avancent très près du siphon, sous la première selle latérale qui est très étroite, comprimée.

Gisement. — Krendegg (Moulay-Idriss).

Niveau. — Zone à *concauum*, selon BUCKMAN.

Zurcheria sp.

Un petit exemplaire (n° 51, moule interne entièrement cloisonné) à côtes nombreuses, proverses sur les flancs, alternativement plus fines et plus épaisses, a presque tous les caractères de *Haplopleuroceras eximium*. La section est rectangulaire, comprimée. Mais la partie ventrale est lisse, dépourvue de sillons, arrondie, avec une carène rudimentaire. A partir du diamètre de 21 mm, sur 1 cm de long, les côtes traversent la partie ventrale en dessinant des chevrons, mis en évidence quand des restes du test sont conservés.

La cloison est du type des *Zurcheria* : le lobe siphonal est très court, et le premier latéral envoie une branche sous ce lobe jusque près du siphon ; la deuxième selle latérale est plus large que la première.

La section et la suture rattachent sans hésitation cette petite forme aux *Zurcheria* malgré la costulation très semblable à celle d'*Haplopleuroceras eximium*.

Gisement. — Krendegg (Moulay-Idriss).

Niveau. — Zone à *concauum* ?

De ces observations, il résulte que l'on a affaire à un genre tout différent de celui établi par DOUVILLÉ. RENZ a bien séparé deux catégories de *Zurcheria*, l'une correspondant au type primitif (*Z. ubaldi* H. DOUV.), sans carène, à cloison de *Sonninia*, l'autre, dont la costulation s'apparente davantage à celle des *Haplopleuroceras*, avec des cloisons d'*Erycites*, et sont carénées. *Z. ubaldi* était du Bajocien inférieur, les espèces de VACEK et celles qui sont décrites ici, venant de Krendegg, sont aaléniennes.

SUPER-FAMILLE DES STEPHANOCERATACEA

E) FAMILLE DES OTOITIDAE

Genre *DOCIDOCERAS*

Docidoceras cf. modestum VACEK sp.

1886. *Coeloceras modestum* VACEK
[p. 100, pl. XVII, fig. 4-6]

Diagnose. — Moulage interne (n° 33) assez mal conservé, dont l'enroulement est assez régulier dans les deux dernières spires, seules visibles. La loge d'habitation représente presque tout le dernier tour. L'épaisseur de ce tour augmente peu, passant de 11 à 12 mm, la hauteur de 7,5 à 10 mm ; en même temps la section, subcirculaire au début, devient plus carrée à la fin de la spire.

La costulation est fine ; les côtes primaires arquées et proverses, passent, sous le milieu du tour, aux côtes secondaires ; celles-ci, franchement rétroverses dans le tour interne, le sont moins dans le tour externe ; il y a tantôt division en deux secondaires, tantôt apparition d'intercalaires ; cette costulation est interrompue parfois par des constrictionnements disposés radialement.

Les côtes secondaires se réunissent sur le siphon, sans déviation au début du dernier tour ; ensuite elles dessinent une courbe un peu convexe en avant. Les sutures apparaissent surtout près de l'ombilic.

Dimensions :

D. =	33,2 mm	
h. =	11,4 mm	34 %
e. =	12 mm	36 %
d. =	13,5 mm	40 %

La loge d'habitation occupe environ un tour complet.

Rapports et différences. — Il y a beaucoup d'analogie avec la forme figurée par VACEK en particulier. La cloison dans la partie interne des tours est semblable. Les proportions sont de même ordre. Les côtes du fossile décrit n'ont pas tout à fait la même disposition, étant moins proverses dans le tour externe, plus proverses dans les tours internes, et également beaucoup moins nombreuses. La section est voisine avec une partie ventrale aplatie, des flancs convexes, des tours internes saillants dans l'ombilic. Le caractère de convexité des tours est plus accusé sur le diagramme de VACEK, mais la conservation de l'exemplaire de Moulay-Idriss est très défectueuse.

Gisement. — Krendegg (Moulay-Idriss).

Niveau. — Avec *L. lolularia* DUMORTIER et *P. cf. literatum* S. BUCKMAN, dans la zone à *nurchisonae*, mais à un niveau élevé.

BIBLIOGRAPHIE

- Seuls sont mentionnés les principaux ouvrages utilisés dans l'étude paléontologique.
- ARKELL W.J. (1956). — Jurassic geology of the World. London, Oliver and Boyd.
- ARKELL W.J. (1957). — Ammonoidea. Treatise on Invertebrate Paleontology, by R.C. Moore.
- BENECKE (1866). — Ueber Trias und Jura in den Südalpen. *Geogn., Pal. Beiträge*. I. Bd., I. Heft., München.
- BRASILI (1895). — Cephalopodes nouveaux ou peu connus des étages Jurassiques de Normandie. *Bull. Soc. Géol. Norm.*, t. XVI, 22 p., 4 pl.
- BUCKMAN S. (1886-1907). — A Monograph of the Ammonites of the Inferior Oolite Series. *Palaontogr. Soc.* London. Vol. I (1886-1894), p. 1-456, Atlas of plates I-CIII and A. Suppl. (1898-1907), p. I-CCLXII, pl. I-XXIV.
- BUCKMAN S. (1909-1930). — Yorkshire Type Ammonites, vol. I-II ; Type Ammonites, vol. III-VII.
- DUMORTIER (1874). — Etudes paléontologiques sur les dépôts jurassiques du Bassin du Rhône, t. IV.
- FALLOT P. (1952). — Livret-guide n° 5 (Maroc). *Congrès Géol. International*, XIX^e session. Alger, 1952.
- GÉRARD (1937). — Note sur le genre d'Ammonites *Haplopleuroceras*. *Bull. Soc. Géol. France* (5), t. VII, p. 623-629, pl. XXX-XXXI.
- GREGORIO (1886). — Monographie des fossiles de San Vigilio du sous-horizon *Grappin* de Greg. *Ann. Géol. et Pal. de Gregorio*. 5^e livr. Palerme.
- GUBLER J. (1938). — Les grès du Zerhoun. Etude lithologique et stratigraphique. *Bull. Soc. Sc. Nat. Maroc*, t. XVIII, 2^e trimestre.
- GUBLER J. et LÉVY R. (1940). — Le bord méridional des Unités préifaines entre Moulay-Yacoub et Fès (Maroc occidental). *Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc*, n° 52.
- HAUER (1856). — Ueber die Cephalopoden aus dem Lias d. Nordostlichen Alpen.
- HAUG E. (1885). — Beiträge zur einer Monographie der Ammoniten gattung *Harpoceras*. *Inaugural Dissert.*, Strasbourg, p. 143, pl. XI-XII.

- MAYER Ch. (1871). — Description des coquilles fossiles des terrains jurassiques, part. III. *Journal de Conchyliologie*, 1865.
- MENEGETTI (1867-81). — Monographie des fossiles du calcaire rouge ammonitique (Lias supérieur) de Lombardie et de l'Apennin central. Milan.
- OPPEL (1862). — Palaeontologische Mittheilungen. München.
- PERROT Chr. (1955). — Etudes sur l'Aalénien inférieur au Nord du Tage. *Comunicações d. Serv. Geol. Portugal*, t. XXXVI, 26 p., Lisbonne.
- PRINZ (1904). — Die Fauna der älteren Jurabildungen im Nordöstlichen Bakony. *Mitteil. aus Jahrb. K. geol. Anst.*, XV Band, I Heft.
- RENZ C. (1925). — Beiträge zur Cephalopodenfauna des älteren Doggers am Monte San Giuliano (Monte Erice) bei Trapani in Westsizilien. *Abhandl. Schweizer. pal. Gesellsch.*, Band XLV.
- RICHE A. (1904). — Etude strat. et pal. sur la zone à *Lioceras concavum* du Mont d'Or Lyonnais. *Ann. Univ. Lyon*, nouvelle série I, Fasc. 14.
- RICHE A. et ROMAN F. (1921). — La Montagne de Crussol. *Trav. Lab. Géol. Fac. Sc. Lyon*, fasc. 1, 196 p., 8 pl.
- ROMAN F. (1913). — Etude sur la Faune de Céphalopodes de l'Aalénien sup. de la vallée du Rhône (zone à *Ludwigia concava*). *Ann. Soc. linn. Lyon*, t. LX.
- VACEK (1886). — Über die Fauna der Oolithe von Cap San Vigilio. *Abhandl. k. k. Geol. Reichsanst.*, Bd. XII, n° 3.
- WESTERMAN G. (1954). — Monographie der Ootitidae (Ammonoidea). *Beihfte z. Geol. Jahrb.*, t. 15, 364 p., 33 pl. Hannover.
- ZURCHER Ph. et DOUVILLÉ H. (1885). — Note sur la zone à *Ammonites souerbyi* des environs de Toulon. *B.S.G.F.* (3) XIII, p. 9-14, pl. I-III.

TABLE ALPHABETIQUE DES NOMS CITES DANS CE MEMOIRE

— FAMILLES —		— ESPÈCES —		
	Pages		Pages	
Graphoceratidae	22	aalense	Harpoceras	25
Hammatoceratidae	25	abbas	Abbasites (VII. 6-11)	37, 40
Hildoceratidae	21	aegrotus	Ambersites (VII. 16-17)	41, 42
Ootitidae	47, 52	amplectens	Euaptetoceras	33
Sonniniidae	45	anguliferum	Graphoceras	24
		arcitenens	Ludwigella	25
		arcuatum	Hyperlioceras	25
		attenuata	Ludwigella	25
		bifidatum	Lioceras	22
		brasili	Hyattina	23
		cestiferum	Erycites	37
		compactum	Platygraphoceras	24
		comptum	Lioceras	22
		concava	Ludwigella	24
		contortum	Graphoceras	24
		costula	Harpoceras	22
		debile	Graphoceras	24
		decorum	Graphoceras	24
		diadematoïdes	Hammatoceras (V. 5-6)	26
		euaptetum	Euaptetoceras	33
		eudmetum	Eudmetoceras	34
		eximium	Haplopleuroceras	45, 46
		fallax	Erycites	41
		fortis	Otoites	52
		furcatum	Hyperlioceras	25
		futile	Graphoceras	24
		gardincola	Ambersites (VII. 18-21)	42, 51
		gonionotus	Erycites (VII. 4-5)	38
		guliensis	Hammatoceras (V. 7-8)	26
		hollandae	Tmetoceras	21
		infernense	Euaptetoceras (VI. 7-8)	35
		irpus	Erycites	37
		lepta	Oedania	25
		limitatum	Graphoceras	24
		litteratum	Pseudographoceras	23
		lorteti	Hammatoceras	27, 30
		megacanthum	Parammatoceras (V. 13-15)	27
		modestum	Docidoceras	47
		mundum	Haplopleuroceras	45
		opalinum	Lioceras	22

		Pages			Pages
opalinoïdes	Ludwigia	23	simitis	Brasilia	23
partitum	Lioceras	22	stephensi	Vacekia (V. 1-4)	22
parvispinata	Zurcheria (VI. 13)	46	subinsigne	Hammatoceras	26
pertinax	Zurcheria (VI. 14)	45	subfalcata	Brasilia	23
planiforme	Planammatoceras (VI. 1-4)	31, 32	subrudis	Ludwigella	24
planinsigne	Planammatoceras (VI. 5-6)	32	subspinatum	Haplopleuroceras	45
prospheues	Eudmetoceras (VI. 9-10)	34	substriatum	Lioceras	22
pulchra	Brasilia	23	telegdi-rothi	Erycites (VI. 2-3)	37
pumilum	Coeloceras	51	tolutaria	Ludwigia	22, 23
reussi	Erycites (VII. 1)	36	tuleus	Ambersites	42
rudis	Ludwigella	24	tutcheri	Erasilia	23
sauzei	Otoites (VII. 24-26)	52	ubaldi	Zurcheria	46
scissum	Tmetoceras	21	V-scriptum	Graphoceras	24
sieboldi	Parammatoceras (V. 16)	28, 29			

EXPLICATION DES PLANCHES

— PLANCHE V —

- FIG. 1. — *Vacekia stephensi* S.B. (Krendegg n° 132).
Remarquer l'accentuation de l'ornementation sur le tour externe du moule interne. p. 22
- FIG. 2. — *Vacekia stephensi* S.B. (Krendegg n° 120).
Moule interne ayant conservé quelques traces de test. Remarquer l'enroulement régulier sans augmentation de la hauteur de la spire au dernier tour. p. 22
- FIG. 3. — *Vacekia stephensi* (Krendegg n° 31).
Moule interne avec mise en évidence de la costulation. p. 22
- FIG. 4. — La même Ammonite vue de profil. Le dessin de la carène apparaît très distinctement.
- FIG. 5-6. — *Hammatoceras diadematoïdes* MAYER (Krendegg n° 19).
Les tours internes ont conservé leur test. Vue ventrale et latérale. p. 26
- FIG. 7-8. — *Hammatoceras guliense* RENZ. sp. (Krendegg n° 12).
Ammonite vue de flanc, la ligne suturale est silhouettée, et vue ventrale. p. 26
- FIG. 9-10. — *Sonninia* ? ou *Hammatoceras* ? (Krendegg n° 136). p. 30
- FIG. 11-12. — *Sonninia* ? ou *Hammatoceras* ? (Krendegg n° 137). p. 30
- FIG. 13-14. — *Parammatoceras megacanthum* L. BRASIL. (Krendegg n° 54).
Vue de face et vers l'ouverture. p. 28
- FIG. 15. — *Parammatoceras* cf. *megacanthum* L. BRASIL. (Krendegg n° 9).
Les tours internes sont armés de fortes épines qui disparaissent peu à peu, faisant place à une ornementation simple visible au début du dernier tour, et qui disparaît vers l'ouverture. La cloison est silhouettée. Gr. $\times 0,39$. p. 27
- FIG. 16. — *Parammatoceras sieboldi* VACEK non OPEL (Krendegg n° 7). Gr. $\times 0,40$. p. 29

— PLANCHE VI —

- FIG. 1. — *Planammatoceras* cf. *planiforme* S.B. (1^{re} forme) (Krendegg n° 13). p. 31
- FIG. 2. — Le même exemplaire vu de profil (il est très endommagé).
- FIG. 3. — *Planammatoceras* cf. *planiforme* S.B. (2^e forme) (Krendegg n° 41). p. 32
- FIG. 4. — Le même exemplaire vu par sa section.
- FIG. 5. — *Planammatoceras* sp. cf. *planinsigne* VACEK (Krendegg n° 14).
Le dessin des côtes apparaît bien vers la fin de la spire. La cloison est silhouettée. p. 32
- FIG. 6. — La même Ammonite en profil montrant l'amincissement de la section sur la partie externe.
- FIG. 7. — *Euaetetoceras infernense* ROMAN. (Le Tratt n° 107).
L'Ammonite est vue de flanc. p. 35
- FIG. 8. — Le même individu vu de profil.
- FIG. 9. — *Eudmetoceras prospheues* BUCKM. (Krendegg n° 67).
Ammonite vue de flanc encore engagée dans la gangue. Le dessin des côtes est exagéré par suite du dégagement déficient. p. 34
- FIG. 10. — Le même exemplaire vu de profil montrant la carène entourée de sillons; par exception, l'ouverture est en bas de la figure.
- FIG. 11-12. — *Hammatoceras* sp. nov. (Krendegg n° 70).
Vue de flanc et de profil. p. 50
- FIG. 13. — *Zurcheria* sp. cf. *partispinata* BUCKM. (Krendegg n° 37). p. 46
- FIG. 14. — *Zurcheria* cf. *pertinax* VACEK (Krendegg n° 30).
Sur l'avant-dernier tour, les épines marginales se détachent nettement. p. 45
- FIG. 15-17. — *Ambersites* sp. nov. *F* (Krendegg n° 147).
Vue de flanc, montrant une « joue » au bord de l'ouverture, vue de profil au milieu (16) et à la fin de la loge d'habitation. Gr. $\times 1,5$.
- FIG. 18-19. — *Ambersites* sp. nov. *F* (Krendegg n° 162).
Autre exemplaire, vu de flanc et de profil (extrémité de la loge d'habitation). Gr. $\times 1,5$. p. 51

FIG. 20. — *Ambersites* sp. nov. *F* (Krendegg n° 49).
Exemplaire de petite taille vu de profil, montrant
vers le haut le rétrécissement de l'ouverture.
Gr. \times 1,5. p. 51

— PLANCHE VII —

FIG. 1. — *Erycites* cf. *reussi* HAUER sp. (Krendegg
n° 52). p. 36

FIG. 2-3. — *Erycites* sp. aff. *telegdi-rothi* PRINZ (Kren-
degg n° 35).
Vue de flanc et de l'ouverture. p. 37

FIG. 4-5. — *Erycites* cf. *gonionotus* BENECKE (Krendegg
n° 34).
Vue de flanc et de section. p. 38

FIG. 6-8. — *Abbasites* cf. *abbas* S. BUCKMAN (Krendegg
n° 36).
Moulage interne. L'ouverture est conservée. Vue
des deux flancs et de l'ouverture. p. 39

FIG. 9-11. — *Abbasites* *abbas* S. BUCKMAN (Krendegg
n° 40).
Moulage interne. Vue des deux flancs et de l'ou-
verture qui n'est pas complète. La dernière cloi-
son est silhouettée. p. 38

FIG. 12. — *Ambersites* nov. sp. *E* (Krendegg n° 152).
Exemplaire vu de flanc. p. 44

FIG. 13-15. — *Ambersites* sp. *C* (Krendegg n° 158).
Le test en grande partie conservé. Vue en gran-
deur naturelle (fig. 13) et grossi \times 2, de flanc
et du côté ventral. p. 44

FIG. 16-17. — *Ambersites* cf. *aegetus* S. BUCKMAN (Kren-
degg n° 151).
Moulage interne, vu de flanc et du côté ventral ;
la dernière loge commence sous le milieu de
la fig. 17. p. 41

FIG. 18-19. — *Ambersites* *gardincola* GREGORIO ? (Kren-
degg n° 154).
Vues de profil et de l'ouverture. p. 42

FIG. 20. — *Ambersites* *gardincola* GREGORIO (Krendegg
n° 148). p. 42

FIG. 21. — *Ambersites* *gardincola* GREGORIO (Krendegg
n° 142). p. 42
Exemplaire dont l'ouverture est presque entière ;
le dernier tour est un peu déformé.

FIG. 22-23. — *Ambersites* n. sp. *A* (Krendegg n° 153).
Vue de flanc et du côté ventral. p. 41

FIG. 24-25. — *Otoites* sp. aff. *sauzei* d'ORB. (Jebel Tratt
n° 107).
Vue de flanc et du côté ventral au niveau de
l'ouverture. p. 52

FIG. 26. — *Otoites* sp. aff. *sauzei* d'ORB. (Jebel Tratt).
Vue de flanc montrant le rétrécissement de la
spire près de l'ouverture. p. 52

SUPPLEMENT A L'ETUDE DES FAUNES AALENIENNES DE KRENDEGG ET DU J. TRATT (Prérif, Maroc)

par G. DUBAR (1)

Parmi les fossiles les moins utilisables qui restaient après l'étude de Mlle LELIÈVRE, les deux espèces d'Ammonites suivantes, passées d'abord inaperçues, ont paru assez nouvelles pour être dégagées et décrites.

Comme ce complément de travail ne pouvait être entrepris par Mlle LELIÈVRE, retenue loin de Lille, je complète par ces deux diagnoses la description des faunes de Krendegg et leur joins celle d'*Otoites* sp., du Bajocien du Tratt. Elles sont figurées sur les planches VI et VII du Mémoire précédent (2).

Hammatoceras sp. nov.

Pl. VI, fig. 11-12

L'Ammonite n° 70, de Krendegg, est un moulage interne, mal conservé, caractérisé par une double ornementation d'épines dans les tours internes, de côtes rétroversées dans le tour externe.

(1) Professeur à la Faculté Catholique de Lille.

(2) Ce Supplément au Mémoire de Mlle LELIÈVRE en utilise la Bibliographie, et les Ammonites étudiées ici sont notées dans la Table de ce Mémoire.

La coquille est de croissance plutôt lente, comprimée.

Les tours internes sont convexes, ornés de côtes fines, rétroversées, qui portent une forte épine (il y en aurait 10 par tour), séparées par de larges intervalles concaves ; les spires s'appuient sur les épines du tour précédent qui échancrent un peu leur bord ombilical.

Au début du dernier tour, cette ornementation est remplacée par des côtes primaires, divisées, au milieu de la hauteur, en deux côtes secondaires divergentes, avec une épine réduite, au point de division ; ensuite les côtes apparaissent de plus en plus loin de la ligne d'involution, au-dessus d'une surface lisse et déclive vers l'ombilic ; elles sont presque toujours simples, rétroversées, courbées, avec convexité vers l'avant ; elles se terminent, sur le côté externe, en un petit nodule séparé de la carène peu élevée.

La loge d'habitation est conservée sur un demi-tour.

La cloison comprend un premier lobe latéral aussi long que le lobe siphonal ; la première selle latérale, assez massive vers la base, n'a qu'une faible découpe à mi-hauteur du côté externe.

La deuxième selle latérale, assez égale à la première, se place au niveau du tubercule latéral ; le deuxième lobe latéral est à peine oblique, et trois petits lobes auxiliaires sont franchement « suspensifs ». Ainsi la partie externe de la cloison rappelle les *Sonninia*, l'interne, les *Hammatoceras*.

Malgré les caractères « internes » d'*Hammatoceras*, cette espèce se distingue nettement des formes connues, par l'ornementation du dernier tour conservé.

Dimensions :

diamètre	31 mm
hauteur	9,6 mm
épaisseur	8,6 mm

Ambersites ? sp. nov. *F*

Pl. VI, fig. 15-17, 18-19, 20

Parmi les plus petites formes dont la détermination avait été différée, trois exemplaires rappellent avec des caractères exagérés les *Ambersites* décrits précédemment ; ils diffèrent assez l'un de l'autre pour être décrits séparément.

Le n° 147, mieux conservé, qui est le plus grand (17,5 mm), a des tours internes arrondis, très recouvrants, de forme presque globulaire, ornés de côtes primaires arquées en avant, divisés au bord externe en deux côtes secondaires ; celles-ci, sans former de coude brusque avec la côte primaire, se cambrent vers l'arrière.

Au début du dernier tour, ces côtes rétroversées dessinent, très atténuée sur la ligne médiane, une courbe couverte en avant.

La spire s'accroît, surtout en épaisseur sur un quart du dernier tour (9,2 mm), puis se rétrécit et se comprime latéralement : à ce moment, les côtes primaires se réduisent à un point de bifurcation dans l'ombilic, les côtes secondaires, toujours très sinuées, deviennent plus fortes sur le côté ventral, seulement interrompues sur la ligne médiane où elles alternent dans le dernier quart de tour (épaisseur : 7 mm).

Or, sur le côté gauche, l'ouverture, moins brisée, conserve au-dessus du milieu des flancs une petite joue, et près de la spire précédente un évasement

vers l'avant ; cette ouverture rappelle celle de « *Coeloceras* » *pumilum* VACEK [1886, p. 45, pl. XVII, fig. 10] qui diffère par ses autres caractères. La dernière loge paraît occuper les 4/5^e du dernier tour.

L'allure des côtes de cette Ammonite rappelle un peu celles de *Ambersites* sp. nov. *A*, ou *B*, ci-dessus.

Le n° 162 (16,2 mm), moule interne, moins développé, a un ombilic plus ouvert, une spire moins haute, mais encore de section arrondie. Les côtes primaires se raccordent aux secondaires par un coude brusque.

Au dernier tour, ces côtes sont d'abord faibles du côté ventral, interrompues sur la ligne médiane, mais d'abord sans décalage.

Après le premier tiers du dernier tour où le développement en épaisseur est maximum, la spire se rétrécit, les côtes un peu plus irrégulières se renforcent sur la face ventrale et ne commencent à alterner que sur le dernier tiers de spire.

A la fin, la dernière loge s'ouvre davantage, devient lisse et là aussi, une petite joue existe. La loge d'habitation occupe au moins les trois-quarts du dernier tour.

Cette forme, n° 162, correspond pour la costulation à *Ambersites* sp. *C* ci-dessus.

Le n° 49 (moulage interne) devait avoir 15,5 à 16 mm de diamètre ; réduit à la dernière moitié du dernier tour, il porte des côtes secondaires, un peu condées latéralement, traversant, bien fortes, le côté externe. Le commencement de l'ouverture est conservé, avec un léger renflement latéral qui serait la base d'une oreillette.

Peut-être cette forme serait-elle de costulation plus comparable à *Amb. gardincola* (n° 142).

Au N. du jebel Bou-Dahar (Haut-Atlas), avec un groupe d'*Ambersites* pyriteux, et d'autres Ammonites aaléniennes, une quatrième petite Ammonite de ce groupe se rencontrait, avec des caractères un peu différents des trois formes ci-dessus.

Il était intéressant de montrer qu'il existait, avec les *Ambersites* de taille normale, à péristome arrondi (comme les *Docidoceras* ou les *Stephanoceras*), de petites formes « naines », à même évolution de spire et costulation comparable, dont l'ouverture est pourvue de joues ; de ce fait, il faudrait

les placer dans un autre genre (*Trilobitoceras* ?) ; les anciens Paléontologistes auraient vu là un cas de dimorphisme sexuel.

Otoites sp.

Pl. VII, fig. 24-25, 26

1921. *Otoites sauzei* d'ORB, in A. RICHE et F. ROMAN [p. 138, pl. VI, fig. 8]

Les deux exemplaires figurés semblent comparables à celui de Crussol ; ici, cependant, les épines sont mieux développées près de l'ouverture : il y en a 13 dans le dernier tour ; de chacune partent 4 (ou 5) côtes secondaires.

Le caractère le plus remarquable est le rétrécissement antérieur très accentué qui se produit sur un quart de tour. Les deux dernières côtes sont sans épine, plus épaisses et élevées, suivies de l'élargissement latéral qui est la base des joues, comme on le voit dans *O. sauzei*.

Faut-il rapprocher ces fossiles des autres petits *Otoites* connus (ZÜRCHER et H. DOUVILLÉ, 1885 [p. 41, pl. III, fig. 9] ; C. RENZ, 1925 [p. 32, pl. II, fig. 8]) ? Dans l'exemplaire de RENZ, les côtes sont moins nombreuses, mais le rétrécissement antérieur est comparable ; le dessin défectueux du fossile de DOUVILLÉ ne permet pas l'assimilation ; le rétrécissement antérieur, mentionné dans le texte, n'y apparaît pas.

La forme figurée par DOUVILLÉ et celle de RICHE et ROMAN sont placées avec un point d'interrogation mais sans discussion par WESTERMANN [1951, p. 103] dans son espèce nouvelle, *Otoites fortis* ; celle-ci est de taille double ou triple de celle de nos fossiles et ne montre pas les mêmes caractères d'ouverture.

Il reste à établir l'âge exact de cette petite forme, jusqu'ici datée, d'après les grands *Otoites* d'espèces différentes de la zone à *sauzei*. Peut-être cet *Otoites* serait-il plus ancien.



Séance du 3 Février 1960

PRÉSIDENCE DE M. CH. DELATTRE, PRÉSIDENT SORTANT

PUIS DE M. J. RICOUR, NOUVEAU PRÉSIDENT.

Est élu membre de la Société :

— M. J. MAGNÉ, Ingénieur-géologue à Esso-Rep - 36, rue du Parc, Caudéran (Gironde)
(présenté par MM. Delattre et Polvêche).

Avant de quitter la présidence, M. DELATTRE remercie les membres du Bureau de la Société pour leur dévouement et invite M. J. RICOUR à prendre place au siège présidentiel.

M. J. RICOUR, en prenant possession de ses fonctions présidentielles, prononce le discours suivant :

« Mesdames, Mesdemoiselles, Messieurs, mes chers Confrères,

Quitte à manquer d'originalité, je ne puis m'empêcher d'évoquer devant vous aujourd'hui, comme le fit il y a un an notre cher président DELATTRE, mon premier contact avec la Société géologique du Nord. Lorsque j'ai pénétré pour la première fois dans cette salle, ce fut par effraction. Je vous rassurerai toutefois immédiatement sur l'honorabilité de votre nouveau président, en vous précisant que le fait eut lieu en 1941 et avec la complicité du professeur Gilbert MATHIEU. Notre délit n'avait pour but que de récupérer des cartes géologiques momentanément détournées de leur but pacifique d'enseignement vers des fins guerrières.

C'est vous dire quel est mon émoi et ma joie, aujourd'hui, d'entrer dans cette salle d'une façon plus officielle. Ma joie est d'autant plus grande que j'ai, dès maintenant, une nouvelle heureuse à vous annoncer : M. Pierre PRUVOST, notre maître à tous, vient de m'apprendre que la fondation qui porte son nom met à la disposition de la Société géologique du Nord une somme importante dont la liberté d'emploi est laissée au Conseil. En votre nom, je remercie notre directeur, qui est pour nous tous, et chaque jour davantage, un exemple vénéré mais aussi un ami.

Je remercie également M. le Professeur G. WATERLOT, qui en tant que président du comité d'organisation de la Fondation Pierre Pruvost, n'est certainement pas étranger à l'importante dotation qui nous est faite aujourd'hui. Je profite de l'occasion pour lui dire quel fut mon réconfort de le trouver à mes côtés en 1956, lorsque le B.R.G.G.M. fut chargé par les services préfectoraux d'une étude sur les ressources en eau du Nord de la France, œuvre entreprise dès 1920, en précurseur, par le professeur Louis DOLLÉ. Depuis quatre années, M. G. WATERLOT a bien voulu nous accorder sa collaboration efficace et souriante, exemple de ce que doivent être les liaisons entre la recherche, l'enseignement et l'industrie. Si la mission qui m'incombe est couronnée de succès, je le devrai à l'appui fourni par M. G. WATERLOT, et je lui en suis très reconnaissant.

Accueillant comme un heureux présage le soutien de la Fondation Pierre Pruvost, c'est sans appréhension que j'aborde la tâche que votre confiance m'a attribuée. Soyez persuadés que je la prendrai à cœur et que j'essaierai, non seulement de maintenir haut le flambeau qui m'est

transmis, mais aussi d'apporter à l'organisation de notre Société les aménagements qui pourraient se révéler nécessaires.

Mon travail sera facilité dès son début par la sage gestion de mon prédécesseur Ch. DELATRE qui, loin de « faire chavirer la barque » comme il semblait le craindre il y a un an, l'a au contraire menée avec maîtrise. Je dois d'ailleurs vous informer que le dernier conseil qu'il vient de présider a pris la décision, mûrement réfléchie, de changer le format de nos annales. Bien que leur présentation soit pour nous chargée de souvenirs, et malgré notre respect de ceux qui les ont ainsi faites, leur forme actuelle est malheureusement incompatible avec l'esthétique de la graphie du XX^e siècle et les exigences des publications scientifiques modernes. Le format 21 × 27 qui a été adopté offre, entre autres, l'avantage d'inclure la plupart des illustrations dans le texte avec suppression de bon nombre de dépliants et planches. L'économie réalisée permettra d'améliorer la qualité du papier et de rendre à nos annales leur lustre d'antan.

Ma confiance est accrue à l'idée que je pourrai bénéficier des conseils d'anciens présidents. De ceux de mon ami Antoine BONRE, notamment, qui a su m'insuffler une partie de son enthousiasme pour la géologie appliquée et auquel je suis lié aujourd'hui par tant de souvenirs. De ceux de M. CORSIX, également, qui, après s'être dévoué pendant de nombreuses années à notre Société, ne manquera pas, je l'espère, de me faire bénéficier de sa longue expérience.

La présence de M. DUMON, industriel et géologue avisé, à la vice-présidence, est pour moi le gage de la continuité de l'effort qui sera accompli en 1960. De même, le dynamisme et le bon sens de notre délégué aux publications, M. Jean POLVÊCHE, me laissent peu d'inquiétude sur l'application de la réforme que vient de décider le conseil.

M. CÉLET quitte aujourd'hui le secrétariat dont il a assuré la fonction, à la satisfaction générale, pendant de longues années. M'associant à M. DELATRE, je le remercie des services qu'il nous a rendus et je souhaite la bienvenue à M. Michel WATERLOT qui le remplace. J'espère que le président de 1960 ne lui compliquera pas trop la tâche, malgré les quelques réformes qu'il prévoit de soumettre à votre conseil. A Mme DEFRETIN, notre dévouée bibliothécaire, et à M. CHALARD, notre libraire, je promets en effet de faire en sorte que durant l'année 1960 ils soient pourvus des moyens en matériel et en personnel sans lesquels il leur est impossible de remplir leur charge. La bibliothèque de notre Société, qui est certainement la seconde bibliothèque géologique de France, représente un patrimoine qui nous a été légué et que nous devons mettre en valeur.

Avec le concours de notre trésorier, M. l'abbé TIEGHEM, de notre secrétaire-adjointe, Mlle LE MAÎTRE, et des éminents conseillers que sont MM. DUPARQUE, PETIT, DEPAPE et R. LEROUX, je suis persuadé que nous réaliserons nos projets.

J'envisage de rendre nos réunions encore plus vivantes en élargissant le cercle de nos conférenciers. C'est dans ce but que j'ai invité l'Association internationale des hydrogéologues à tenir dans le Nord les prochaines assises de sa commission de la craie. A cette réunion, qui se tiendra sous l'égide du B.R.G.M. et de la Société géologique du Nord, vous serez tous cordialement invités. L'excursion qui suivra ces journées de colloque sera intégrée à notre réunion extraordinaire.

Il nous reste peu de temps pour accomplir ce programme ; c'est pourquoi je vous propose de passer immédiatement au travail ».

Est élu membre du Conseil :

— M. Ch. DELATTRE, Président sortant, en remplacement de M. R. MARLIÈRE dont le mandat est expiré.

Il est procédé à l'organisation des excursions pour l'année 1959. La liste suivante est arrêtée :

Samedi 26 et Dimanche 27 Mars (S.G. et F.S.) (1) : AVESNOIS.

Terrains cambriens, dévoniens, dinantiens et wealdiens à Pas Bayard, Mondrepuis, Anor, Fourmies, Trélon, Bachant, Limont-Fontaine, Ferrière-la-Petite.

Mercredi 27 Avril au Dimanche 1^{er} Mai (F.S.) : BASSIN DE PARIS.

Eocène et Oligocène à l'Ouest et à l'Est de Paris, avec le concours de M. Daniel LAURENTIAUX, Docteur ès-Sciences, du Laboratoire de Géologie à la Sorbonne.

Lundi 9 Mai (F.S. : Géologie générale) : BOULONNAIS.

Etude des phénomènes généraux : érosion des falaises, comblement des anses, vailleuse ; examen de la série crétacée du Blanc-Nez ; plage suspendue de Sangatte.

Dimanche 15 Mai (F.S.) : TOURNAL.

Terrains dinantiens, crétacés et tertiaires.

Dimanche 22 Mai : REUNION EXTRAORDINAIRE DE LA SOCIETE GEOLOGIQUE DU NORD.

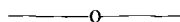
Visite de la station de pompage et de la centrale des Ansereuilles. Etude des eaux hydrothermales de Saint-Amand.

Dimanche 29 Mai (F.S. : Géologie historique) : BOULONNAIS.

Terrains jurassiques.

Dimanche 13 Novembre (F.S.) : HAUBOURDIN.

Terrains sénoniens.



(1) S.G. : Société Géologique du Nord — F.S. : Faculté des Sciences.

COMMUNICATIONS

**Sur la découverte de quelques gisements fossilifères éocènes
en Grèce méridionale (Montagnes de l'Iti)
et sur les faciès du Flysch dans cette région**

par P. CELET (1)

Pl. II et III

Sommaire. — L'étude micropaléontologique de calcaires gréseux microbréchiques trouvés dans le Flysch de l'Iti (Grèce) permet d'attribuer à ces calcaires un âge Lutétien supérieur et de dater avec plus de précision les plissements dans cette région. Un essai de reconstitution de la stratigraphie du Flysch de l'Iti est tenté. Les variations latérales du faciès flysch en Grèce méridionale sont examinées.

En Grèce orientale, le problème de l'âge des formations gréseuses détritiques du Flysch qui couronnent les calcaires crétaqués n'a pas toujours été résolu. Dans le Pinde quelques niveaux fossilifères ont été signalés par DALLONI (1923) et C. RENZ (1928, 1930). Récemment J.H. BRUNN (1956) et J. AUBOUIN (1958 a) (2) ont également trouvé et étudié des calcaires lutétiens dans le Flysch.

Dans la région qui nous intéresse il est très difficile de dater le Flysch avec précision car les sédiments qui le constituent, bien que très épais, sont très pauvres en fossiles. Pourtant cette question revêt un très grand intérêt eu égard à la chronologie des plissements qui ont affecté la couverture mésozoïque et tertiaire. Les formations du Flysch, en effet, ont été prises dans les grands mouvements orogéniques alpins qui ont débuté à la fin de l'Eocène.

C. RENZ et M. REICHEL (1946) ont signalé, dans le Flysch du flanc sud du massif de l'Oeta, près de Braulo (Brallos) et de Gardikaki, l'existence de calcaires gris à Nummulites. Ils leur attribuent,

(1) Chef de Travaux à la Faculté des Sciences de Lille.

(2) Une description de ces niveaux a été faite par J. AUBOUIN et M. NEUMANN : Contribution à l'étude stratigraphique et micropaléontologique de l'Eocène en Grèce. *Revue de Micropaléontologie*, 1959, vol. 2, n° 1, p. 31-49, 5 pl., 8 fig.

(3) Localité de Locride à une dizaine de km au SW d'Atalandi.

(4) On y voit notamment des morceaux de calcaire à Globigérines du Crétacé supérieur.

ainsi qu'à ceux d'Exarchos (3) à *Alveolina elongata* d'ORB., un âge Lutétien. Rien d'autre, à notre connaissance, n'a été cité depuis dans cette contrée.

I. — Situation des gisements

Durant l'été de 1959 j'ai pu trouver en plusieurs points un niveau calcaire dans la partie supérieure des alternances gréso-marneuses du Flysch. Ce banc fossilifère est lenticulaire, je l'ai repéré en trois endroits : au col du Pargos (2.153 m) et du Sembi (2.093 m), au N de l'Iti, et à 2 km à l'W du signal géodésique du massif de l'Iti proprement dit (cote 2.116), sur une piste conduisant vers les prairies de haute altitude appelées Livadies. C'est ce dernier gisement que nous étudierons en détail.

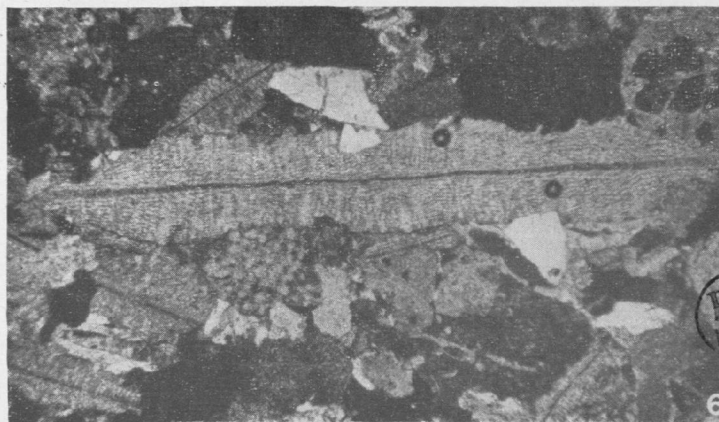
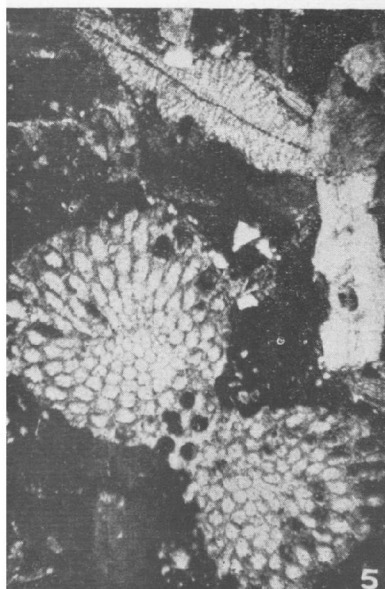
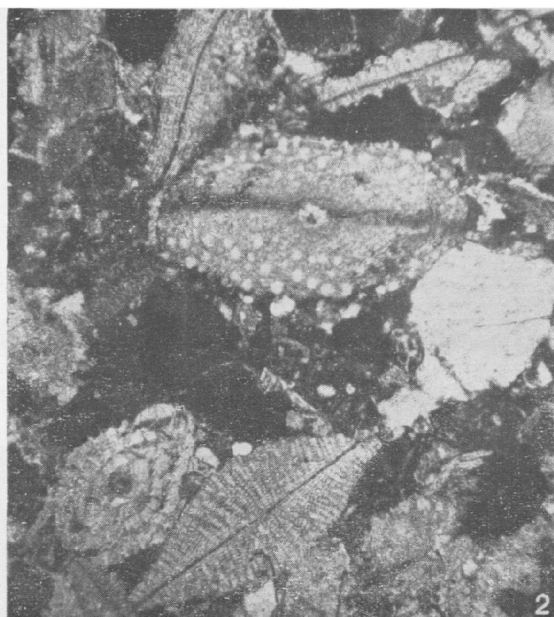
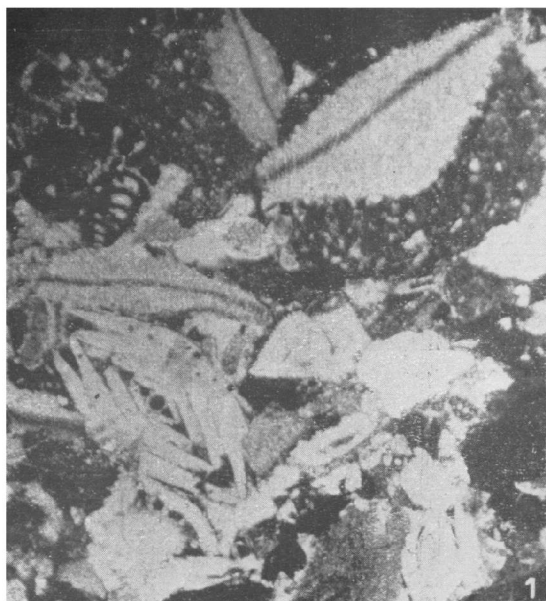
II. — Description pétrographique

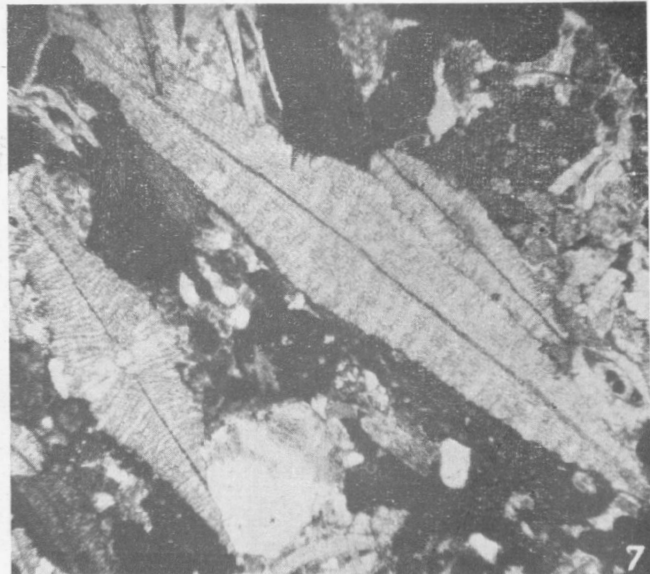
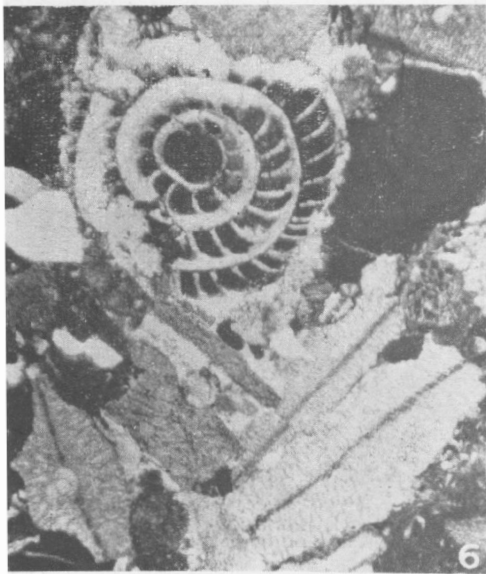
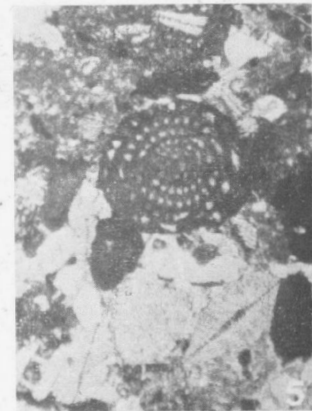
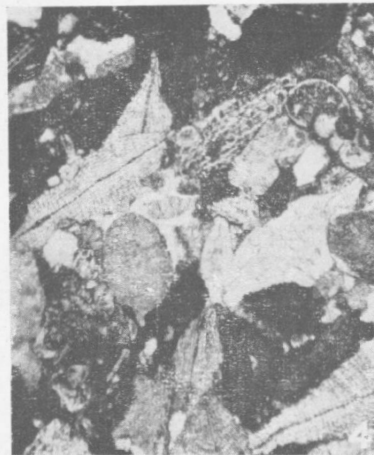
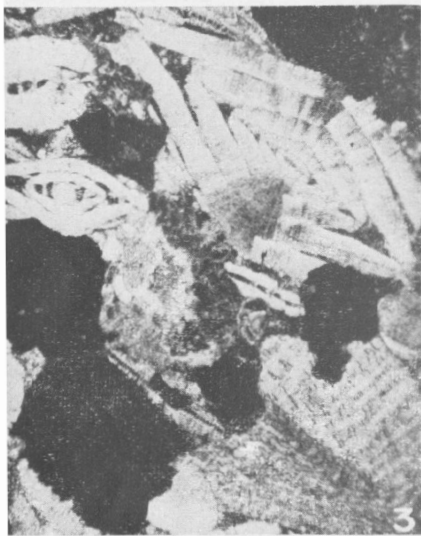
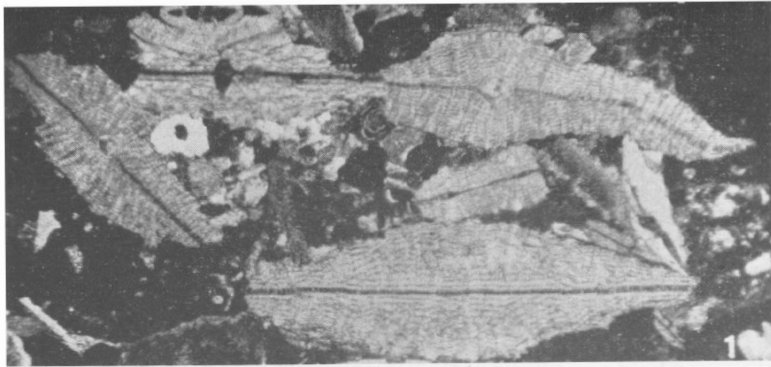
La roche est un calcaire zoogène gris microbréchique à éléments calcaires d'origines diverses (4) plus ou moins roulés dont la taille varie entre 2 et 10 mm. On y trouve dispersés, des grains de quartz élastique anguleux de grosseur variable ne dépassant pas 1 à 2 mm. Cette fraction détritique est pauvre en matériel ophiolitique. Le ciment est formé de calcite recristallisée contenant une très faible quantité d'argile.

III. — Microfaune

(Pl. II et III)

De nombreux organismes de petites dimensions (jusqu'à 5 mm au maximum), en particulier des Foraminifères, apparaissent à la surface des banes





calcaires altérés et y présentent de belles structures visibles à la loupe. L'examen microscopique montre une microfane très bien conservée malheureusement impossible à isoler. Les microforaminifères ont été pour la plupart déterminés au Laboratoire de Micropaléontologie de Paris grâce à l'obligeance de Mme M. NEUMANN à qui j'adresse ici mes plus vifs remerciements.

Dans les fossiles trouvés il faut distinguer des formes en place peu usées, empilées les unes sur les autres suivant une stratification régulière, et des formes plus ou moins fragmentaires « allochtones ».

Parmi les premières, citons : d'assez fréquentes Nummulites, quelques Alvéolines et Assilines, des Orthophragmines : *Discocyclina sella* d'ARCH., *D. nummulitica* GUMBEL, *Asterodiscus* sp. (nombreuses sections), des Planorbulinidés : *Linderina* sp., *Distichoplax* sp.

À côté de cette faune typique de l'Eocène supérieur de la province méditerranéenne, il existe des espèces remaniées « allochtones » appartenant d'une part au Paléocène notamment : *Discocyclina seunesi* DOUVILLÉ, *Coskinolina* sp., et d'autre part au Crétacé supérieur : en particulier des fragments d'*Orbitoides media* d'ARCH., de *Lepidorbitoides* sp.

Signalons enfin qu'on trouve en outre dans ces calcaires microbréchiques une abondante flore de Lithothamniées, des Bryozoaires et des Miliolidés.

Une telle association d'espèces d'âges différents est la manifestation d'un des caractères sédimentaires du Flysch qui est essentiellement formé de dépôts variés dont l'origine est souvent délicate à déterminer. Il semble que la zone subpélagonienne en voie de surrection, où le Crétacé supérieur et l'Eocène inférieur sont représentés, ait pu fournir le matériel détritique comportant entre autres des débris de Foraminifères. A moins que les Nummulites et les Orthophragmines ne soient elles-mêmes remaniées, ce qui est douteux étant donné leur état de conservation et leur abondance, nous pouvons attribuer un âge lutétien supérieur à ces niveaux calcaires du Flysch de l'Iti. D'ailleurs, cette conclusion concorde avec les découvertes de J.H. BRUNN (1956) et de J. AUBOIN (1958 a).

IV. — Caractères lithologiques du Flysch de l'Iti

Malgré les replis et les chevauchements qui bouleversent l'ensemble du Flysch (P. CHELET, 1959 b), il est possible de reconstituer au moins dans ses grandes lignes la succession des dépôts et d'y distinguer plusieurs complexes lithologiques. Ces subdivisions ne sont valables que dans le cadre

de la région étudiée et ne peuvent servir qu'à faire une stratigraphie locale, certes utile et indispensable, mais insuffisante dans l'ensemble d'une zone. Les variations de faciès du Flysch, dont nous donnerons un aperçu plus loin, sont trop rapides pour qu'il en soit autrement.

Dans l'énorme accumulation détritique qui égale souvent à elle seule la puissance de la série mésozoïque tout entière, nous distinguerons les 3 termes suivants :

a) Le Flysch schisto-gréseux rouge constitué essentiellement par des marno-calcaires schisteux rouges lie de vin chargés de débris de quartz à arêtes vives. Dans la Parnasse et le Kiona ce Flysch rouge fait suite en concordance aux calcaires en plaquettes du Crétacé supérieur à microfane pélagique ; il contient encore à sa base des *Globotruncana* et revêt le « faciès à calcschistes planctoniques » helvétique (TERCIER, 1947, p. 183). Dans l'Iti, il repose souvent sur les calcaires gris microbréchiques maestrichtiens à Orbitoides.

Dans l'ensemble ces calcschistes rouges gréseux sont stériles et, lorsqu'ils sont secs, se clivent suivant des systèmes de plans parallèles et s'effritent en bâtonnets. Leur épaisseur est réduite et ne dépasse pas une cinquantaine de m.

Quant à l'origine des minéraux argilo-calcaires et du quartz il est possible, comme le suggère J.H. BRUNN (1956, p. 158), qu'elle se trouve dans la zone subpélagonienne. L'érosion des ophiolites aurait pu fournir tous ces matériaux.

b) Le Flysch pélitique et gréseux qui succède aux formations rouges sans transition débute par des alternances :

— de pélites grises ou verdâtres chargées d'éléments détritiques fins noyés dans une matrice phylliteuse constituée de particules argileuses cryptocristallines associées à de la calcite microgranulaire ;

— de grès à ciment calcaire et à nombreux petits grains de quartz anguleux peu hétérométriques associés à des feldspaths, des paillettes de muscovite (grès psammitiques), de quartzite et, accidentellement, de gaudonite.

Les banes de grès anisométriques (1) passent brusquement aux banes pélitiques et réciproquement, le granuloclasement vertical (graded bedding) y est rare ou absent, les figures d'érosion par contre sont fréquentes.

(1) RECH-FROLLO M. (1953) : Recherche de critères pétrographiques de la notion de Flysch. *B.S.G.F.* (6), VII, p. 537-542.

A la base de cette série rythmique à lits peu épais (10 cm en moyenne) s'intèrcalent des micro-brèches à débris de radiolarites et d'éruptif.

Au-dessus de ce Flysch essentiellement pélitique apparaît progressivement le Flysch gréseux en gros banes (jusqu'à 1 m 50) séparé par de fins délits marneux. On y observe des morceaux de quartz grossiers, des éléments de cristallin et de cristallophylien, le tout cimenté par de la calcite secondaire. Le caractère stratonomique à séquence binaire est bien moins net que dans la série précédente, le terme gréseux domine. Parfois on y trouve des blocs calcaires « exotiques » de la taille d'un homme, manifestement arrachés au talus continental (mouvements orogéniques précurseurs).

Vers le sommet du complexe gréseux apparaissent *sporadiquement* des banes calcaires micro-bréchiés à débris de roches vertes et de radiolarites dans lesquels nous avons trouvé la micro-faune du Lutétien supérieur décrite ci-dessus ; ces banes sont peu épais (quelques m).

La puissance totale des grès et des pélites dépasse plusieurs centaines de m (peut-être 500 à 600 m),

mais il n'est pas possible de l'évaluer avec certitude en raison des plissements importants qu'ils ont subis.

c) Le Flysch conglomératique commence au-dessus des calcaires à Nummulites : tout d'abord, dans la région de l'Iti, par des brèches calcaires hétérogènes à éléments éruptifs, puis, dans la zone du Parnasse-Kiona et dans la zone subpélagonienne, par des conglomérats : poudingues polygéniques à galets de calcaires (Jurassique, Crétacé), de quartz, de granites, de roches éruptives basiques, de grès micacés feldspathiques du Flysch remanié. Le ciment est surtout siliceux mais une gangue argileuse enrobe les galets dont le diamètre est de l'ordre de 10 cm.

L'existence d'un épisode calcaire au sommet de la série grésomarneuse prouve qu'il y a eu, avant le dépôt des conglomérats, un arrêt des apports détritiques. La mise en mouvement des éléments arrachés aux niveaux inférieurs du Flysch déjà consolidé et en voie de soulèvement correspond à un nouveau sursaut tectonique d'une zone plus interne.

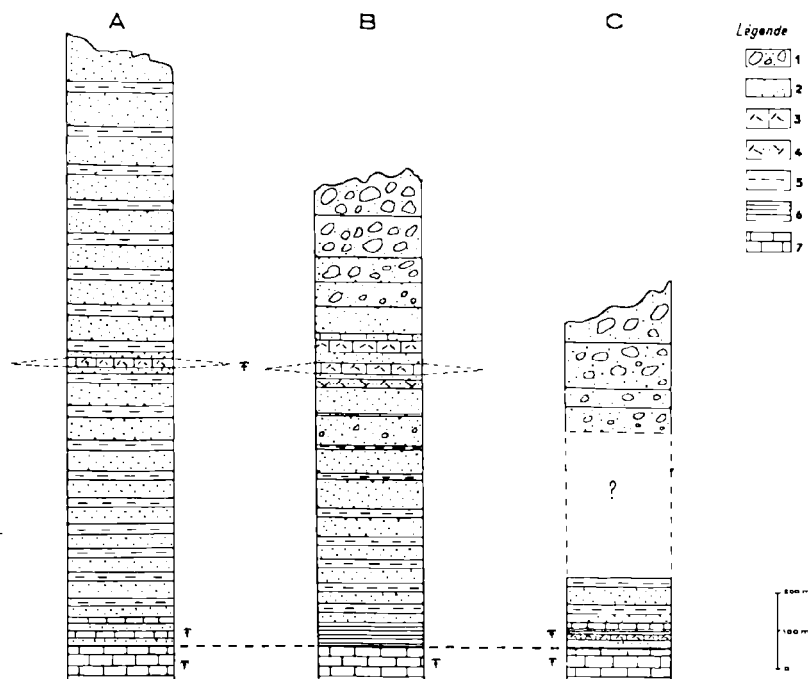


FIG. 1. — Schéma des variations de faciès de la série du Flysch en Grèce méridionale.

A : région du Pinde méridional — B : région de l'Iti — C : région orientale (Kallidromon).

1 : conglomérats, poudingues — 2 : grès — 3 : calcaires détritiques — 4 : microbrèches — 5 : pélites
6 : calcschistes rouges — 7 : calcaires pélagiques.

Les banes de poudingue sont épais de plusieurs m mais, pas plus que les grès, ils ne forment des séries lithologiques homogènes et ils alternent avec des grès et des brèches.

Les conglomérats terminent la série du Flysch, ils n'ont fourni jusqu'à présent aucune faune, sauf dans le Pinde septentrional où J.H. BRUNN (1956, p. 159) a signalé des niveaux microbréchiques datés par des Nummulites de l'Auversien ou du Priabonien inférieur. Dans cette région aussi le Stampien fossilifère est transgressif sur le Flysch plissé.

V. — Variations latérales de faciès du Flysch

C'est le complexe de base qui subit le plus de fluctuations lorsqu'on se déplace d'W en E. Dans le Pinde étolique (P. CELLET, 1959 a) qui fait partie de la zone médiane (J. AUBOUIN, 1958 a), les couches de passage au Flysch sont constituées par des alternances de calcaires pélagiques, de microconglomérats à *Orbitoides media* d'ARCH., de grès et de marnes détritiques ; le Flysch commence ici aussi au Maestrichtien. La série grés-marneuse rythmique est très développée, par contre les conglomérats terminaux sont rares.

A l'E, dans le Kallidromon et la zone sub-pélagonienne, le morcellement des affleurements masqués par la couverture néogène transgressive rend l'analyse stratigraphique difficile. Toutefois, en quelques points, j'ai pu trouver les couches de base du Flysch qui sont constituées par une succession alternée de petits lits de calcaires roses à *Globotruncana*, de calcaires microbréchiques gréseux, de grès fins verdâtres et de schistes rouges.

Le Flysch qui suit est grés-conglomératique mais il est impossible d'en estimer l'épaisseur qui paraît cependant beaucoup moindre qu'à l'W. Poudingues et brèches à gros éléments d'éruptif apparaissent à plusieurs niveaux et terminent la série.

La figure 1 marque ces changements de faciès et montre que les calcschistes gréseux rouges se répartissent sur les hauts fonds et leurs marges. En outre, la distribution des conglomérats confirme la migration de l'orogénèse du NE vers le SW, les variations d'épaisseur du Flysch (de plus en plus grandes vers l'axe du sillon du Pinde) corroborent cette hypothèse.

VI. — Conclusions

Pas plus qu'il ne désigne une formation d'âge déterminé, le mot Flysch ne répond à aucun critère

pétrographique précis. Cependant, la notion de Flysch s'impose en tant que « faciès géologique » et correspond à un type spécial de sédimentation.

Dans l'ensemble, le Flysch de l'Iti et de la Grèce méridionale représente une formation déritique siliceuse contenant presque toujours du carbonate de calcium, soit sous forme de ciment ou de calcite cristallisée, soit enfin à l'état de débris de roches calcaires.

L'origine marine de ces sédiments est révélée par les lentilles calcaires à microforaminifères, ainsi que par la présence, parfois, de glauconie (1). Certains niveaux gréseux renferment des débris charbonneux de plantes mais il s'agit là surtout de restes de végétaux flottés (feuilles) incontestablement charriés par les courants marins.

La question de la profondeur de dépôt de ces sédiments a été discutée, pour quelques auteurs il s'agirait d'une formation néritique ou cotière, pour d'autres certains dépôts (2) dépasseraient ce domaine et seraient plus profonds (TERCIER, 1947).

J. TERCIER (1947, p. 181) a qualifié le Flysch de « faciès de fermeture de géosynclinaux », or, en Grèce il a été démontré (J. AUBOUIN, 1958 b, J.H. BRUNN, 1956) que le faciès Flysch est lié à l'orogénèse, ce type de sédimentation a une signification paléogéographique précise, les apports terrigènes se déposent dans la dépression qui borde une cordillère en voie de surrection. Comme l'a fait remarquer J.H. BRUNN (1956, p. 148), ces dépôts sont contemporains des plissements qui se produisent dans une zone voisine de la même chaîne et, en cela, ils sont « syncinématiques » ; mais ils participent aux mouvements qui ont affecté un peu plus tard la zone où ils se déposent et, donc, ils sont localement « antéectoniques ».

Il est probable que les variations rythmiques observées ne sont pas dues uniquement aux mouvements de surrection des continents voisins. Les facteurs climatologiques, les saccades subsidentes, la topographie du fond marin, les courants de turbidité et les diverses influences du milieu sous-marin ont pu intervenir en même temps. L'abondance des éléments terrigènes a gêné le dépôt des calcaires qui n'ont pu se former qu'au cours des périodes de calme et dans les zones abritées.

(1) Des débris de poissons ont été repérés en certains points (rens. oral).

(2) En particulier les alternances de grès fins et de schistes marneux.

REFERENCES CITEES

- AUBOUIN J. (1958 a). — Contribution à l'étude géologique de la Grèce septentrionale : les confins de l'Épire et de la Thessalie. Thèse, Paris. *Ann. Géol. Pays Hell.*, t. X, 1959 (à paraître).
- AUBOUIN J. (1958 b). — Essai sur l'évolution paléogéographique et le développement tecto-orogénique d'un système géosynclinal : le secteur grec des Dinarides (Hellénides). *B.S.G.F.* (6), III, p. 731-749, 4 fig., 1 pl.
- BRUNN J.H. (1956). — Etude géologique du Pindus septentrional et de la Macédoine occidentale. Thèse, Paris. *Ann. Géol. Pays Hell.*, t. VII, 358 p.
- CELET P. (1959 a). — Sur la géologie de la Grèce méridionale : remarque sur le Massif du Vardoussia. *Ann. Soc. Géol. Nord.* t. LXXIX, p. 70-85, 2 fig.
- CELET P. (1959 b). — Observations sur la stratigraphie et la structure de l'ITI et ses environs (Grèce méridionale moyenne). *C.R. somm. S. G. F.*, p. 238-239.
- DALLONI M. (1923). — Contribution à l'étude des terrains tertiaires de la Thessalie et de l'Épire. *B. S. G. F.* (4), XXIII, p. 284-294.
- RENZ C. (1928). — Zur Geologie der thessalischen Pindos. *Ecl. Geol. Helv.*, vol. 21, p. 135-153.
- RENZ C. (1930). — Geologische Reisen im griechischen Gebirge. *Ecl. Geol. Helv.*, vol. 23, p. 300-376.
- RENZ C. et REICHEL M. (1946). — Beiträge zur Stratigraphie und Paläontologie des östmediterranen Jungpaläozoikums und dessen Einordnung in griechischen Gebirgssystem. *Ecl. Geol. Helv.*, vol. 38, p. 211-313, 3 fig., 1 pl.
- TERCIER J. (1947). — Le Flysch dans la sédimentation alpine. *Ecl. Geol. Helv.*, vol. 40, n° 2, p. 163-198.

LEGENDE DES PLANCHES

Microfossiles des niveaux calcaires du Flysch de l'ITI

— PLANCHE II —

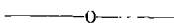
- FIG. 1. — *Discocyclus* cf. *sella* d'ARCHIAC, *Nummulites* sp., autres Foraminifères et débris de quartz anguleux. $\times 15$.
- FIG. 2. — Sections axiales de *Nummulites* et de *Discocyclus* aff. *nummulitica* GUMBEL. $\times 15$.
- FIG. 3. — Petite section de *Distichoplax*. $\times 40$.
- FIG. 4. — *Asterodiscus* sp., *Nummulite*, débris remanié d'*Orbitoides media* d'ARCHIAC du Maestrichtien, nombreux grains de quartz anguleux. $\times 15$.
- FIG. 5. — Bryozoaires et *Discocyclus* sp. $\times 15$.
- FIG. 6. — Section axiale d'une grande forme d'*Asterodiscus* sp., quartz détritiques. $\times 15$.

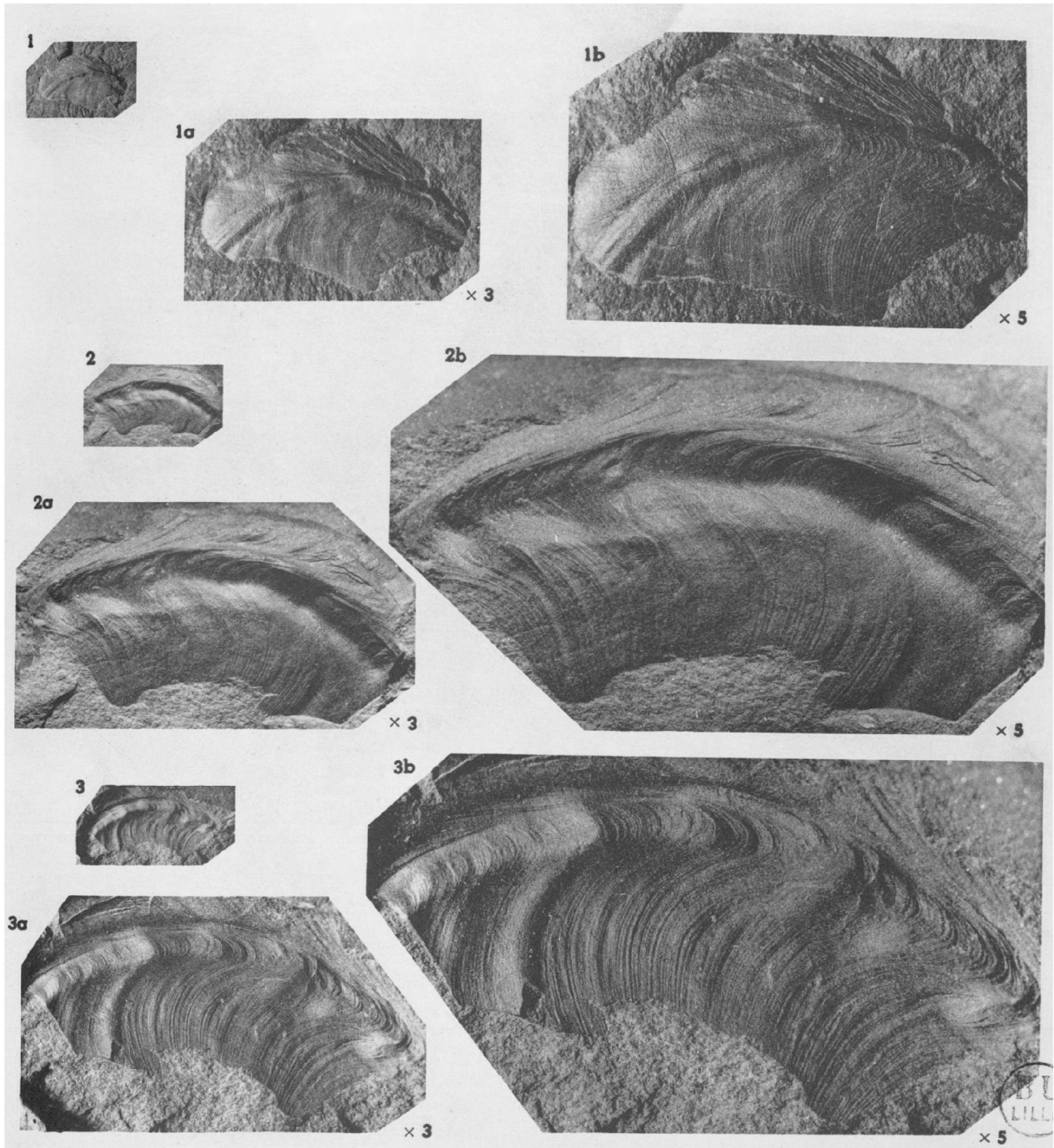
PLANCHE III —

- FIG. 1. — Sections diverses d'*Asterodiscus* sp. $\times 15$.

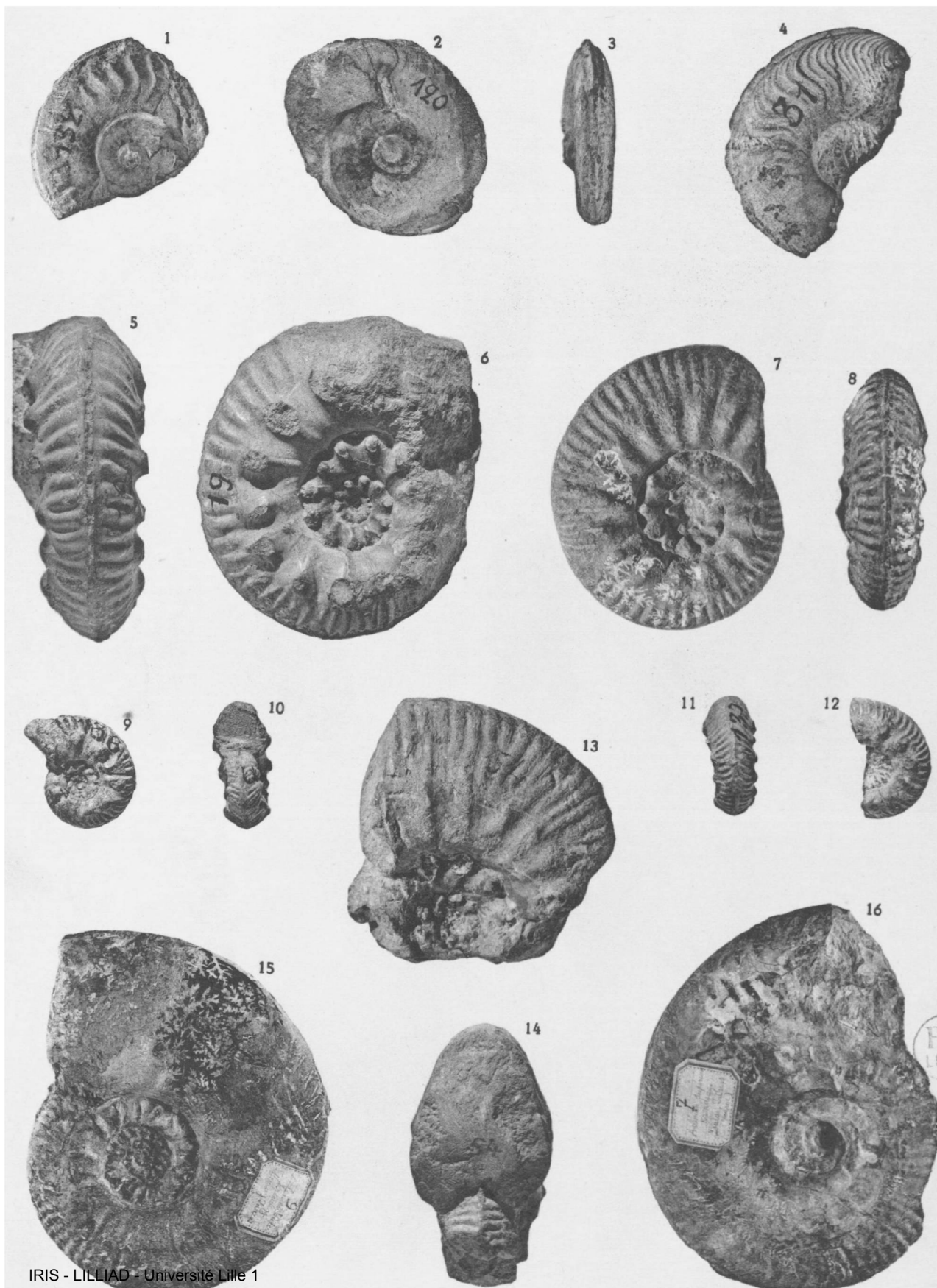
- FIG. 2. — *Coskinolina* sp., forme plus ou moins usée du Paléocène associée à des Miliolidés et *Asterodiscus* sp. $\times 15$.
- FIG. 3. — Belles sections axiales de *Nummulites* et fragment d'*Orbitoides* s. str. $\times 15$.
- FIG. 4. — *Asterodiscus* sp., Planorbulinidé. $\times 15$.
- FIG. 5. — Section équatoriale d'*Alveolina* sp., nombreuses sections axiales d'*Asterodiscus* sp. $\times 15$.
- FIG. 6. — Sections axiales de *Discocyclus sella* d'ARCH., *Discocyclus* sp., section équatoriale de *Nummulite*, débris de Lithothamniées. $\times 15$.
- FIG. 7. — Sections axiales d'*Asterodiscus* sp. et de *Discocyclus sella* d'ARCHIAC, cristaux de quartz et petites sections de *Nummulites*. $\times 15$.

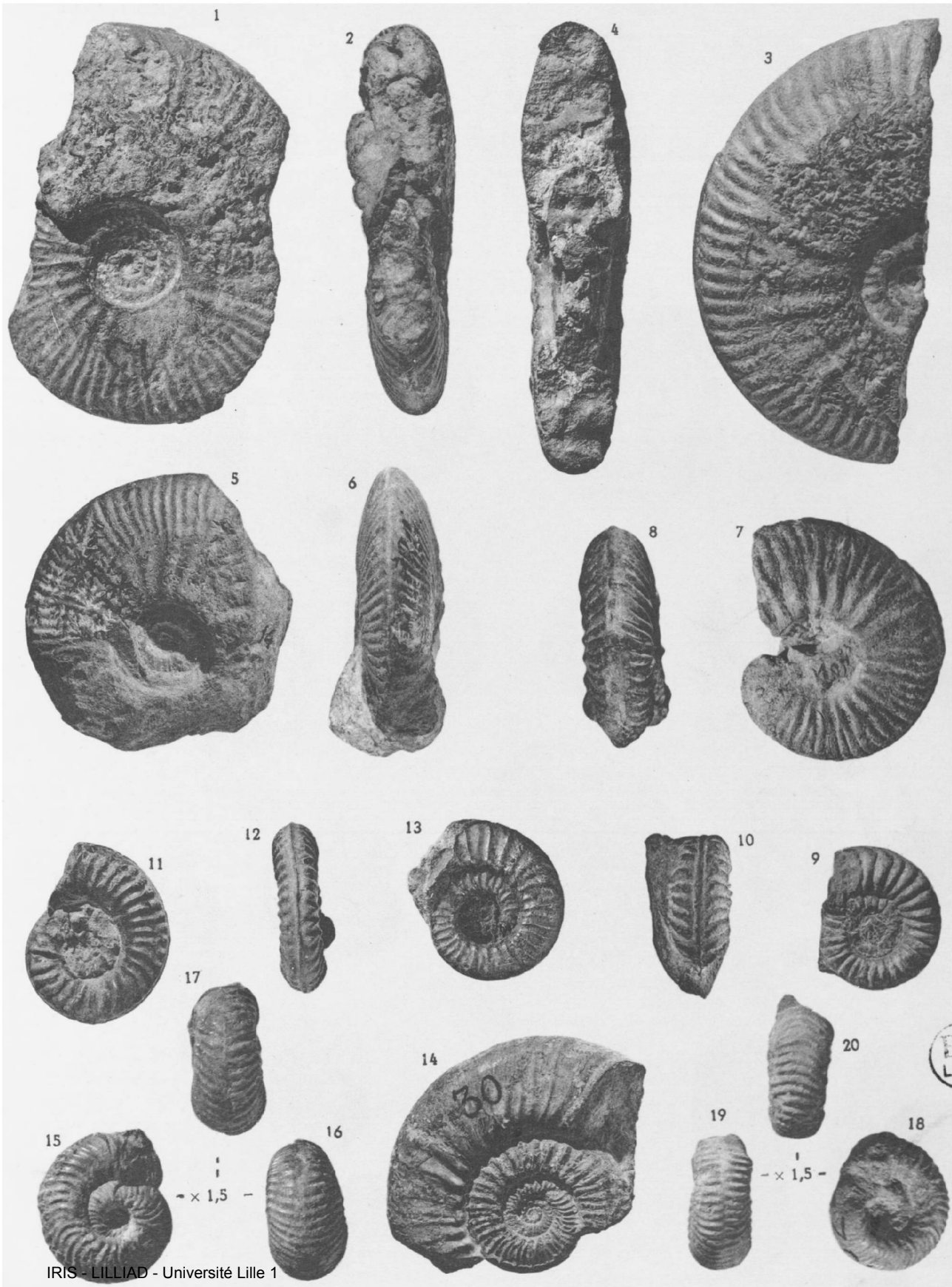
Nota. — Toutes ces microphotographies ont été faites en lumière polarisée parallèle sans analyseur. (Clichés A. Leblanc).

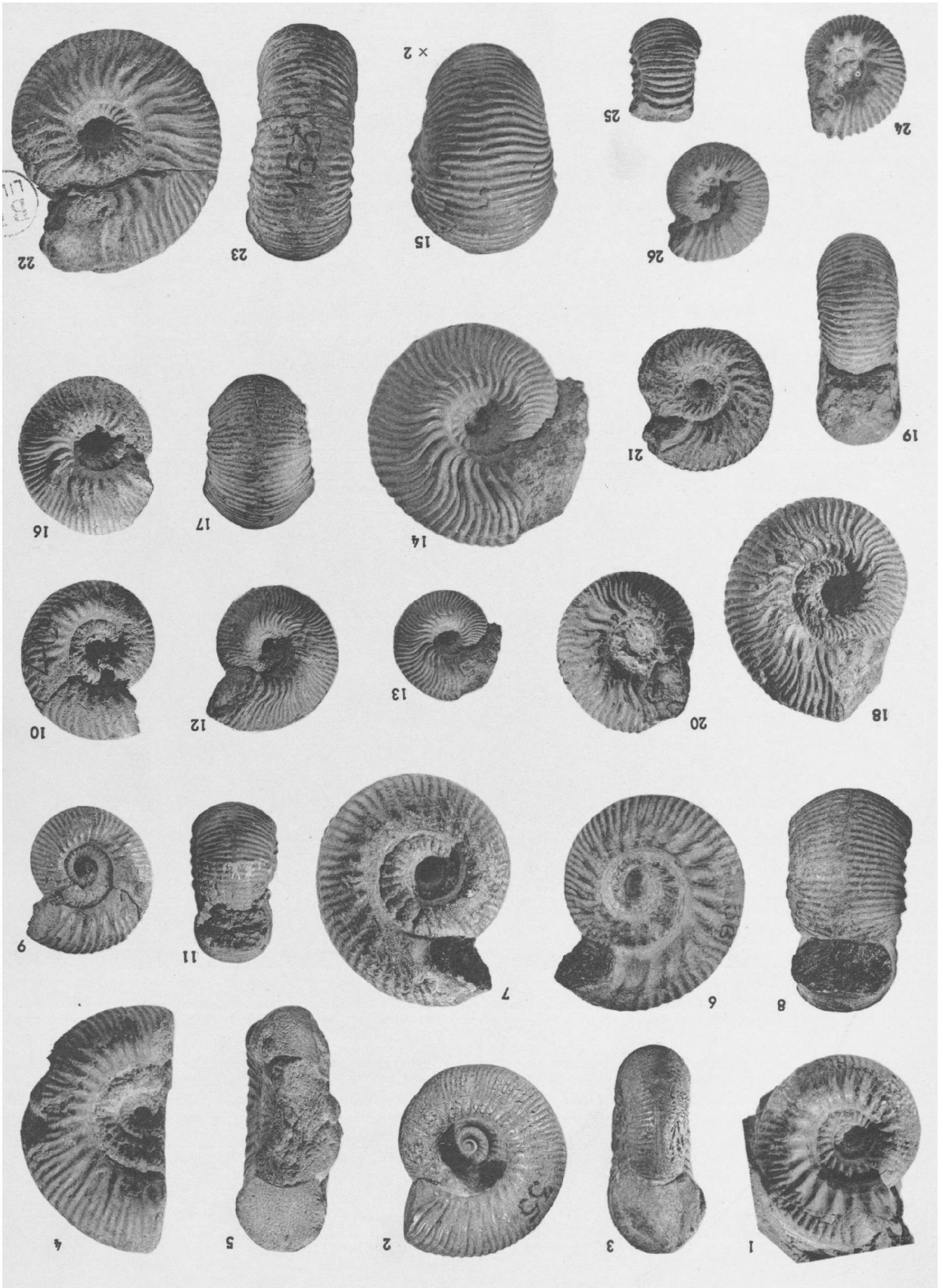




RETICULOCERAS METABILINGUE Wright
RETICULOCERAS WRIGHTI Hudson







SOCIÉTÉ
GÉOLOGIQUE
DU
NORD

ANNALES

Tome LXXX

1960

2^{me} Livraison

VOLUME PUBLIÉ AVEC LE CONCOURS DU
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD
23, RUE GOSSELET
LILLE

MEMBRES DU BUREAU

— 1960 —

<i>Président</i>	M. J. RICOUR
<i>Vice-Président</i>	M. P. DUMON
<i>Directeur</i>	M. P. PRUVOST
<i>Secrétaire</i>	M. M. WATERLOT
<i>Trésorier</i>	M. l'Abbé TIEGHEM
<i>Délégué aux publications</i>	M. J. POLVÊCHE
<i>Bibliothécaire</i>	M ^{me} S. DEFRETIN
<i>Libraire</i>	M. J. CHALARD
<i>Secrétaire-adjoint</i>	M ^{lle} D. LE MAÎTRE

A N N A L E S
D E L A
S O C I É T É G É O L O G I Q U E D U N O R D

publiées avec le concours du Centre national de la recherche scientifique

Société fondée en 1870 et autorisée par arrêtés en date des 3 Juillet 1871 et 28 Juin 1873

23, rue Gosselet, Lille — Tél. 53.05.38 — C.C.P. Lille 5 247

Séance du 2 Mars 1960

PRÉSIDENCE DE M. J. RICOUR, PRÉSIDENT

Sont élus membres de la Société :

M^{lle} CARETTE Josiane, 13, rue Loubet, Hénin-Liétard (Pas-de-Calais) (présentée par MM. Corsin et Danzé).

M. CASTANY Gilbert, Ingénieur-Géologue en Chef au B.R.G.M., 74, rue de la Fédération, Paris-XV^e (présenté par MM. Waterlot et Ricour).

M. LEVÊQUE Paul, Ingénieur-Géologue au B.R.G.M., 74, rue de la Fédération, Paris-XV^e (présenté par MM. Waterlot et Ricour).

M. BERKHALOFF Eugène, Ingénieur-Géologue au B.R.G.M., 74, rue de la Fédération, Paris-XV^e (présenté par MM. Waterlot et Ricour).

M. DELBART Robert, St-Josse-sur-Mer (Pas-de-Calais) (présenté par MM. Delattre et Celet).

M. BALTHAZARD Jean, 63, Chemin des Pompes, Douai (Nord) (présenté par MM. Waterlot et Ricour).

M. MERIAUX Emile, 1, rue de l'Eglise, Cagnoneles (Nord) (présenté par MM. Delattre et M. Waterlot).

M. VIGREUX Serge, rue d'Arras, St-Michel-sur-Ternoise (Pas-de-Calais) (présenté par MM. Corsin et Danzé).

COMMUNICATIONS

Les bases concrètes du mobilisme belge (1)

par Ch. STEVENS

En Belgique, et dans le passé, l'idée d'attribuer un relief quelconque à la déformation du sol semblait toute naturelle. Elle semblait d'ailleurs trouver une confirmation dans l'affleurement du socle ardennais où se rencontrent les altitudes les plus prononcées du pays. De même, l'envoyage de ce même socle vers le Nord, son prolongement sous un revêtement post-primaire de plus en plus épais et sa coïncidence avec des altitudes décroissantes sont des choses que personne ne songerait sérieusement à contester. Mais peut-on pénétrer dans de plus grands détails ? On n'avait jamais hésité à le faire, sous l'impression simpliste que le tout correspondait à des gauchissements. La vallée de la Meuse dinantaise correspondait à une faille, etc...

Les études très poussées de l'érosion ont eu raison des exagérations. Il y avait d'ailleurs en cela plus d'intuition que de preuves. Aujourd'hui, ces preuves sont venues et elles sont si abondantes qu'on peut opérer un choix. Les exemples qui seront exposés plus loin se basent sur des considérations indiscutables.

Cependant, si les intuitions tectoniques étaient exagérées, la tendance à attribuer le tout à l'érosion est allée, elle aussi, beaucoup trop loin ; elle a conduit à des invraisemblances qu'on s'étonne de voir subsister.

Telle est cette pénéplaine soi-disant crétaécée qu'on impose vers 700 m. d'altitude, au sommet du massif de la Baraque-Michel. Certes, il existe du Maastrichtien en cet endroit, mais cela justifie-t-il une telle interprétation ? Non seulement, elle est invraisemblable, mais elle est fautive. C'est oublier trop aisément qu'ailleurs, le Crétacé déposait encore des sédiments dans des géosynclinaux et que les plissements alpins n'étaient même pas amorcés. Ceux qui défendent cette conception se gardent bien de démontrer l'existence de vallées éocènes descendant sur les flancs du massif. Ce serait cependant plus convaincant. En réalité, à la Baraque-Michel, le Crétacé est logé dans un

creux et il est écaillé par la surface topographique qui est donc d'un âge plus récent. Ce n'est même pas une erreur d'interprétation, c'est une erreur dans l'observation directe des faits.

En Belgique, en matière d'intervention tectonique, la première application indiscutable qui ait été réalisée dans le détail remonte à 1899 quand Max Lohest, par des études de grottes, poursuivies en Haute-Méhaigne, a démontré l'origine récente du sillon sambro-mosan. En 1904, J. Cornet a attribué la même origine à la vallée de la Haine, tandis qu'il démontrait son affaissement pléistocène. En 1925, il a étendu ses observations au Tournaisis.

En 1931, ayant été le collaborateur de J. Cornet, j'ai entrepris d'étendre ce genre d'études à la Belgique entière. En même temps, les élèves de M. Paul Fourmarier s'appliquaient à démontrer la déformation des terrasses fluviales.

1) *Le littoral belge, la mer flamande.* — L'ancienne surface pléistocène affleure à 10 km de la mer, mais elle descend à 30 m. sous le littoral. C'est la répétition adoucie de l'envoyage du socle paléozoïque ; c'est encore le prolongement de la subsidence néerlandaise, où la base du pléistocène correspondant à base du Norwich crag anglais, descend à Amsterdam à 400 m. sous le niveau de la mer, tandis que, depuis le Riss, le sol est encore descendu de 100 m (Dr P. Tesch). Enfin, c'est le symétrique du Pléistocène de l'East-Anglia qui plonge vers l'Est. L'origine de la mer flamande (partie méridionale de la mer du Nord) réside donc, en ordre principal, dans une subsidence pléistocène dont la zone axiale supporte une épaisseur considérable de sédiments pléistocènes et modernes. Ceci sans nier l'influence plus modérée des modifications eustatiques du niveau des océans qui ne paraît plus niable. Les nivellements de précision effectués en Angleterre par le capitain Longfield et, en Belgique, par l'ingénieur Jones démontrent que la subsidence se poursuit.

2) *La vallée de la Haine.* — En 1922-1923, J. Cornet et moi-même nous avons dressé la carte du relief du socle paléozoïque de la vallée de la

(1) Note présentée par M. Dumon, vice-président.

Haine. Ce fut à l'échelle du 20.000^e et à l'équidistance de 10 mètres. Le socle descend à près de 400 m. sous le niveau de la mer ; il est recouvert de terrains créacés et tertiaires. Ce document n'a pu être établi que grâce à une consultation exceptionnellement dense de puits et de sondages ; or, c'est précisément aux endroits où la densité est la plus forte que la surface du sol reproduit, avec un léger déport, tous les détails du relief souterrain. L'on y rencontre une association de formes tectoniques et de formes d'érosion. L'influence tectonique se reproduit même au sommet de la plaine alluviale, où des cuvettes se sont formées au passage des synclinaux. C'est « la subsidence différentielle » de M. Paul Fourmarier.

La révision de la carte, opérée en 1945 avec M. Marlière, n'a rien modifié à ces observations, sinon pour les confirmer et en accroître l'intérêt.

Ainsi s'explique la faible altitude de la vallée, malgré son éloignement de la mer. Dès lors, reprenant ses observations de 1904, J. Cornet pouvait l'attribuer à une subsidence qui, après pénéplaiation, a rejoué au Pleistocène.

3) *La dépression de l'Escaut.* — La Haine est un affluent de l'Escaut. Ses propriétés ne peuvent se comprendre que si l'Escaut les possède également. Il en est ainsi.

Au Sud-Ouest de Bruxelles, le sol se déprime. Alors qu'à l'Est, les altitudes dépassant 100 m sont presque la règle, elles sont exceptionnelles à l'Ouest. Une dépression topographique très étendue se termine en bordure du Boulonnais et de l'Artois ; elle finit à angle droit au Sud de Cambrai pour aboutir au seuil de Saint-Quentin. L'Escaut en occupe la zone axiale. Au N de Tournai, la plaine alluviale descend à la cote 17. Encore une fois, il s'agit de subsidence.

Elle s'inscrit au sommet du socle paléozoïque. Pour le démontrer, il n'est même pas nécessaire de recourir à des sondages ; il suffit de consulter la carte géologique. L'Ardenne hereynienne s'amène vers l'Ouest ; avant d'atteindre l'Escaut, elle plonge sous les terrains plus récents, mais c'est pour reparaître dans le Boulonnais. Nous savons que cette dépression, ainsi comprise, renferme l'ennoyage de Denain. Toutes les représentations souterraines du socle ont adopté la même chose, avec des avancées et des reculs imposés par les surélévations locales : Mélandois, Mont-Saint-Aubert, collines de Renaix, etc... La subsidence a été sérieuse à l'Eocène. C'est dans son sein que se loge le faciès panisélien qui lui est propre et qui, avec quelques récurrences, indique

une continuité de la sédimentation marine, depuis la base de l'Yprésien jusqu'à la base du Lédien. Le fait qu'on range aujourd'hui une grande partie du Panisélien dans l'Yprésien en accentue la subsidence.

4) *Le plateau d'Anderlues.* — A son extrême-amont, la dépression de la Haine se limite à des hauteurs importantes. Alors qu'à Mons, la plaine alluviale descend à la cote 30, ces hauteurs dépassent 200 m, altitude exceptionnelle pour la région. La surface est presque plane ; c'est un fragment de pénéplaine faiblement incliné vers le Nord, mais incurvé sur les bords. C'est le plateau d'Anderlues.

Le plateau renferme la ligne de partage, conventionnelle et peu visible, de l'Escaut (Haine) et de la Meuse (Sambre). Au Nord, il descend vers le seuil de Godarville ; plus au Nord encore, il se prolonge en relais jusqu'aux environs de Bruxelles ; au Sud, dans la vallée de la Sambre, il forme la cluse de Thuin. A l'Est et à l'Ouest, il est énergiquement attaqué par l'érosion. Il l'est davantage à l'Ouest à cause de la faible altitude des niveaux de base de la Haine.

Le plateau, couronné de sables bruxelliens, ne doit rien à la résistance des roches. Par contre, le relief du socle paléozoïque, l'absence locale de Crétacé, un faciès très particulier de l'Yprésien, tout démontre qu'il s'agit d'une épirogénie anticlinale de grande amplitude. Attaquée sur ses deux flanes, la zone axiale, seule, a été conservée. Le rejeu récent de l'action tectonique s'est traduit par des captures réalisées au détriment de la Senne : à l'Ouest, en faveur de la Haine ; à l'Est, en faveur du Piéton, affluent de la Sambre.

*

**

Ces quatre exemples ont été choisis parmi les plus caractéristiques : mais il en est beaucoup d'autres qui ne leur cèdent en rien en valeur démonstrative. Pour de plus grands détails, on peut consulter les mémoires rappelés en annexe. Certes, les premiers ont contenu certaines erreurs, attribuables aux idées du temps. Mais l'essentiel reste acquis.

Si l'on évoque le passé, on voit que les transgressions tertiaires, en y comprenant le Pliocène, imposent un mobilisme permanent. Toutes ces transgressions sont venues du Nord, à part l'Oligocène dont nous parlerons dans un instant. Leurs origines se trouvent dans la subsidence néerlandaise. Elles ont progressé plus ou moins loin selon l'état topographique du moment. Or, dans son essence même,

toute transgression impose le mobilisme : un affaissement pour permettre à la mer d'arriver : un soulèvement pour la contraindre à se retirer.

L'Oligocène est plus démonstratif encore, car il est beaucoup plus oriental que les précédents. Les dépôts sont en discordance nette sur les dépôts plus anciens. Au cours de leur plus grande extension, et contrairement à ce qu'on observe aujourd'hui, la Belgique orientale était profondément noyée sous les eaux, tandis que les Flandres tendaient à émerger. C'est ce qui explique l'importance des vestiges chattiens de la province de Liège. Cela explique encore la dispersion des kieseloolithes oligocènes, dont l'âge a été déterminé par M. P. Macar, ainsi que leur reprise par les terrasses des vallées.

*
**

Pour décrire une chose, il faut bien la connaître. C'est surtout vrai pour qui veut l'interpréter et, mieux encore, pour qui en recherche les origines. Voulant me créer une figuration aussi exacte que possible du relief belge, j'ai rassemblé les planchettes au 20.000^e de l'Institut Géologique de Belgique où je les mets à la disposition de tous. Ce travail est terminé ; il concerne 349 planchettes et tout le territoire belge qui soit supérieur à l'altitude de 20 mètres.

Sans entrer dans de multiples détails, ces cartes indiquent :

a) une répétition de croupes et de dépressions varisques depuis la frontière luxembourgeoise jusqu'en Flandre ;

b) une même répétition de croupes et de dépressions armoricaines, localisées surtout à l'Ouest ;

c) la même répétition des orientations intermédiaires, dirigées de l'Ouest vers l'Est. En font partie : la dépression de la Haine et les collines de Renaix.

d) les interférences de ces orientations entre elles (1).

Enfin, il faut signaler que lors de la transgression oligocène, l'Ardenne était encore très ravinée.

(1) Il est évident que, pour certaines études d'érosion ou de solifluction, il faut recourir à des équidistances plus faibles ; mais celle de 10 mètres suffit à la détection des influences tectoniques. D'autre part, les surfaces verticales ou subverticales ne peuvent se déterminer que sur le terrain.

Les gisements chattiens de Boncelles et de Sart-Tilman sont logés dans des creux et ils ont été cisailés par la surface topographique. Ceci rejoint pour le passé, les études de Géomorphologie sous-marine dont M. J. Bourcart a assumé la direction pour le présent.

Ces cartes ont souligné le rôle important que l'épirogénie joue dans la genèse du relief. Par épirogénies, j'entends les déformations d'ensemble qui affectent la surface du sol. Elles s'élèvent ou elles s'abaissent avec tous leurs détails de structure ou d'érosion. Elles se comportent comme des bateaux qui montent ou qui descendent au gré de la houle, avec tous leurs chargements. Or, toute épirogénie tend à s'accroître jusqu'à l'épuisement des forces qui l'ont créée, ou lorsqu'elle se heurte à une épirogénie voisine.

Le premier cas se rencontre dans le bombement de la Baraque-Michel qui agit vis-à-vis de la surélévation de l'Eifel comme une figure de proue. Il est responsable de l'altitude du Pays de Herve et son influence s'exerce jusque dans le Limbourg hollandais où il forme une série de croupes disposées en éventail. De même, la subsidence de la mer flamande peut être considérée comme une épirogénie négative dont les forces créatrices ne sont pas épuisées. C'est pourquoi elle gagne sur les bords.

D'autre part, la surélévation d'ensemble de la Belgique se divise en deux épirogénies très importantes : l'Ardenne et la Moyenne Belgique. Leur rencontre a créé le sillon sambro-mosan.

Les recherches de Géomorphologie tectonique s'harmonisent de plus en plus avec d'autres aspects de la science de la Terre. Avec les nivellements de précision, avec la séismologie, avec la gravimétrie, avec l'isostasie, etc... Le tout rentre dans un ensemble qui satisfait l'esprit.

*
**

Très attaquée au début, l'idée progresse, même en Belgique, où l'on voit décroître certaines préventions. Elle a toujours rencontré des appuis en Allemagne et en Hollande. Mais c'est surtout en France que j'ai recueilli les plus précieux encouragements. C'est une occasion pour moi de saluer mes amis Léon Lutaud et Jacques Bourcart. Membre depuis de longues années de la Société Géologique du Nord, j'ai tenu, en fin de carrière (je suis dans ma 85^e année), à vous apporter la preuve qu'en Belgique l'hypothèse ne repose pas sur des nuées.

Même certains mémoires, essentiellement géologiques, lui ont apporté un appui, telle est « La Géologie de Paris » de M. Soyer. Les intellectuels de la rive gauche ont découvert que la respectable Montagne Sainte-Geneviève s'inscrit dans le sous-sol, tout comme les hauteurs de Belleville et de Ménilmontant.

Souvenons-nous de la promenade que nous avons faite en commun à Waterloo où, très opportunément, un tremblement de terre nous a rappelé que, dans les régions les plus calmes, il y a toujours une certaine instabilité (2).

(2) La représentation du relief du socle paléozoïque doit être assurée, autant que possible, par la totalité des points d'observation. C'est pourquoi, en 1952, le mémoire intitulé : *Une carte géomorphologique de la Basse et de la Moyenne Belgique*, fournit, par la fig. 7, p. 20, une telle représentation, avec des points bien repérés. Elle indique l'effrangement du socle à bordure Est de la dépression de l'Escaut.

Ce n'était pas chose neuve. En 1922, cet effrangement était déjà très visible sur la carte de J. Gosselet et G. Dubois, où le Mélantois est dégagé et où s'amorce la surélévation du Mont Saint-Aubert.

Enfin, saluons la très vivante *Revue de Géographie Physique et de Géologie dynamique*. C'est elle surtout qui se rendra maîtresse des dernières préventions.

*
**

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

- Revue des questions scientifiques, Louvain* : Morphologie, tectonique et érosion (1933) : Les Déformations actuelles (1934).
- Revue de Géographie physique* (Paris) : La morphologie de la Belgique et ses rapports avec la tectonique (1933).
- Mém. Institut Géologique de Louvain*. Le relief de la Belgique (1938).
- Ann. Société Géol. de Belgique, Liège*. — Considérations sur l'origine de la mer flamande (1939). La Géomorphologie tectonique de la vallée de la Haine (1950), id. précisions (1951).
- Société belge de Géologie, Bruxelles* : Une carte géomorphologique de la Basse et de la Moyenne Belgique (1952). - Le Socle des transgressions marines (1957). - Principes de Géomorphologie ardennaise (1959).
- Bull. Ingénieurs issus de l'École d'application*. — Principes de Géomorphologie tectonique (1955).

La Faille-Pli de Bornay (Jura) : preuve de la passivité locale du socle vis-à-vis de la couverture

par G. LIENHARDT (1)

(2 fig.)

Sommaire. — L'étude de la coupe du sondage de Bornay et les levés géologiques de la région permettent de préciser que la structure de Bornay est une « faille-pli » et qu'elle fait partie intégrante de la masse charriée.

La coupe du sondage de Bornay, implanté en vue de la reconnaissance du Carbonifère (2), s'est révélée très complexe quant à la tectonique des morts-terrains situés dans la masse charriée. Il nous a semblé préférable d'en appuyer l'interprétation par une étude cartographique de la région.

Nous avons donc cartographié en détail les deux failles déjà reconnues de part et d'autre du sondage, vers le N et vers le S, aussi loin que cela nous a paru nécessaire. Nous avons ainsi été amenés à revoir toute la partie du Premier plateau située entre Bornay et les reculées de Vernantais et de Vaux-sous-Bornay et les pentes marneuses dominant Moiron.

Nous ne reviendrons pas ici sur la série stratigraphique, de nombreuses publications en font suffisamment état.

I. — Le sondage de Bornay

La coupe sommaire de cet ouvrage est la suivante (elle est donnée de haut en bas) (3) :

0	- 50	Bathonien.
50	- 150,20	Bajocien, pendage 60 à 80°.
150,20	-	<i>Faille.</i> Passage très broyé sur plusieurs mètres.
150,20	- 151,20	Charmouthien. Marnes très froissées.
151,20	- 154	Rhétien. Marnes écrasées, laminées.
154	- 165	Trias. Marnes à gypse (Keuper probable).
165	- 180	Rhétien.
180	- 192,35	Charmouthien moyen. Pendage subhorizontal.

192,35	- 195	<i>Faille.</i> Passage très broyé.
195	- 223,70	Charmouthien supérieur.
223,70	- 224,70	Toarcien inférieur, pendage subvertical.
224,70	- 249,95	Toarcien moyen, pendage 70°.
249,95	- 269,25	Toarcien inférieur.
269,25	- 279	Charmouthien supérieur, pendage subhorizontal.
279	- 394,85	Charmouthien moyen et inférieur.
394,85	- 418,80	Lotharingien, Sinémurien, Hettangien.
418,80	- 438,20	Rhétien.
438,20	- 726	Trias. Keuper et Lettenkohle.
726	-	Plan de charriage.

La sonde a ensuite recoupé des terrains autochtones triasiques, permien et carbonifères, dans lesquels elle s'est arrêtée à 1492,60. Précisons enfin que les travaux ont été le plus souvent menés en carottage continu et qu'en conséquence, les âges respectifs des terrains sont basés sur des fossiles ou des faciès caractéristiques.

Nous nous bornerons ici à l'étude de la partie de la série située dans la masse charriée. L'examen de cette coupe nous suggère les observations suivantes :

Elle se divise en trois parties distinctes par la présence de deux failles, l'une à 150,20, l'autre à 192,35 :

a) La partie supérieure est formée de Bathonien et de Bajocien, apparemment en succession normale, mais avec un fort pendage (60 à 80°). Le Bajocien, compte tenu du pendage, semble néanmoins réduit tectoniquement.

b) La partie médiane montre des niveaux disposés symétriquement de part et d'autre d'un noyau de Trias épais de onze mètres. Il y a donc ici un pli couché dont les flancs sont étirés, laminés, comme le témoignent le carottage et la disparition de nombreux niveaux.

(1) Ingénieur géologue au B.R.G.M.

(2) x = 846,28 ; y = 185,48 ; z = (475).

(3) Coupe géologique établie par Mme Lefavrais, Ingénieur géologue au B.R.G.M.

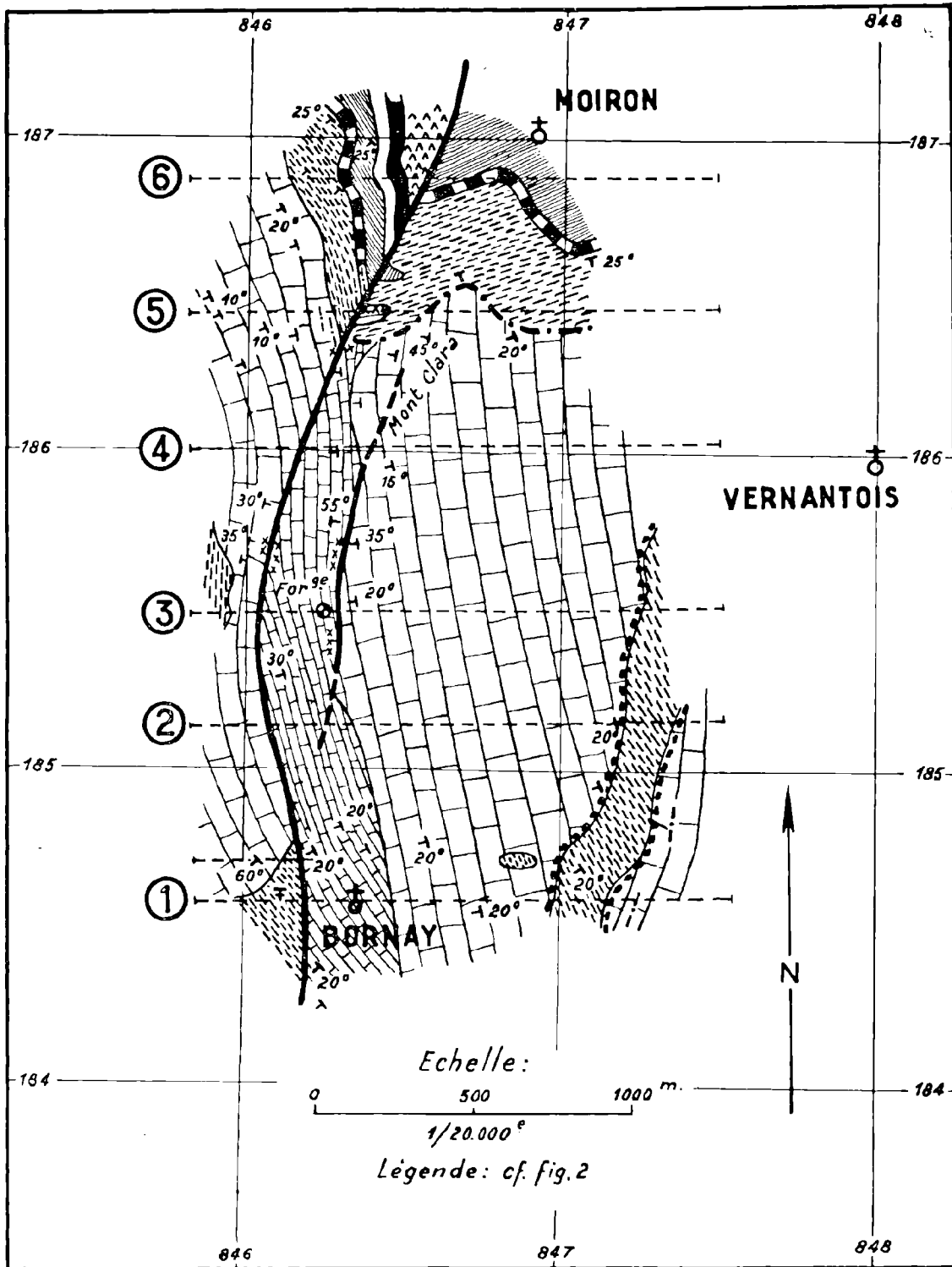


FIG. 1

c) La partie inférieure. Nous retrouvons ici un second pli-couche à noyau de Toarcien moyen dont le flanc supérieur, de même que la charnière, est encore laminé alors que le flanc inférieur devient rapidement normal, subhorizontal.

La coupe 3 de la figure 2 (hors texte) donne l'interprétation graphique de cette coupe replacée dans son contexte géographique. En effet, l'étude de terrain nous permet de confirmer cette manière de voir.

II. — Etude cartographique

Une étude de terrain nous a permis d'établir la carte géologique de la région envisagée (fig. 1). Un certain nombre de faits saillants ressortent de cette étude :

1) *La faille principale* : l'accident majeur de cette région consiste en une faille subméridienne mais dont le tracé montre une concavité largement ouverte vers l'E. Nous l'avons suivie depuis le S de Bornay jusqu'à la latitude de Moiron.

2) *La faille secondaire* : nettement moins longue que la première, cette faille n'existe qu'en regard de la concavité décrite par l'accident principal. Son prolongement vers le N et vers le S, en pointillé sur la carte, suggéré par la topographie, n'a pas été confirmé par les affleurements. De toute façon, sa prolongation ne serait pas importante, en effet :

— au S, la grande Oolithe bathonienne montre un monoclinal régulier reposant normalement sur du Bajocien à pendage concordant,

— au N, cette faille est peut-être la cause de l'éperon du Mont Clara, mais elle ne dépasse en tout cas pas la falaise puisque le « banc de roc » (Charmouthien supérieur), dominant Moiron, n'est coupé que par le seul accident principal.

3) *Disharmonie* : au N du plateau de Bornay, le Bajocien présente un pendage de 20 à 45° dirigé vers l'ouest alors que le Toarcien et le Charmouthien qui lui sont sous-jacents accusent un pendage de 25° et dirigé vers le SE. D'autre part, nous avons relevé un contact anormal sur la bordure nord du plateau de Bornay. En effet, le Bathonien et le Bajocien viennent s'arrêter brutalement sur des marnes bleues du Toarcien, ce qui n'est que la conséquence de la disharmonie évoquée ci-dessus.

4) *Le Trias* affleure sur une bande de 50 m environ de long et une bonne vingtaine de large à peu de distance du pied de la falaise et au contact de la faille principale. Entre cet affleurement et

le Bajocien, nous avons relevé une série d'affleurements aberrants de Sinémurien, Charmouthien inférieur et moyen, qui s'alignent.

III. — La structure de Bornay (fig. 2)

D'après ce que nous venons de voir, la structure de Bornay peut se décrire de la façon suivante :

1° *En surface.*

Une grande faille subméridienne à tracé sinueux, montre un compartiment O régulier, mais dont le pendage s'inverse au droit de la courbure. Le compartiment E, au contraire, est plus compliqué : au S, un monoclinal normal de Jurassique moyen, non faillé, domine son vis-à-vis par un relief de faille en falaise. Il forme la retombée O d'un anticlinal dont le flanc oriental est très redressé (pli coffré). Au niveau du sondage de Bornay, ce monoclinal est cassé par une faille secondaire ; plus au N encore, cet accident secondaire disparaît et nous retrouvons le plateau intact ; lorsqu'au S de Moiron cette entité a été enlevée par l'érosion, seule la faille principale subsiste, soulignée par un gielage de Trias. Enfin, au niveau de Moiron nous ne trouvons plus qu'un anticlinal, cassé par cette même faille principale.

2° *Relation avec la profondeur.*

La figuration profonde de la structure de Bornay nous est donnée par les éléments suivants :

— la coupe du sondage,

— la présence de Trias immédiatement à la base du Mont Clara,

— la disharmonie du Jurassique moyen sur les marnes sous-jacentes.

La faille principale, qui est normale au S et au N, devient chevauchante dans la partie médiane, comme le laissait supposer son tracé. La poussée tangentielle, venant de l'E, a provoqué, à la faveur de la faille, une remontée du Trias, entraînant avec lui des lambeaux des terrains sus-jacents.

La couverture rigide, Jurassique moyen, a réagi différemment de son substratum marneux. En effet :

— la grande « dalle » de Bajocien et Bathonien a glissé disharmoniquement, d'un seul bloc, esquissant une tentative de rebroussement dans l'avancée maximum du mouvement, tentative qui se traduit d'une part par une cassure et des pendages plus accentués à l'E et, d'autre part, par un « agenouillement » local du compartiment O,

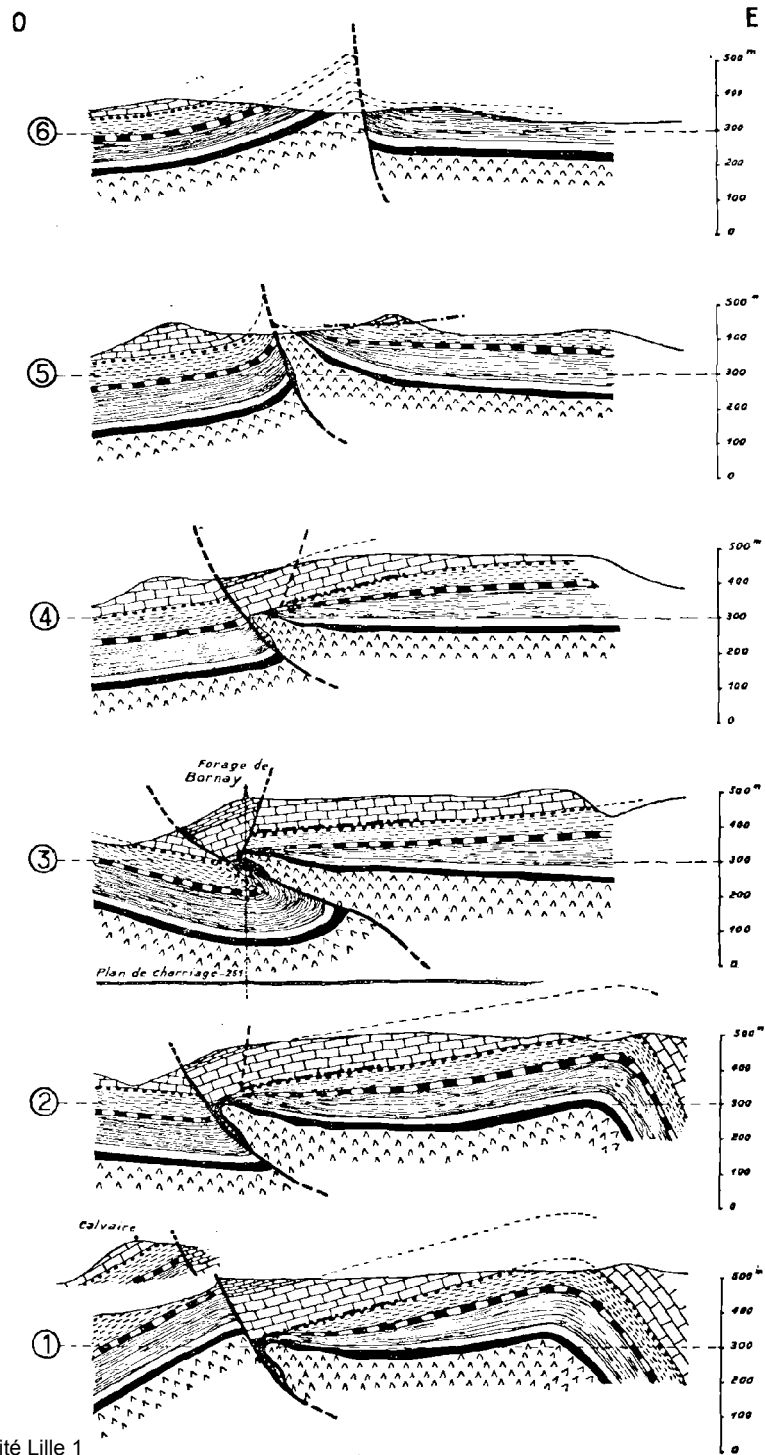
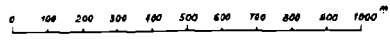
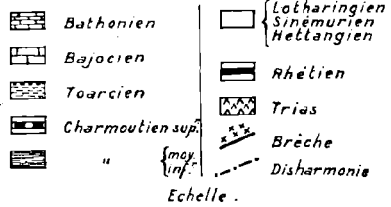
— le substratum marneux s'est plissé.

STRUCTURE DE BORNAY (JURA)

Fig.2

Coupes seriées

LEGENDE



3° *Mise en place.*

Cet accident entre dans la catégorie de ceux décrits par M. L. Glangeaud sous le nom de « faille-pli », mais avec une complication supplémentaire par l'adjonction d'une faille secondaire due à la cassure de la couverture rigide.

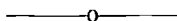
Il s'agit donc de la superposition, sur une faille stampienne subverticale, de mouvements tangentiels post-pontiens dont le caractère prédominant — dans le problème qui nous occupe ici — est d'avoir « cisailé » l'accident initial. En effet, le plan de décollement est situé à la cote — 251, nettement plus bas que la faille-pli dont la structure complète, compartiments est et ouest, fait partie intégrante de la masse charriée (cf fig. 2).

Ce plan de décollement a été reconnu dans la plupart des sondages de la région lédonienne. Il est donc normal de penser que les accidents cartographiés en surface, quand ils ne sont pas spécifiques de la nappe elle-même, ne sont que des têtes de failles stampiennes, remaniées après le Pontien et séparées de leurs racines restées en place, d'une distance horizontale équivalente à peu de chose près, au déplacement de la couverture dans la région envisagée.

Le fait important à retenir de cette série d'observations est l'indépendance totale, dans la région étudiée, du plissement de la couverture vis-à-vis du socle (Cristallin - Carbonifère - Permien) comme le montrent les coupes de la figure 2 et l'étude des carottes de sondages prélevées sous le plan de charriage, comme nous le verrons plus en détail dans un prochain travail.

BIBLIOGRAPHIE

- A. BONTE. — Contribution à la tectonique du Vignoble aux environs de Lons-le-Saulnier (Jura). *B.S.G.F.* (6), t. II, 1952, p. 339.
- A. BONTE, J. GOGUEL, etc... — Le Bassin houiller de Lons-le-Saulnier (Jura). *Publ. B.R.G.G.* n° 10, 1953.
- L. GLANGEAUD. — Session extraordinaire de la Société Géologique de Belgique. *S.G.B.*, t. 73, 1949, p. 53.
- A. LEFAVRAIS, G. LIENHARDT, C. MONOMAKHOFF, J. RICOUR — Données nouvelles sur le chevauchement de la bordure du Jura sur la Bresse dans la région de Lons-le-Saulnier (Jura). *B.S.G.F.* (6), VII, 1957, p. 1157.
- P. MICHEL, G. APFERT, J. LAVIGNE, A. LEFAVRAIS, A. BONTE, G. LIENHARDT, J. RICOUR. — Le contact Jura-Bresse dans la région de Lons-le-Saulnier. *B.S.G.F.* (6), tome III, 1953; p. 593.



Séance du 30 Mars 1960

PRÉSIDENCE DE M. J. RICOUR, PRÉSIDENT

Sont élus membres de la Société :

- M^{lle} LELIÈVRE Thérèse, Géologue à la Compagnie Asturienne des Mines, Touisit (Maroc) (présentée par M. Dubar et Mlle Le Maître).
- M. HUPÉ Pierre, Maître de Conférences de Géologie, 9, Square Laurent, Paris-XV^e (présenté par MM. Pruvost et Waterlot).
- M. MEURISSE Marc, 23 bis, rue J.B. Lebas, Lys-lez-Lannoy (Nord) (présenté par M. et Mme Danzé).
- Inventaire des ressources hydrauliques de la Gironde (B.R.G.M.). Service des Mines, rue Xavier Arnoz, Bordeaux (Gironde) (présenté par MM. Vigneaux et Ricour).
- M. ESCUDERO RATTO Julio, Ingénieur géologue, Societad Geologica del Perou, Jiron Camilo Carillo, n^o 300, Lima (Pérou) (présenté par MM. Delattre et Celet).
-

COMMUNICATIONS

Observations sur le Callovien de Lottinghen

par A. BONTE (1)

Sommaire. — La base du Callovien est représentée par des marnes sableuses associées à la marne ferrugineuse de Belle qui repose sur le calcaire oolithique du Bathonien supérieur.

Au début de 1956, M. J. Danzé a présenté à la Société la coupe d'un puits exécuté à Lottinghen et dans lequel la présence de grès et sables verts lui paraissait anormale. De nouveaux éléments

recueillis en 1958-1959 me permettent aujourd'hui de compléter cette coupe.

Le puits, creusé à la main en août 1955 pour alimenter une cité ouvrière, a été approfondi avec des moyens mécaniques en juillet 1959 à la suite de la sécheresse persistante.

(1) Professeur de Géologie appliquée à la Faculté des Sciences de Lille.

Les cotes d'approfondissement, complétées par la vérification de la profondeur totale actuelle (12 m 50), montrent que la profondeur totale en 1955 ne dépassait pas 8 m (2). Les coordonnées Lambert (zone I) sont les suivantes : $x = 571,57$; $y = 332,25$; l'altitude est voisine de 108 (chiffres rectifiés).

Les marnes à *Serpula vertebralis* signalées par M. Danzé au sommet de sa coupe ont été retrouvées en février 1958 dans les fondations des maisons de la cité. A la même époque on pouvait encore voir dans les déblais du puits des blocs de grès argileux verdâtre provenant du fond. Les grès et sables verts (épaisseur 3 m 20) sont à déduire de l'épaisseur des marnes bleues qui ont donc : 8,00 — 3,20 = 4,80 m.

Au cours de l'approfondissement de 1959, le puits a traversé 3 m de formations marno-sableuses dont le détail n'a pas été relevé ; mais dont une partie au moins, et vraisemblablement la base, était représentée par une marne gris-foncé à nombreuses oolithes de limonite, extrêmement fossilifère ; au-dessous, il a atteint un calcaire oolithique bleu traversé sur 1 m 50 environ.

La coupe du puits s'établit ainsi de la façon suivante (profondeurs approximatives, à partir du sol naturel) :

0,00	—→ 4,80 marne bleue à <i>Serpula vertebralis</i> ;
4,80	—→ 4,20 marne sableuse avec bancs durcis ;
9,00 (?)	—→ 2,00 marne à oolithes ferrugineuses de Belle ;
11,00	1,50 (+) calcaire oolithique du Bathonien supérieur.

L'intérêt de ce puits est de montrer l'existence dans ce secteur de la marne ferrugineuse de Belle et d'indiquer la cote du sommet du Bathonien (108 — 11 = 97). Le Bathonien affleure par ailleurs à 250 m au NE dans le lit du ruisseau qui passe sous la route de Quesques (couches de passage du Bathonien supérieur au Bathonien moyen, suivant Bonte, Collin, etc., 1958, p. 17).

Quant à la présence de grès verts, considérée comme aberrante par M. Danzé qui essaya de la

(2) En février 1958, les ouvriers qui travaillaient à la cité m'ont précisé que le puits avait été arrêté sur un banc dur à 9 m, soit à 8 m si on défalque la hauteur de la margelle.

justifier, elle semble tout à fait normale, à la teinte près, à ce niveau ; car il s'agit de marnes sableuses, consolidées secondairement au voisinage de la surface et qui, du point de vue sédimentologique, ont la même valeur que la marne ferrugineuse de Belle.

Effectivement, des marnes de ce genre sont associées à des marnes lumachelliques et à des marnes à oolithes ferrugineuses et nodules phosphatés dans la plupart des sondages récents exécutés par les H.B.N.P.C., à une soixantaine de km au SE, dans la région de Doullens, où elles atteignent :

— à Beaumont-Hamel, 3 m 45, dont 2 m 15 d'oolithe ferrugineuse en plusieurs lits ;

— à Doullens-Milly, 3 m 90, dont 1 m d'oolithe ferrugineuse à la base ;

— à Vermandovillers, 3 m 90, dont 3 m 10 d'oolithe ferrugineuse sous divers aspects.

A titre d'essai, la marne de 230.10 de Beaumont-Hamel a été analysée sommairement. Elle donne un refus (sur tamis AFNOR 18, maille 0,05) de 25,5 % qui, par attaque de l'acide chlorhydrique, laisse un résidu en majorité quartzeux de 77,5 %. A côté du quartz, on observe des microdébris de coquilles, accompagnés de quelques menus fragments ligniteux et de rares plaquettes de pyrite. Il n'existe pratiquement pas de minéraux colorés, à part quelques éléments gris à peine verdâtre ; un seul minéral vert, mais absolument pas de glauconie. La teinte verdâtre observée à l'affleurement est due vraisemblablement à l'altération.

Si on tient compte du fait que la fraction inférieure à 0,05 renfermait encore une notable proportion de grains de quartz microscopiques, on voit qu'il s'agit d'un sédiment franchement sableux et à ciment marneux, tout à fait analogue à celui de Lottinghen.

On se trouve donc en présence d'une série tout à fait normale mais qui n'a guère été analysée en surface jusqu'ici faute d'affleurements convenables.

BIBLIOGRAPHIE

- BONTE A., COLLIN J.J., GODFRIAUX I. et LEROUX B., 1958. — Le Pathonien dans la région de Marquise, le Wealdien du Fculonnais. *Bull. Serv. Carte Géol. France*. C.R. Coll., Campagne 1957, n° 255, LVI, p. 9-28, 6 fig.
- DANZÉ J., 1956. — Coupe d'un puits dans le Callovien de l'Est du Boulonnais. *Ann. Soc. Géol. Nord*, LXXVI, p. 6-9.

Observations sur la partie septentrionale de la faille des Cévennes (Ardèche)

par Jacques PAQUET (1)

(3 fig.)

Sommaire. — Des observations faites le long de la faille des Cévennes, au S de Vallon-Pont d'Arc, permettent de reconnaître la nature de cette faille. La distinction entre deux types de failles, l'un subvertical et l'autre incliné, est faite. Leur relation éventuelle est examinée.

La région faisant l'objet de cette note fait partie de la bordure sédimentaire orientale du Massif Central, à l'W du couloir rhodanien et à 50 km au S de Privas. Les observations, le long de la faille des Cévennes, ont été faites à partir d'un point situé à quelques km au S de Vallon-Pont d'Arc jusque St-Ambroix situé le long de la Cèze.

On distingue, dans cette région, deux grandes unités. Tout d'abord à l'E, s'étend le sillon oligocène d'Alès à Vallon (latitude de Pierrelate) au S d'Alès (latitude d'Avignon). A l'W de ce sillon, des terrains secondaires (Lias, Jurassique moyen et supérieur, Crétacé inférieur) constituent la seconde unité. Le sillon oligocène est séparé de ces terrains mésozoïques par un accident tectonique complexe au N : faille de Vallon, et au S : faille des Cévennes.

● A) DE PRADES A ST-SAUVEUR DE CRUZIÈRES.

1) Observations faites le long de la faille des Cévennes de Prades à St-Ambroix (fig. 1 et 2).

La coupe A se situe près de la route de Vagnas à Brujas, 800 m avant Brujas ($x = 758,4$; $y = 230,9$).

D'E en W on observe :

1° des calcaires marneux grisâtres avec filets de lignite : Chattien ;

2° des conglomérats et poudingues à éléments polygéniques : Chattien ;

3° une formation très grossière formée de très gros blocs d'Urgonien emballés dans des sables rouges et dans des conglomérats : Chattien ;

4° une zone broyée d'une dizaine de m de large. Ce sont des calcaires marneux et des marnes valanginiennes broyés, envahis par la calcite.

(1) Assistant de Géologie à la Faculté des Sciences de Lille.

La 2^e édition de la feuille d'Alès a figuré, au niveau de cette coupe, un lambeau d'Urgonien mylonitique en position anormale sur le Valanginien. La faille que j'appelle F se manifeste ici par la présence d'une zone broyée dans le Valanginien. Elle se révèle être, à cet endroit, subverticale.

En prenant la route de Bessas, on suit une direction parallèle à la faille F. 800 m avant le village de Bessas, à très courte distance de la route, un ruisseau offre une coupe naturelle magnifique ($x = 757,3$ et $y = 229,7$).

On observe d'E en W :

1° la formation rouge chattienne décrite précédemment, couronnée par des conglomérats à gros éléments polygéniques ;

2° une discontinuité entre cette formation et ce qui se situe à l'W ;

3° une zone de quelques mètres de large fortement tectonisée et envahie par la calcite ;

4° une alternance de calcaires marneux gris et de marnes de l'Hauterivien inférieur.

La zone broyée est la conséquence du passage de la faille F dont la trace s'incurve légèrement vers l'E dans le creux du ruisseau. Elle est néanmoins subverticale.

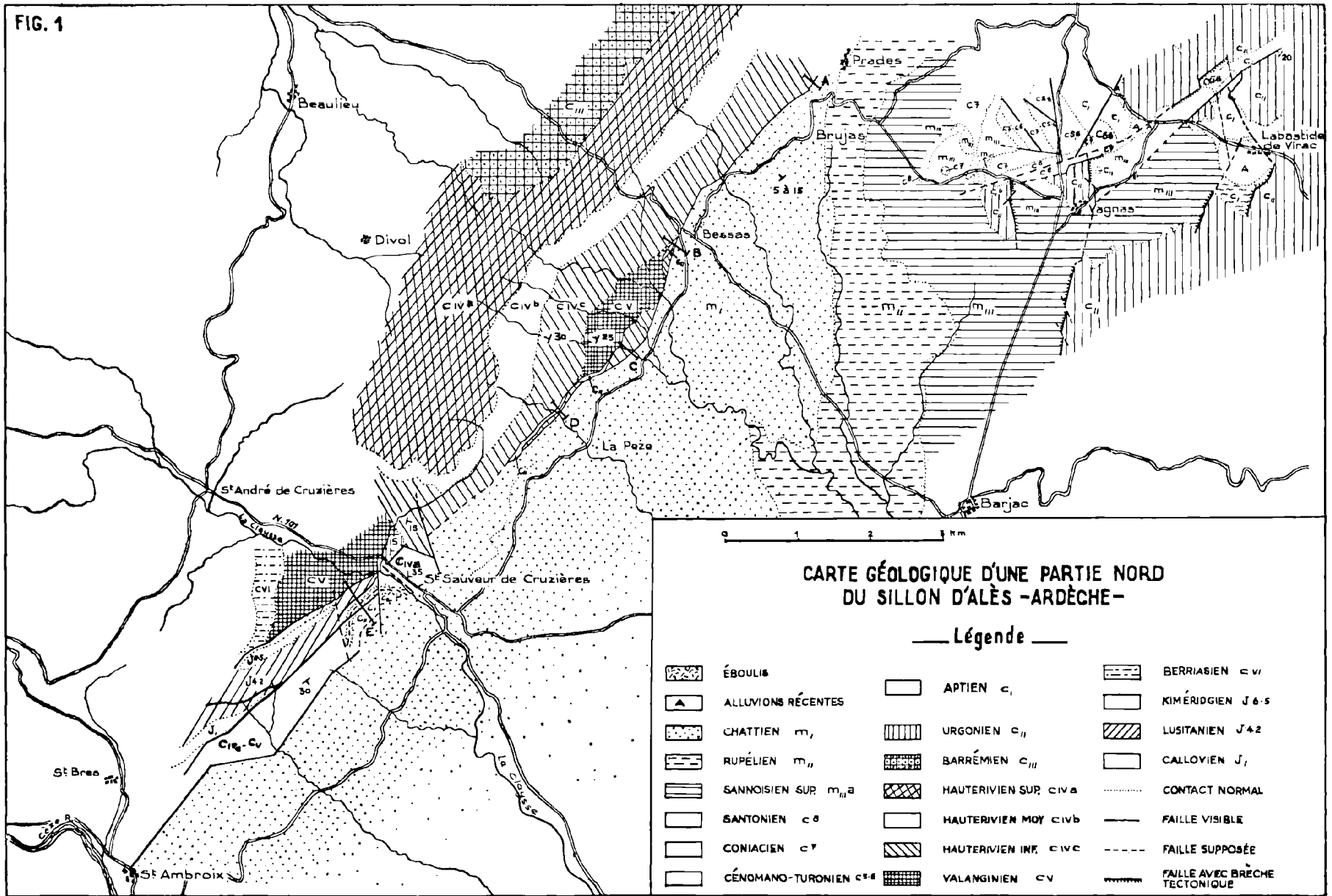
Du niveau de cette coupe à la sortie de Bessas, on peut suivre aisément le tracé de la faille F qui se révèle à peu près rectiligne.

Juste à la sortie de Bessas, sur la route de St-Sauveur de Cruzières, on peut lever la coupe suivante d'E en W (voir la coupe B, fig. 2) :

1° les conglomérats chattiens ; on y remarque un énorme bloc d'Urgonien ;

2° la présence d'une bande étroite de Néocomien broyé entièrement calcifié correspondant elle aussi au passage de la faille F ;

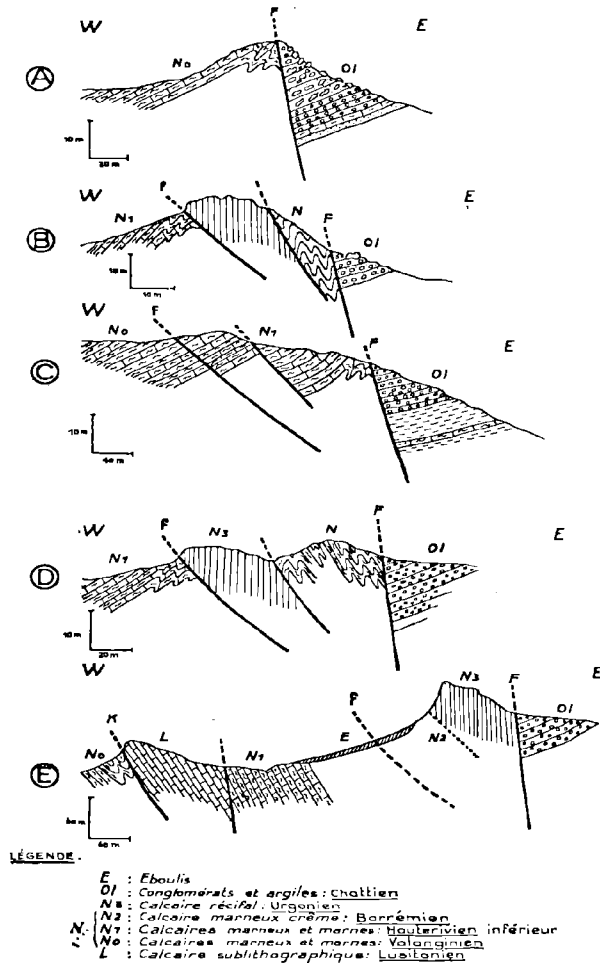
FIG. 1



- 3° la présence d'Urgonien mylonitique ;
- 4° l'Hauterivien inférieur en contact avec l'Urgonien par le jeu d'une faille f.

La route de St-Sauveur de Cruzières, qui suit toujours pratiquement la direction des failles, passe sur trois ruisseaux qui offrent l'avantage de donner des coupes naturelles de l'accident de Vallon.

FIG. 2
COUPES DE L'ACCIDENT DE VALLON OU FAILLE DES CEVENNES



En empruntant un de ces ruisseaux, on observe d'E en W (x = 755,5 et y = 727,5) (voir la coupe C fig. 2) :

1° le Chattien constitué par une alternance d'argiles bariolées en bancs épais, de calcaires marneux gris et de grès rose. Ces formations sont couronnées de conglomérats. Leurs pendages s'effectuent toujours vers le NW ;

2° une zone calcifiée, broyée dans l'Hauterivien, correspondant au passage de la faille F ;

3° sur une largeur de 150 m, de l'Hauterivien inférieur constitué par une alternance de marnes et de calcaires marneux gris en bancs bien nets ;

4° un magnifique contact tectonique mettant en contact Hauterivien inférieur précédemment cité et Valanginien situé plus à l'W.

La présence de la bande d'Hauterivien inférieur situé entre F et f n'avait pas été mise en évidence dans la deuxième édition de la feuille d'Alès. De plus, du niveau de la coupe C jusqu'en un point situé 2 km au SW, elle figure une bande unique d'Urgonien entre F' et f. On peut, en effet, observer d'E en W :

1° les conglomérats chattiens dont le pendage s'effectue toujours vers le NW ;

2° une zone fortement tectonisée qui est probablement hauterivienne et qui correspond, comme précédemment, au passage de la faille F ;

3° une zone urgonienne, de faible largeur, en contact avec l'Hauterivien inférieur, situé à l'W, par le jeu de l'accident f.

Le ruisseau passant au pied du Mas de La Pèze offre une coupe naturelle au point de coordonnées x = 755 et y = 226,5 (voir la coupe D, fig. 2).

D'E en W, on observe :

1° une alternance d'argiles bariolées jaunes, roses ou blanches en bancs de quelques m. Ces couches chattiennes pendent vers le NW ;

2° une zone fortement tectonisée et complexe : du Barrémien et de l'Hauterivien ont pu être mis en évidence ;

3° une barre d'Urgonien d'une quinzaine de m de large ;

4° de l'Hauterivien inférieur où on observe de très importants rebroussements semblant indiquer un mouvement de l'Urgonien vers le bas.

La faille f, au tracé sinucux, disparaît au point x = 754 et y = 255,8 recoupée par la faille F, celle-ci s'observant jusqu'à St-Sauveur de Cruzières.

● B) DE ST-SAUVEUR DE CRUZIERES A ST-AMBROIX.

a) Sur la rive gauche de la Claysse, à la sortie de St-Sauveur de Cruzières, la route n° 101 allant à St-André de Cruzières offre la coupe suivante ; on observe d'E en W :

1° des conglomérats très puissants contenant une forte proportion d'éléments d'âge hauterivien supérieur et barrémien ;

2° une zone broyée correspondant au passage de la faille F ;

3° de l'Hauterivien supérieur constitué par une alternance de calcaires marneux en miches et de marnes.

b) *Sur la rive droite de la Claysse*, on observe la coupe suivante totalement différente de la précédente, ce qui conduirait à penser que la vallée de la Claysse est une vallée tectonique (voir coupe E, fig. 2). D'E en W, on a :

- 1° des conglomérats chattiens ;
- 2° une barre d'Urgonien séparée du Chattien par la faille F ;
- 3° sous cette barre urgonienne du calcaire marneux jaune barrémien ;
- 4° une zone d'éboulis cachant les affleurements ;
- 5° au pied de la pente, des calcaires marneux noirs légèrement glauconieux alternant avec des marnes noires : Hauterivien inférieur ;
- 6° du calcaire sublithographique gris, veiné de calcite : Lusitanien ;
- 7° des calcaires marneux légèrement gréseux avec des marnes : Valanginien.

On peut supposer le passage de la faille f sous la zone d'éboulis. En effet, stratigraphiquement, la dénivellation entre le point d'affleurement de l'Urgonien et celui de l'Hauterivien inférieur montre que la série a été amputée de plusieurs de ses termes.

La deuxième édition de la feuille d'Alès montre sur la rive gauche de la Claysse une masse importante d'Urgonien en contact à l'E avec le Chattien par une faille très inclinée, et à l'W avec le Valanginien également par un accident très incliné. Je n'ai pas retrouvé de telles structures. Au SW de St-Sauveur de Cruzières, elle figure, le long de l'accident séparant Chattien des terrains secondaires, une longue bande d'Urgonien pratiquement jusqu'à St-Ambroix. Or on observe pratiquement toujours ceci d'E en W :

- 1° les conglomérats chattiens ;
- 2° une zone tectonisée correspondant au passage de la faille F ;
- 3° des calcaires marneux et des marnes du Néocomien inférieur.

Je n'ai donc mis en évidence de l'Urgonien que sur une longueur de 2 km au plus, à partir de St-Sauveur de Cruzières.

2) Interprétations possibles des accidents observés.

Les interprétations de cette faille des Cévennes ou faille de Vallon sont très contradictoires. En effet, Fabre et Cayeux (1901), dans la première édition de la feuille d'Alès au 1/80.000, figurent une faille d'effondrement à grand rejet entre Oligocène à l'E et terrains mésozoïques à l'W. P. Thiery et P. Termier (1923), dans la seconde édition de cette même feuille, donnent à la faille des Cévennes un style nettement tangentiel. L'Urgonien, que P.

Thiery a nommé « mylonitique » et qui jalonne la faille de Vallon, serait en position chevauchante.

D'après les observations précédemment décrites, entre Oligocène et terrains secondaires, on reconnaît deux types de failles : la faille F, subverticale et à grand rejet, et la faille f inclinée à 45° au moins, à rejet moindre.

On peut formuler deux hypothèses quant à la dépendance des accidents F et f.

A) Indépendance des accidents F et f :

On peut supposer que la faille F est postérieure à f qui découpe, à l'W de F, les terrains secondaires. L'accident f est une faille soustractive inclinée à 45° au moins. Or, dans la région de Vallon d'Arc située au N du secteur étudié, des accidents de même type intéressent le Secondaire (Accidents de Ruoms et de Sigaud). On conçoit facilement un effondrement général de la couverture sédimentaire orientale du Massif Central par quartiers successifs le long d'accidents inclinés du type f.

Les pendages du Néocomien à l'W de la faille de Vallon, des coins de Néocomiens situés entre F et f s'effectuent toujours vers le NW. Les pendages se disposent dans le sens opposé à celui de l'effondrement. On peut considérer ceci comme un phénomène identique à ceux reconnus sur les pans de falaise éboulés, toujours fortement pentés dans le sens opposé au déplacement. Ces effondrements, le long de failles fortement pentées, se retrouvent dans le Bassin Houiller du Nord (A. Bouroz, 1948).

Si on admet ce processus de mise en place, l'Oligocène s'est installé dans une zone effondrée où l'appel vers le bas s'est traduit par le dépôt d'une grande épaisseur de sédiments.

Dans cette hypothèse, il faut donc admettre que cette tectonique d'effondrement suivant des failles inclinées du type f est antéoligocène. Le point important est de savoir si, sous l'Oligocène, on retrouve des accidents du type f. Seuls, des forages pourraient les révéler sous la couverture oligocène du sillon d'Alès si, toutefois, ils existent.

B) Interdépendance des accidents F et f.

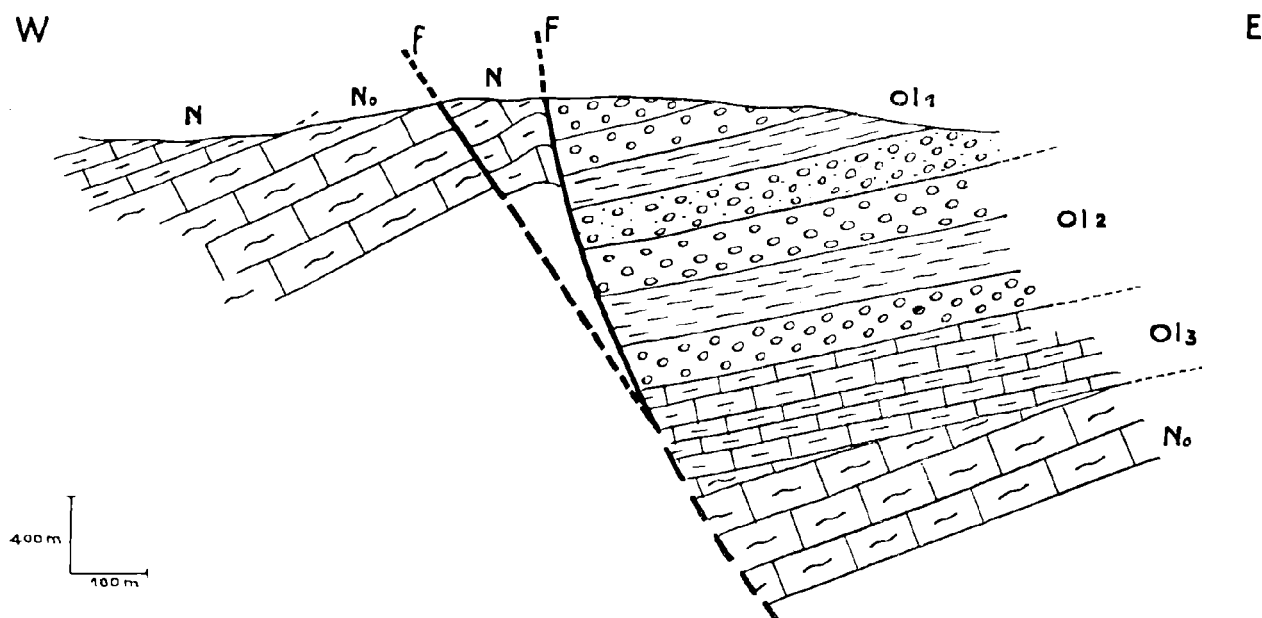
L'accident subvertical F mettant en contact Oligocène et terrains secondaires a un rejet très important de 1.000 m à 2.000 m, si on en juge d'après les épaisseurs des sédiments oligocènes. Or, cette faille F est jalonnée de petits compartiments néocomiens limités à l'W par une faille inclinée à 45° (f). Ceux-ci sont discontinus et l'accident f se ferme

plusieurs fois sur F. On peut concevoir que f soit la conséquence de F ; en effet, les terrains néocomiens situés entre F et f ont pu être entraînés vers le bas, lors de l'effondrement de l'Oligocène suivant F.

La faille F est sûrement une faille d'origine profonde. Il s'agit peut-être d'un accident incliné intéressant le socle (J. Goguel, 1952). Dans les

terrains sédimentaires, cette faille tend à se rapprocher de la verticale. Dans la région étudiée, la faille des Cévennes F se révèle être en surface subverticale. *Suivant une largeur variable mais réduite, une zone de Néocomien située à l'W de F aurait donc suivi le mouvement général vers le bas suivant un accident f reproduisant en surface l'inclinaison de la faille F en profondeur* (voir fig. 3).

FIG. 3



COUPE INTERPRÉTATIVE DE LA FAILLE DE VALLON OU FAILLE DES CÉVENNES

Ol1 = Chattien. Ol2 = Rupélien. Ol3 = Sannoisien et Eocène ? N = Hauterivien ou Urgonien. N0 = Valanginien.

BIBLIOGRAPHIE

BOUROZ A. (1950). — Sur quelques aspects du mécanisme de la déformation tectonique dans le bassin houiller du Nord de la France. *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. LXX, p. 2-55, PL A-L.

FABRE G. et CAYEUX (1901). — Notice explicative de la première édition de la feuille d'Alès, n° 209, au 1/80.000.

GOGUEL J. (1952). — *Traité de tectonique*. Masson, Paris.

GOTTIS (1959). — *Contribution à l'étude géologique du Pas-Languedoc*. Thèse en cours d'impression.

THIERY P. (1919). — Nouvelles observations sur le système d'accidents géologiques appelé « Faille des Cévennes ». *C.R. Ac. Sc.*, t. 168, p. 902.

THIERY P. et TERMIER P. (1923). — Notice explicative de la deuxième édition de la feuille d'Alès, n° 209, au 1/80.000.

Recherche des griffons d'alimentation des étangs de Lécuse et Ecourt-St-Quentin (Pas-de-Calais), par mesures thermométriques

par R. CLUSEAU et J. RICOUR (1)

(4 fig.)

Sommaire. — Il semble possible de localiser, par thermométrie, les griffons qui alimentent les étangs de la vallée de la Sensée.

1) Données géographiques et hydrogéologiques.

Entre Lécuse et Aubigny-au-Bac, le long de la vallée de la Sensée, il existe une succession

d'étangs orientés selon une direction E-W. La surface de chacun d'eux est de l'ordre de plusieurs dizaines d'hectares (fig. 1). Situés en pays crayeux et perméable, ils ne peuvent en aucune façon être considérés comme des mares peu profondes dues à une couche superficielle imperméable. Les études

(1) Ingénieurs géologues au B.R.G.M.

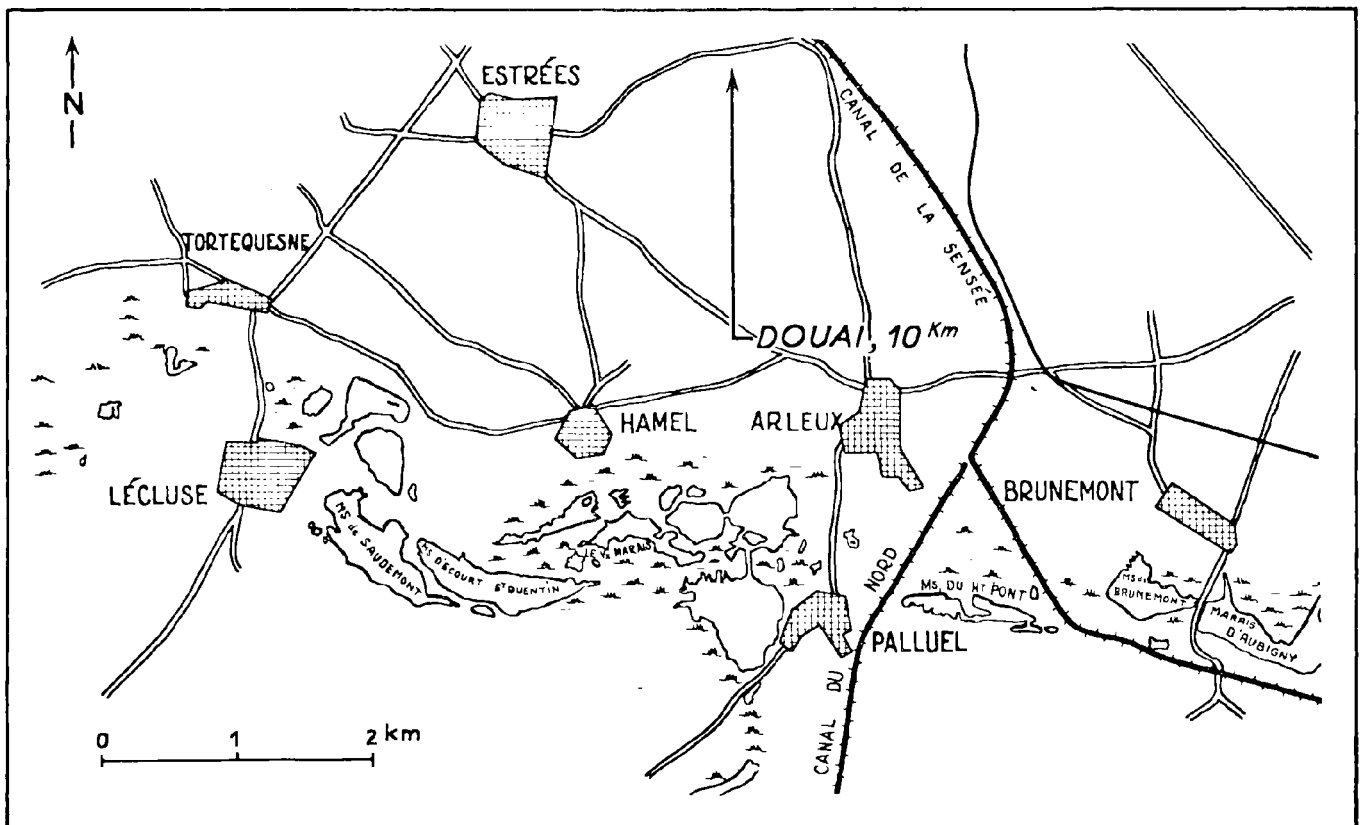


FIG. 1

Situation topographique des étangs de Lécuse et Ecourt-St-Quentin.

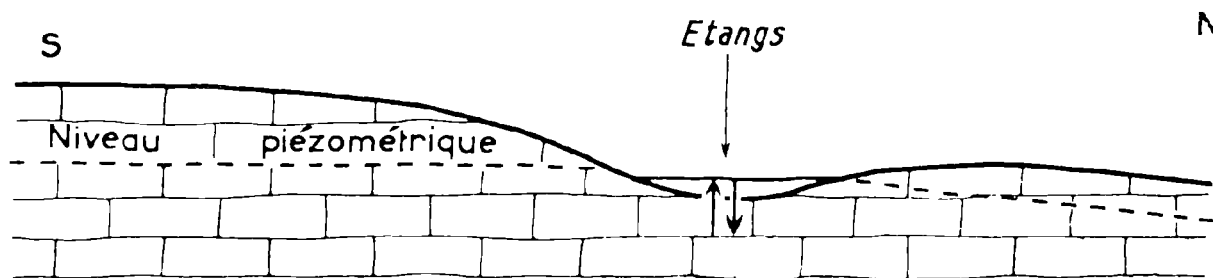


FIG. 2

Schéma montrant les relations entre la nappe de la craie et les étangs d'Arleux.

hydrogéologiques régionales ont démontré que ces étangs ne représentent que l'émergence locale, due au profil topographique, de la surface piézométrique de la nappe de la craie (fig. 2).

Il a été démontré en 1958 (2) que le niveau de la nappe de la craie dans la zone comprise entre Douai et Valenciennes s'abaissait rapidement, ce qui fait planer une menace grave sur l'industrie de cette région. Depuis cette date, la situation a encore empiré et les mesures de coercition prises à l'heure actuelle ne semblent plus capables de remédier à cet état de fait.

On peut envisager, pour faire remonter le niveau piézométrique de la craie dans le bassin houiller, de recharger la nappe à l'amont de celui-ci en utilisant comme zone d'injection les étangs naturels qui, nous l'avons vu, sont directement en relation avec la nappe. Or nous savons que, la craie n'étant pas une roche perméable en elle-même, la circulation de l'eau ne peut s'y faire qu'au moyen du réseau de diaclases qui fracture la roche en tous sens. On pourrait, de ce fait, penser que les communications entre la nappe de la craie et les étangs n'étaient pas uniformément réparties sur toute la surface de ces derniers mais plutôt localisées à certaines zones privilégiées.

Nous avons pensé que le problème pouvait être étudié par thermométrie. Il est bien connu, en effet, que certaines parties de l'étang (recherchées pour y établir les garages à bateaux) gèlent plus rarement car elles sont situées à l'aplomb de griffons qui amènent à l'étang l'eau de la nappe, dont la température est toujours voisine de 11°5. Inversement, en fin de printemps, quand le niveau de la nappe est encore élevé et que celle-ci est susceptible d'alimenter l'étang, nous avons pensé que ces griffons

pouvaient être soulignés par des zones plus froides que l'eau superficielle. C'est pour vérifier le bien-fondé de cette hypothèse que le B.R.G.M. a entrepris en 1959 une brève mission thermométrique.

2) Conditions d'observation, méthode et appareillage.

Les étangs ont une profondeur assez constante, voisine de 3 m environ. Le fond est entièrement recouvert d'une épaisse couche de vase atteignant plusieurs mètres. Tous les étangs communiquent entre eux par des « courants ».

L'eau se trouve dans la craie à une température voisine de 11°5 C, quelle que soit la saison. Un calcul rapide montre que ceci doit rester vrai sous l'étang lui-même. On peut estimer qu'en moyenne l'eau du lac, en profondeur, varie de 19° en été à 4° en hiver. L'amortissement en fonction de l'épaisseur x du matelas de vase est de la forme Δe^{-mx} où $A = \frac{19-4}{2} = 7.5$ C et $m = \sqrt{\frac{\pi}{aT}}$ avec $T = 365$ jours et a diffusivité de la vase, de l'ordre de $18 \cdot 10^{-3}$ m²/jour ; d'où $m = 0,69$ (par mètre). Sous 4 m de vase, la température de l'eau ne varie que de 0°47 C entre saisons et peut donc bien être considérée comme constante.

Par ailleurs, les irrégularités de température en été, durant une période d'un mois, pourraient s'exprimer par des termes périodiques d'amplitude $\frac{22-15}{2} = 3.5$ C, soit au maximum la moitié de l'amplitude précédente, et de période de 30 jours au plus. Le même calcul montre que ces variations sont complètement amorties sous moins d'un mètre de vase.

En conclusion, à une profondeur d'un mètre seulement dans la vase, les irrégularités de température étant complètement amorties alors que la variation annuelle reste nettement perceptible, on

(2) E. Leroux, J. Ricour et G. Waterlot. — Variation du niveau des nappes aquifères du Nord de la France. *B.S.G.F.* (6), VIII, 1958, pp. 191-206.

doit trouver facilement les venues d'eau de la nappe, même si ces venues d'eau ne sont que diffuses. Ceci est d'autant plus sûr que l'on est à l'abri des courants de convection qui brassent l'ensemble de chaque lac.

Pratiquement, nous avons mesuré en chaque point de station la température de l'eau au fond et la température sous 1 m de vase ; ce sont effectivement ces dernières mesures qui se sont montrées les plus fructueuses. Nous avons opéré par la méthode des profils, en traversant les étangs suivant leur largeur minimum ; les mesures ont été effectuées tous les 10 m avec 40 m de distance entre profils. La profondeur de l'étang a été mesurée en chaque point de station.

Les thermomètres utilisés étaient des thermomètres électriques avec, comme élément sensible, une résistance au platine sertie dans un tube de verre

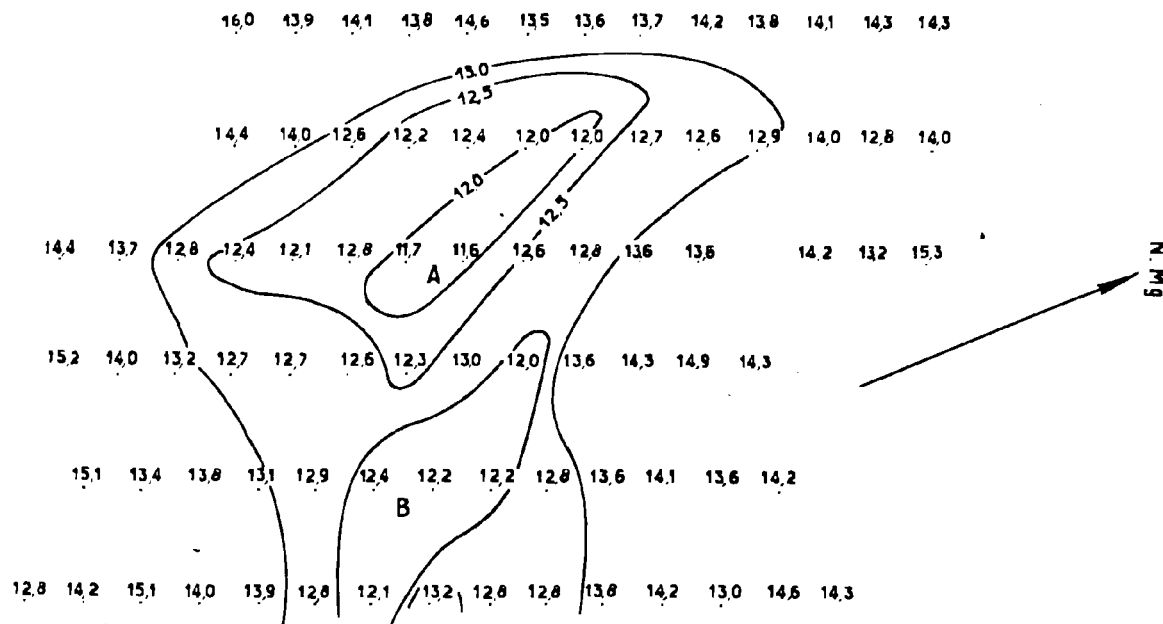
de 3 cm de long et de 5 mm de diamètre. Pour que l'inertie thermique soit la plus faible possible, les appareils ont été montés de façon que les résistances soient directement en contact avec l'eau ou la vase. Le matériel a donné pleinement satisfaction.

La mission ayant un caractère expérimental, il convenait de trouver la méthode opératoire susceptible de donner les meilleurs résultats. On a donc effectué une série d'essais systématiques :

- a) mesure de la température de l'eau à différentes profondeurs ;
- b) mesure de la température de la vase à différentes profondeurs ;
- c) mesure de détail sur des griffons très actifs du Petit Marais d'Ecourt-St-Quentin.

3) Mesures et interprétations.

Huit kilomètres de profils ont été levés du 16 juillet au 4 août 1959. Des mesures systématiques

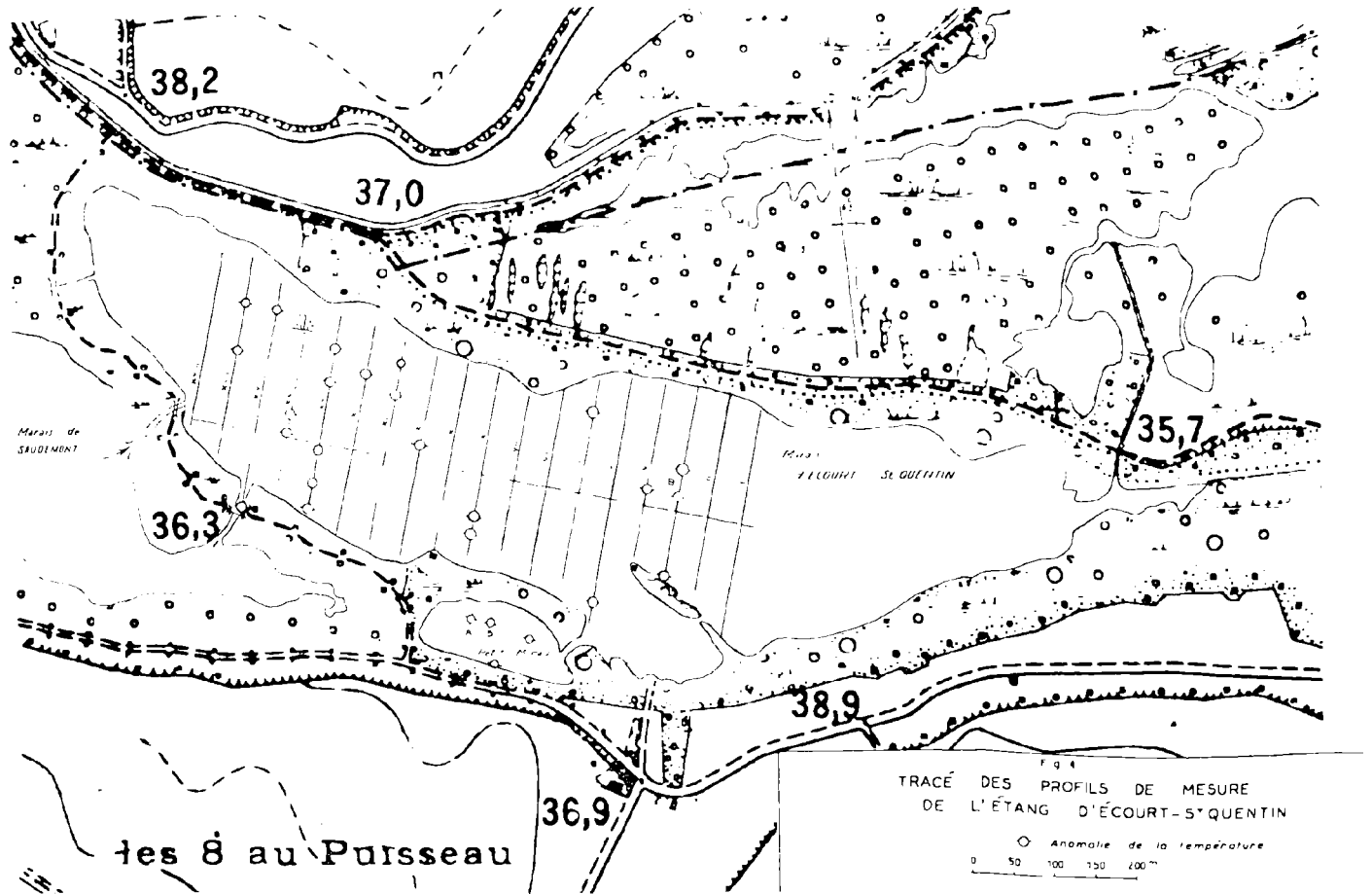


Etude de détail sur une zone à griffon
Isothermes sous 1 m de vase. Echelle 1/600.

. Points de station

Petit marais d'ECOURT St-QUENTIN

FIG. 3



ont été effectuées sur les étangs de Saudemont et d'Ecourt-St-Quentin. Nous ne mentionnerons que les résultats concernant Ecourt, qui seuls sont positifs.

L'étude de détail de la figure 3 avait pour but d'évaluer le rayon d'influence d'un griffon. Dans ce cas précis, on peut admettre 20 m ; mais sur des sources de plus faible débit, ce rayon peut devenir inférieur à 5 m, comme nous l'avons vérifié expérimentalement. Les courbes de la figure 3 montrent nettement l'influence des griffons sur la température. En général, ils ne sont visibles que par la chute de température dans la vase, et leur rayon d'influence est faible.

La figure 4 donne la situation géographique des griffons. Il n'a pas été possible jusqu'ici de faire des corrélations entre profils, et les griffons semblent, à l'échelle du travail, distribués au hasard. Sur l'étang d'Ecourt, nous avons dénombré 23 griffons pour 4.490 m de profils, soit 1 griffon pour 200 m.

Nous avons vu que le seul étang d'Ecourt avait donné un résultat positif. Le marais de Saudemont, qui est à l'amont de celui d'Ecourt, ayant un niveau piézométrique plus élevé de quelques centimètres que ce dernier, il est possible que la contre-pression sur la nappe soit suffisante pour annuler tout débit. Il semble donc que pour Saudemont les mesures aient été effectuées à une époque trop tardive.

4) Conclusion.

La mission, qui avait un caractère expérimental, peut être considérée comme un succès, puisque l'on peut déceler facilement sous un écran de vase les venues d'eau froide, et que l'on peut lever avec précision les isothermes autour d'un griffon. Il serait donc possible, si l'on envisageait un jour d'utiliser les étangs pour recharger la nappe de la craie, d'étudier par thermométrie les relations de la nappe souterraine et des étangs.

Séance du 4 Mai 1960

PRÉSIDENCE DE M. J. RICOUR, PRÉSIDENT

M. J. RICOUR remercie, au nom de la Société, les entreprises suivantes de leur aide financière :

Chartiez, Eaux et Forces, Electricité de France, Chambre Syndicale des Sondeurs, la Société Parisienne pour l'Industrie Electrique, la Société des Eaux de Dunkerque, la Société des Eaux du Nord, Meurisse, Société Auxiliaire de Distribution d'Eau, Société Nationale des Pétroles d'Aquitaine,

COMMUNICATIONS

**Origine et destinée des dépôts superficiels
du Plateau de Verdrel (Pas-de-Calais)**

par A. BONTE (1)

Sommaire. — Les dépôts superficiels du plateau du Verdrel, mis en place avant le rejeu au Tertiaire des failles épicrotaciées, ont alimenté la nappe de limons à silex qui couvre le glacis Nord de l'Artois.

A l'occasion des fouilles exécutées pour l'installation du mât de Bouvigny (station R.T.F.) dont la hauteur de 300,20 m nécessitait de solides ancrages, j'ai pu étudier en détail les formations superficielles qui couronnent l'axe de l'Artois au voisinage de son point culminant. J'ai été avisé de ces travaux par M. Mayeur, Secrétaire de la mairie de Bouvigny-Boyeffles, qui m'a alerté à plusieurs reprises et qui m'a fait profiter de toutes ses observations. Je suis heureux de l'en remercier en commençant.

Après avoir décrit sommairement ces fouilles, je tenterai d'interpréter les dépôts qu'elles ont traversés et d'en définir l'origine et la destination.

Les fouilles

Outre la fouille circulaire centrale destinée à recevoir l'assise de la rotule du mât (coordonnées Lambert (I), feuille de Béthune : $x = 622,30$; $x = 302,45$; alt. 184,79), 8 fouilles rectangulaires longues de 7 à 8 m et profondes de 3 à 4 m ont été exécutées pour l'ancrage des tirants.

FOUILLE CENTRALE. — Formations superficielles variées en paquets plus ou moins individualisés et glissés les uns sur les autres le long de surfaces gauches très irrégulières inclinées au Nord ou au Sud suivant les points.

Ces formations répondent à plusieurs types (1) :

(1) Professeur de Géologie appliquée à la Faculté des Sciences de Lille.

(1) Le terme limon est pris ici dans son sens cartographique de dépôt superficiel (résidu d'altération sur place, limon de pente, limon de lavage) et non pas dans le sens géographique de dépôt éolien.

1, limon jaune et brun ; 2, limon argileux rouge et jaune sans silex parcouru de fissures de glissement grises décolorées ; 3, limon noir et brun avec silex à croûte noire ; 4, limon sableux jaune et vert sans silex ; 5, limon argileux noir avec silex entiers à enduits noirs.

Ces différents aspects se rapportent aux dépôts englobés sous la dénomination de limons à silex ; ils ont été classés ici dans l'ordre d'éloignement décroissant par rapport à leur origine, le limon 4 provenant du remaniement de sables tertiaires, le limon 5 du remaniement d'une craie recouverte d'argile à silex proprement dite.

Sur les déblais de la fouille, j'ai ramassé plusieurs blocs de grès quartzite landénien, anguleux mais à arêtes émoussées et à surface vernissée ; et, en outre, deux galets de silex parfaitement roulés du type galets de Sinceny. Les mêmes grès en fragments émoussés et vernissés ont été recueillis en place dans les fouilles des bâtiments voisins, à 1 m 50 ou 2 m de profondeur, au milieu d'un limon rouge et jaune à petits éclats anguleux de silex complètement blanchis.

FOUILLE 1. — Profondeur 3 m, 10. Le substratum apparaît au fond de la fouille sous forme d'un mamelon crayeux arrondi recouvert d'une argile verte peu épaisse. Le tout surmonté par des limons variés : limon jaune sableux ; limon argileux brun ou bariolé jaune brun et rouge avec silex entiers noirs et nombreux petits éclats de silex blanchis.

Le lavage de l'argile verte donne un résidu constitué par des débris d'organismes silicifiés (prismes d'Inocérames, Foraminifères) abondants et des granules d'oxyde de fer et de manganèse. Elle représente un résidu de décalcification d'une craie marneuse, identique à celui qu'on retrouve au sommet des carrières de la Loïgne et probablement transporté.

Enfin, au contact de la craie, on peut observer un liseré d'argile noire à granules siliceux et limoniteux qui représente une argile à silex typique restée sur place.

FOUILLE 2. — Elle n'a traversé que des limons argileux à éclats de silex patinés et renfermant également des silex entiers et des blocs émoussés et vernissés de grès landéniens.

FOUILLE 3. — Partiellement éboulée lors de ma visite, elle montrait en surface un limon rouge et jaune sableux à fins débris anguleux de silex blanchis, reposant par une surface inclinée vers le Nord à 45° sur un limon avec silex à enduits noirs

qui surmontait lui-même, suivant une surface analogue, un limon apparemment crayeux. Ce dernier dépôt est constitué, en fait, par des fragments de craie, dont la texture apparaît parfois au centre mais tellement altérés qu'ils sont devenus très fragiles, et par des débris silicifiés associés à des granules d'oxyde de manganèse ; il s'agit donc d'un résidu de décalcification dans une argile noire.

FOUILLE 4. — Longueur 6 m, profondeur 2 m 50. Limon argileux brun à silex cassés et patinés blancs et blocs anguleux mais émoussés de grès landéniens à surface vernissée (0 m 40). Ils reposent par une surface inclinée à 45° environ, sur un limon argilo-sableux rouge et jaune à menus éclats de silex rares.

6 pieux ont été forés dans la fouille ; ils ont atteint une marne gris jaune verdâtre du Turonien moyen.

FOUILLE 5. — Longueur 7 à 8 m, profondeur 4 m. Mélange de limon jaune, de limon jaune et rouge et de limon à enduits noirs renfermant des silex cassés et patinés et aussi de très nombreux silex cornus entiers à enduits noirs intacts.

FOUILLE 6. — La fouille est creusée sur la moitié de sa hauteur au moins dans les marnes jaunes verdâtres du Turonien moyen. Au-dessus, suivant une surface légèrement inclinée vers l'Ouest, viennent des blocs crayeux enduits de dépôts limoneux ; le tout est recouvert par de la craie solifluée surmontée de limon.

FOUILLE 7. — Le fond de la fouille est constitué en majeure partie par une craie en bancs de 5 à 10 cm d'épaisseur, à gros silex cornus en lits, renfermant *Micraster leskei* (Turonien supérieur). En surface, cette craie présente des poches de dissolution à l'intérieur desquelles les lits de silex visibles dans la craie se poursuivent en continuité mais sont affaîssés. Le tout est recouvert par un limon rougeâtre à éclats de silex.

Latéralement, vers le Sud, la craie vient en contact avec un limon jaune rougeâtre renfermant peu de silex. Ce contact est très irrégulier, incliné tantôt vers la craie tantôt vers le limon, et semble dû en partie à la dissolution. Il est possible toutefois que ce contact soit accidentel car M. Mayeur a noté en ce point sur un croquis « galerie comblée » et il m'a confirmé la présence de telles galeries creusées par les cultivateurs à partir de puits pour marnage.

FOUILLE 8. — Cette fouille présente une superposition de limons variés, avec ou sans silex, qui sont de haut en bas :

- 1, limon bariolé rouge et jaune ;
- 2, lit de silex ;
- 3, limon brun noir à silex ;
- 4, limon bariolé rouge et jaune renfermant un amas de silex à enduits noirs ;
- 5, limon rouge vif.

Ces différents limons sont séparés par des surfaces inclinées vers l'Ouest et d'autant plus inclinées qu'elles sont plus profondes (20° entre 1 et 3, à 40° entre 4 et 5).

Les dépôts superficiels du plateau du Verdrel

Dans l'ensemble, le plateau du Verdrel est donc constitué par les marnes du Turonien moyen recouvertes par la craie à silex du Turonien supérieur qui se termine en biseau à l'aplomb de la crête. Les banes sont inclinés légèrement vers le SW.

Les terrains en place, altérés par dissolution (poches, résidus de décalcification), sont recouverts de limons de lavage variés formés aux dépens des dépôts préexistants (craie à silex, sables et grès landéniens, argile yprésienne avec galets de Sinceny, argile à silex proprement dite, etc...) dont ils conservent l'insoluble. Les descriptions antérieures font état de silex et de grès sans autre précision (1, p. 182) ; M. Pinchemel (1954, p. 110) signale des blocs de grès de grande taille sous une grande épaisseur d'argile rouge à silex.

L'analyse des éléments fins confirme l'origine de ces limons qui sont toujours extrêmement complexes. Les quartz anguleux, qui prédominent, proviennent du Landénien ainsi que les gros émoussés luisants plus ou moins cassés ; de nombreux éléments anguleux grisâtres résultent de la trituration de silex ; des micas blancs assez abondants sont originaires du Landénien ; ils sont parfois souillés d'hématite ainsi que de nombreux grains de quartz, mais le fond d'hématite qui colore les limons en rouge est toujours éliminé par lavage ; des granules opalins représentent des éléments silicifiés (prismes d'Inocérames, Foraminifères) en provenance de la craie et corrodés dans le limon ; la glauconie intacte est rare, mais elle est remplacée par des granules vert jaunâtre clair qui sont le résultat de son altération.

Ces limons, de types variés, ne sont pas stratifiés mais forment des paquets séparés par des surfaces de glissement lustrées et décolorées par réduction du fer. A l'intérieur de chaque paquet, le passage

d'un type à l'autre peut être progressif, il est toujours net d'un paquet à l'autre. Ceux-ci représentent donc des dépôts de pente remaniés par glissement et solifluxion (1). Leur situation au point culminant de la région pose un problème analogue à celui du Diluvium qui couronne toujours les hauteurs.

La provenance des dépôts du Verdrel et leur destination

Si du point de vue composition, l'origine de ces limons ne pose pas de problèmes sérieux, il n'en est pas de même du point de vue provenance géographique et mise en place.

La matière des limons, en effet, ne peut provenir que d'un point plus élevé. Or on se trouve au Verdrel en un des points culminants de l'Artois. La situation de ces limons est donc inexplicable dans l'état actuel de la topographie et il faut chercher comment dans le passé ces formations ont pu être mises en place.

Les grandes lignes tectoniques étant sensiblement Est-Ouest, il n'y a donc pas de raison de chercher ni à l'Est ni à l'Ouest ; au Sud, les couches sont normalement inclinées vers le centre du bassin. Il semble donc que l'origine des limons du Verdrel ne puisse être recherchée que vers le Nord où l'on sait que la structure comporte des effondrements importants, tel celui causé par la faille de Marqueffles qui introduit une dénivellation de l'ordre de 150 m.

Il faut dès lors admettre que les limons du Verdrel ont été mis en place avant le rejet épiérotacé de la faille de Marqueffles, à une époque où les sables verts et les grès landéniens de la plaine de Lens-Béthune dominaient le plateau de l'Artois. En conséquence, on doit choisir entre deux hypothèses :

1) ou les dépôts superficiels du Verdrel sont quaternaires et la faille de Marqueffles est très récente ;

(1) J'ai envisagé la possibilité de bouleversements artificiels : tranchées, trous de bombes, fourneaux de mines, bien que l'homogénéité d'ensemble et la compacité des dépôts s'y opposent. Renseignements pris auprès de M. Mayeur, il n'y a eu, au cours de la guerre 1914-1918, que quelques tranchées de repli jamais utilisées et situées à 500 m à l'Est. De toute façon, elles n'auraient pu justifier que les remaniements locaux, mais non la présence des éléments signalés.

2) ou les failles épicrotées datent de la fin de l'Eocène, comme il est généralement admis, et il faut admettre que les dépôts superficiels du Verdrel sont antérieurs à cette époque.

J'opte provisoirement pour cette deuxième hypothèse. Ainsi les dépôts superficiels du Verdrel seraient relativement anciens ; venus initialement du Nord, ils ont alimenté et continuent à alimenter les cours d'eau qui redescendent de l'Artois vers le Nord ; c'est par leur intermédiaire, et non pas directement, que le diluvium tire ses éléments des sédiments préexistants.

J'ai proposé il y a quelques années de voir dans le diluvium et le limon rouge à silex un dépôt compréhensif formé au cours du Tertiaire par le jeu de l'érosion s'exerçant sur des reliefs continuellement ravivés. Véritable dépôt de piedmont, lui-même continuellement remanié, il est particulièrement net en bordure de l'Artois et notamment au Sud-Ouest de Béthune, entre la Lawe et la Clarence. Les cailloutis du Bois des Dames forment une sorte de cône de déjection dont le substratum, constitué par les sables landéniens, passe de la cote + 90 à la cote + 50, entre Marles et Gosnay, sur une distance de 4 km environ, soit une pente de 1/100.

La faille de Marqueffles dans son contexte tectonique

J'ai parlé plus haut d'effondrement pour le rejeu de la faille de Marqueffles. Il faut bien préciser qu'il s'agit de mouvement relatif, car si les failles de ce type étaient bien des failles d'effondrement dans leur phase antécrotée (affaissement du compartiment Sud), le rejeu en sens inverse (affaissement du compartiment Nord), suivant la même surface, nécessite une composante horizontale non négligeable, ainsi que le fait très justement remarquer M. Bouroz (1956) qui conteste une relation directe entre la surrexion de l'Artois et l'affaissement de la plaine des Flandres.

Effectivement, des failles de rejet varié affectent le glaciaire Nord de l'Artois mais passent souvent inaperçues dans la monotonie de la plaine. Cependant, les Monts de Flandre, avec leur face Sud relativement abrupte par opposition à leur face Nord, semblent bien jalonner une faille importante à rejet Sud, que M. Waterlot (1957) a mise en

évidence par sondages dans la région de Bailleul. D'autres failles semblent se manifester dans la région de Saint-Omer et le long de la ceinture crétacique du Boulonnais.

Pour s'en tenir au méridien de Béthune, on voit donc que le passage du plateau artésien à la plaine des Flandres n'est pas simple mais qu'il existe une dépression tectonique comprise entre la crête de l'Artois d'une part, les Monts de Flandre d'autre part, et dont l'axe est occupé par la Lys dans la région de Merville. S'agit-il d'un fossé d'effondrement ou, au contraire, d'une zone stable encadrée de compartiments surélevés par poussée tangentielle ? Il est bien difficile de donner un sens absolu à ces déformations qui sont certainement complexes dans l'espace et dans le temps.

Outre son importance tectonique, cette question peut présenter un intérêt du point de vue hydrologique. En effet, si la dépression de la Lys est stable, son substratum crayeux n'a pratiquement jamais été au-dessus du niveau de la mer ; il est donc massif et dépourvu de perméabilité. Au contraire, si elle est effondrée, elle a pu autrefois être affectée par la dissolution superficielle et elle peut avoir conservé, le long des anciennes vallées, une perméabilité artificielle qui permettrait son exploitation comme ressource aquifère (Bonte, 1958).

BIBLIOGRAPHIE

- 1) Excursion extraordinaire faite à Bouvigny et Aix-Noulette le 21 juin 1908 sous la direction de Monsieur Gosselet. *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XXXVII, p. 180.
- 2) BONTE A. (1955). — Sur la signification du Diluvium de l'Artois. *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. LXXV, p. 160-173, 2 fig., pl. XI.
- 3) BONTE A. (1958). — Sur divers aspects de la circulation des eaux souterraines. Applications à la recherche de l'eau dans les calcaires. *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. LXXVIII, p. 183-198, 3 fig.
- 4) BOUROZ A. (1956). — Contribution à l'étude des Failles épicrotées de l'Artois. *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. LXXVI, p. 51-62, 3 fig., pl. IV-VI.
- 5) PINCHEMEL Ph. (1954). — *Les plaines de craie du Nord-Ouest du Bassin parisien*. Thèse Paris, 502 p. 49 fig., VI - XVI pl.
- 6) WATERLOT G. (1957). — Le toit des sables landéniens en Flandre, dans la région comprise entre Saint-Omer et Lille. Remarques sur la nature des sables et leur hydrologie. *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. LXXVII, p. 74-82, 1 fig.

Découverte d'un poisson dans l'Yprésien de Phalempin (Nord)

par C. CAVELIER (1)

(2 fig.)

Sommaire. — L'étude d'une carrière à Phalempin permet de préciser dans cette zone la composition de l'Yprésien. L'existence de plusieurs niveaux fossilifères, dont un a livré un poisson, a été constatée.

Situation géographique.

Phalempin, à mi-chemin entre Lille et Douai, possède, sur la route de Wahagnies, une importante tuilerie appartenant au Comptoir Tuilier du Nord (2).

La carrière ou « glaisière » alimentant cette usine est ouverte dans le Bois de Phalempin, à 500 m ENE environ de la tuilerie (coord. Lambert Nord 1: x = 649,40 ; y = 312,00, feuille Carvin 1-2 au 1/20.000).

Une petite sablière exploitant des sables « dégraisants », en fonction des besoins de l'usine est également ouverte au NE de la tuilerie.

Situation géologique.

Le sédiment utilisé à Phalempin, pour la confection des tuiles, est l'Argile bleue d'Orchies (Argile des Flandres inférieure). Cette argile, d'après la feuille géologique au 1/80.000 (Douai n° 8), constitue la totalité d'un mamelon compris entre les communes de : Phalempin, Attiches, Tourmignies, Thumeries. C'est dans cette zone qu'est ouverte la « glaisière » du Bois de Phalempin.

L'argile bleue d'Orchies repose sur des sables verts, parfois blancs ou roux, reconnus par un sondage au fond de l'exploitation d'argile, les Sables d'Ostricourt.

Ces sables ont, dans ce secteur, une bonne dizaine de mètres d'épaisseur. Ils reposent sur un complexe argilo-tuffacé (Argile de Louvil et Tuffeau de Valenciennes) qui forme la base de la série tertiaire de la région.

Notons également que les points hauts du pays sont constitués par des buttes sableuses (Sables de Mons-en-Pévèle), ayant pour substratum l'Argile d'Orchies.

La correspondance des termes locaux avec la série classique de l'Éocène inférieur du Bassin de Paris a été revue récemment par L. Feugueur (1) :

Sables de Mons-en-Pévèle	= Cuisien (pars)	} Yprésien
Argile d'Orchies	= Sparnacien	
Sables d'Ostricourt	} = Thanétien	
Argile de Louvil et Tuffeau de Valenciennes		

Terrains visibles dans la « glaisière » du Bois de Phalempin.

On y distingue essentiellement trois ensembles :

— la partie supérieure non exploitée, ou toit de l'exploitation (découverte) ;

— la partie inférieure exploitée (substance utile) ;

— le substratum ou mur de l'exploitation (non visible dans l'exploitation).

a) LA DÉCOUVERTE.

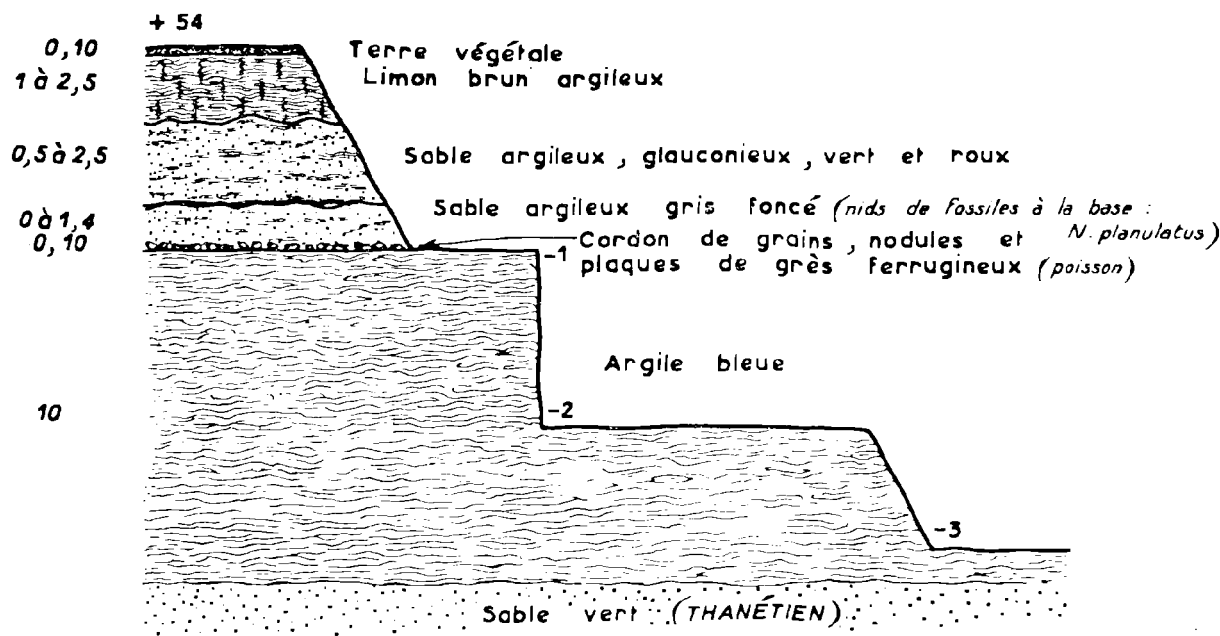
Elle a été étudiée au point où elle présentait une épaisseur maximum ; de haut en bas, on rencontre successivement :

1) *Terre végétale* très noire (sol forestier), généralement très peu épaisse (0,10 m en moyenne) ; vers la base, il y a passage progressif au terme suivant.

(1) Bureau de Recherches Géologiques et Minières.

(2) auquel j'adresse tous mes remerciements pour l'autorisation de publier cette note.

(1) L. Feugueur. — *L'Yprésien du Bassin de Paris*. (Thèse). A paraître dans les Mémoires du Service de la Carte Géologique de France.



Coupe schématique de la « glaisière » du Bois de Phalempin.

2) *Limon brun argilo-sableux*. Ce limon ne paraît pas avoir une origine éolienne, il est plutôt attribuable à une formation de pente. Son épaisseur est variable (de 1 à 2,50 m environ). Vers la base, il se développe irrégulièrement au dépens du terme suivant et se charge en sable.

3) *Sable argileux glauconieux vert et roux*, d'épaisseur variable (en raison inverse de celle du terme supérieur : de 0,50 à 2,50 m). Ces sables ne paraissent pas en place et sont intimement liés au limon de pente. Ils proviennent vraisemblablement d'une assise sableuse démantelée, qui couronnait la butte. Dans la carrière, ils n'ont pas livré de fossiles, mais dans la région, des sondages de reconnaissance qui les ont rencontrés constamment, ont montré qu'ils contenaient quelquefois *Nummulites planulatus* en abondance. Ils dérivent donc, très vraisemblablement des Sables de Mons-en-Pévèle. Ce sont eux qui sont exploités dans la sablière de la tuilerie où ils reposent sur les Sables d'Ostricourt.

4) *Sable argileux gris foncé*. Cette couche n'est visible que dans le découvert de la partie SE de la carrière, là où il est le plus important. Elle est très riche en eau et donc très difficile à étudier. Pour faciliter l'exploitation, cette eau qui s'écoule dans les parties basses de la carrière est épuisée par

pompage et refoulée vers l'usine. Vers la base, 0,30 m environ au-dessus de l'argile, une bonne coupe due à un éboulement local très récent m'a montré des « nids de fossiles » essentiellement constitués de *Nummulites planulatus* avec *Ostrea sp.*, *Serpula sp.* et dents de squales.

Il semble que cette formation, contrairement à celle qui la surmonte, soit en place ; en effet, en certains points, elle apparaît comme « ravinée » par les sables supérieurs. Ces « ravinements », qui se présentent sur le front de taille sous forme de cuvettes remplies de sable glauconieux vert et roux, pouvant atteindre l'argile, sont vraisemblablement des sections de chenaux de solifluxion. Cette assise est évidemment attribuable à la base des Sables de Mons-en-Pévèle. Son épaisseur varie de 0 à 1,40 m.

5) *Cordon de nodules et plaques de grès ferrugineux*. La formation précédente est rarement en contact direct avec l'argile bleue. On rencontre généralement, entre les deux formations, un petit lit irrégulier de nodules qui apparaît comme un cordon de base transgressif. Il est essentiellement composé de septarias empruntés à l'argile sous-jacente. Après lavage, l'un de ces septarias s'est révélé contenir un poisson indéterminé (photo). Certains de ces nodules qui, ici, sont généralement

petits, contiennent des débris de fossiles ; en particulier, l'un d'eux a livré un moule interne de gastéropode indéterminable. Avec les septarias, on rencontre des petits silex noirs émoussés et des fragments de grès ferrugineux très émoussés (fréquents).

En certains points, le cordon de base est remplacé par des plaquettes de grès très ferrugineux qui peuvent également être remaniées de l'argile inférieure. Si l'on devait les considérer comme en place, il faudrait vraisemblablement y voir les traces d'une période d'érosion entre la fin du dépôt de l'argile d'Orchies et la transgression des Sables de Mons-en-Pévèle (?).

b) LA SUBSTANCE UTILE.

6) *Argile plastique bleue*. Cette assise paraît remarquablement homogène. Aucun macro-fossile

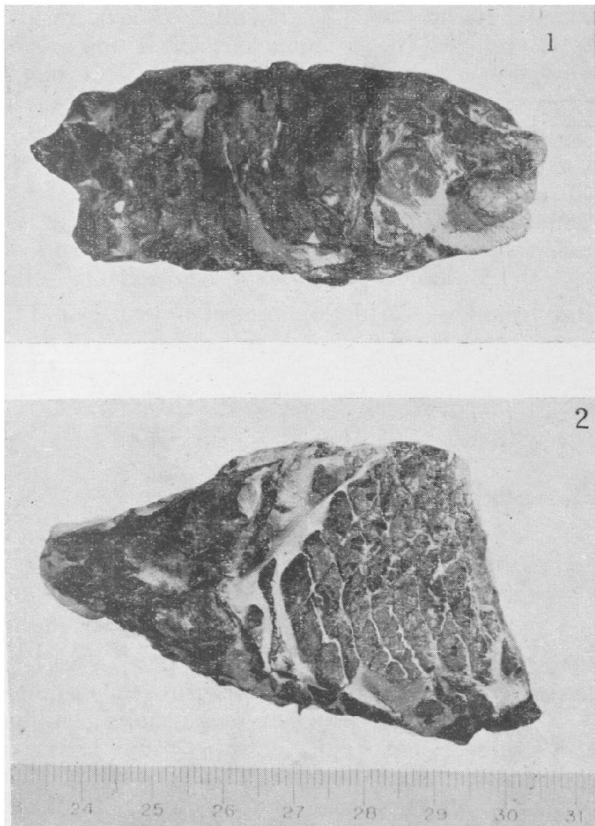


FIG. 1. — *Poisson de profil.*

FIG. 2. — *Poisson face ventrale.*

Provenance : Cordon de base des Sables de Mons-en-Pévèle. Glaisière du Bois de Phalempin (Nord).

n'y a été rencontré ; seuls quelques septarias (rares) en rompent l'unité. Mme Y. Le Calvez, qui a examiné les résidus de lavage de 3 échantillons prélevés à la partie supérieure, au milieu et à la base du front de l'exploitation, a constaté que les deux premiers (haut et milieu) donnaient un résidu très peu abondant (sable quartzeux, débris végétaux pyritisés avec un foraminifère : *Ammodiscus incertus* d'Orb.). L'échantillon prélevé vers la base donne un résidu un peu plus abondant : sable quartzeux et débris végétaux pyritisés et surtout de nombreux foraminifères ; la faune est uniquement arénacée, ce qui correspond à un milieu très pauvre en Co_3Ca , ou même acide, pauvre en espèces mais riche en individus :

Ammobaculites sp.

Ammodiscus incertus d'Orb.

Reophax sp.

Haplophragmoïdes excavata Cuschm et Waters

Textularia cf. *thanetana* Lalicker.

L'argile bleue, par son faciès, représente typiquement l'Argile d'Orchies (ou Argile des Flandres inférieure), équivalent latéral marin du Sparnacien saumâtre ou continental du Bassin de Paris (L. Feugueur loc. cit.). L'épaisseur d'argile exploitée ici (la quasi totalité de l'assise) est d'environ 10 m.

Une analyse chimique de cette argile communiquée au B.R.G.M. par le Comptoir Tuilier du Nord, a indiqué :

Perte au feu	5,31
Silice totale (SiO_2)	63,17
Alumine (Al_2O_3)	19,21
Oxyde de titane (TiO_2)	1,16
Oxyde de fer (Fe_2O_3)	5,51
Chaux (CaO)	0,70
Magnésie (MgO)	1,22
Soude (Na_2O)	3,51
Total :	99,79

c) LE SUBSTRATUM.

7) *Sable vert*. Cette assise n'est pas visible dans la glaisière ; elle a été reconnue cependant au mur de l'argile au moyen d'un sondage à la tarière. Il s'agit évidemment des Sables d'Ostricourt avec, ici, leur couleur typique.

En conclusion, on peut distinguer dans l'exploitation du Bois de Phalempin, les termes suivants de haut en bas :

Terre végétale	}	Quaternaire	}	Yprésien	
Limon de pente		Cuisien remanié			
Sable argileux glauconieux vert et roux	}	Base du Cuisien			
Sable argileux gris foncé à <i>N. planulatus</i>		Sparnacien			
Cordon de nodules et plaques de grès ferrugineux		Thanétien (pars)			
Argile bleue					
Sable vert					

Les faits nouveaux signalés ici sont, sur le plan de la stratigraphie : l'existence de la base des Sables de Mons-en-Pévèle, très probablement en place, dans le Bois de Phalempin. Sur le plan paléontologique, la présence d'une faune caractéristique du Cuisien à l'extrême base des Sables de Mons-en-Pévèle, d'un poisson probablement remanié de l'Argile d'Orchies dans le cordon de base transgressif des mêmes sables, et d'une petite faune de foraminifères dans l'Argile d'Orchies.

LA VIE DE LA SOCIÉTÉ

Conférence

La Société Géologique du Nord a eu le plaisir de recevoir, le mardi 10 mai 1960, M. Haroun TAZIEFF. La conférence, portant sur les résultats de l'expédition du Centre National de Vulcanologie

de Belgique au Lac de Lave du volcan Niragongo, était accompagnée d'un remarquable film en couleur que M. Tazieff nous commenta avec beaucoup d'humour.

Colloque sur les problèmes de la nappe de la craie

Ce colloque, organisé par M. Ricour, en collaboration avec le B.R.G.M. et l'Association internationale des Hydrogéologues, a eu lieu les 20 et 21 mai 1960. Il a réuni une soixantaine de spécialistes sous la présidence de M. Fourmarier.

La première journée de travail a eu lieu à Douai, à l'École technique des Mines, et fut consacrée à l'étude du réservoir et à la dynamique de la nappe. Ces sujets nous permirent d'entendre des communications de MM. Polvéche, Megnien, Levêque, Montagne, Marlière, G. Waterlot et Berkaloff.

Les séances de la seconde journée se tinrent dans

la salle de la Société Géologique du Nord.

La matinée, dont le thème était l'étude du coefficient d'infiltration, fut consacrée à des communications de MM. Sanzot, Castany, Berkaloff, Bonte, Ricour et Karpoff.

L'après-midi fut réservé à l'étude de la chimie de l'eau du Crétacé grâce aux communications de MM. Kimpe, Waterlot et Bogomolov.

Les travaux de ce colloque feront l'objet d'un fascicule spécial des *Annales de la Société Géologique du Nord*.

Séance extraordinaire du 22 Mai 1960

Cette séance, organisée par M. J. Ricour, président de la Société Géologique du Nord, fut placée, elle aussi, sous le signe de l'hydrogéologie.

Les participants ont pu visiter la Station de Pompage des Ansereuilles qui alimente en eau la banlieue lilloise. Après l'exposé géologique de M. G. Waterlot sur le « piège à eau » que constitue cette zone, M. Fourneau, Directeur de la Société des Eaux du Nord, fit un exposé technique du plus haut intérêt.

M. Korner, Directeur de la IV^e Région d'équi-

pement thermique, nous fit ensuite visiter la Centrale thermique de l'E.D.F. aux Ansereuilles avant de nous convier à un vin d'honneur.

L'excursion se dirigea ensuite vers Saint-Amand pour y déjeuner. A la fin du repas, M. Ricour retraça brièvement la Vie de la Société depuis la dernière réunion extraordinaire. M. le Professeur Waterlot exposa ensuite les particularités géologiques du gisement hydrothermal de Saint-Amand.

La séance extraordinaire se termina par la visite de l'Établissement Thermal.

Séance du 8 Juin 1960

PRÉSIDENCE DE M. J. RICOUR, PRÉSIDENT

Sont élus membres de la Société :

M. BEAUMONT Claude, Directeur scientifique du B.R.G.M. (présenté par MM. Castany et Ricour).

M. CAVELIER, Technicien géologue au B.R.G.M. (présenté par MM. Lienhardt et Ricour).

M. KARPOFF Roman, Ingénieur géologue, Chemin de la Briqueterie, Bougival (St-et-O.)
(présenté par MM. R. Leroux et Ricour).

Chambre de Commerce de Douai,

Chambre de Commerce de Dunkerque,

Chambre de Commerce de Tourecoing
(présentées par MM. Ricour et M. Waterlot).

M. MINOT Alain, 48, rue du Jeu de Battoir, Saint-Quentin (présenté par MM. Ricour et M. Waterlot).

M. ARENTS, 278, rue Nationale, Lille (présenté par MM. Paquet et M. Waterlot).

La structure du paléozoïque du Nord de la France au Sud de la Grande Faille du Midi

par A. BOURROZ (*)

(Pl. VIII, 3 fig.)

Sommaire. — Des sondages récents permettent de préciser les grandes lignes structurales et les limites de l'unité paléogéographique constituée par le synclinorium de Dinant en France. Les terrains les plus récents, repris dans la tectonique hercynienne et connus à ce jour, sont constitués par des dépôts namuriens. Les dépôts permieniens sont peu inclinés et bordurent le synclinorium au Sud. Des intrusions et des épanchements éruptifs ont été découverts à l'intérieur du synclinorium ; les épanchements sont vraisemblablement permieniens.

Le paléozoïque du Nord de la France est divisé en deux régions nettement séparées par l'accident tectonique majeur qu'est la Grande Faille du Midi. De part et d'autre de cet accident, les déformations présentent des styles très différents : nombreuses ruptures cisaillantes avec déplacements horizontaux importants dans le synclinorium de Namur au Nord (en particulier dans le bassin houiller où elles sont maintenant bien connues), plissements accentués et nombreux mais généralement sans rupture importante dans le synclinorium de Dinant au Sud.

Ces allures sont évidentes en Belgique où le paléozoïque du synclinorium de Dinant affleure sur toute son étendue (1), mais lorsqu'il rentre en France il se recouvre rapidement d'un manteau de Jurassique et de Crétacé, et ce n'est qu'entre la frontière et la région de Maubeuge-Avesnes-Trélon qu'on peut l'observer en surface (2).

Les grandes lignes structurales des régions situées entre Avesnes et la côte de la Manche peuvent être actuellement précisées à la lumière des renseignements nouveaux acquis grâce à quelques sondages récents creusés de 1954 à 1959.

1) La bordure nord du synclinorium de Dinant.

Cette bordure a une structure que l'on connaît avec une précision plus ou moins grande suivant les régions. A l'extrémité Ouest, quelques vieux sondages donnent des renseignements précis : le

sondage de Wirwignes a recoupé du Silurien bien daté penté à 40°, de la cote — 240 à la cote — 480 (3) comprenant en particulier l'homologue du calcaire de Liévin (Ludlow moyen) avec de nombreux exemplaires de *Daya navicula* SOWERBY (4) notamment vers 441 m. Le sondage du Waast (3) a recoupé des schistes siluriens de + 6 à — 106, puis des psammites rouges du Devonien supérieur jusqu'à — 112 ; on a donc là un point précis du passage de la Grande Faille du Midi (à la cote — 106). D'autres sondages de la région ont aussi recoupé le Silurien : au Pas-de-Gay (Wimille), à Bournonville et à Menneville (5). Dans la même région, un peu plus au Sud, au sondage de Samer, GOSSELET a signalé du Gedinnien (schiste rouge et vert) de — 134 à — 152 (6).

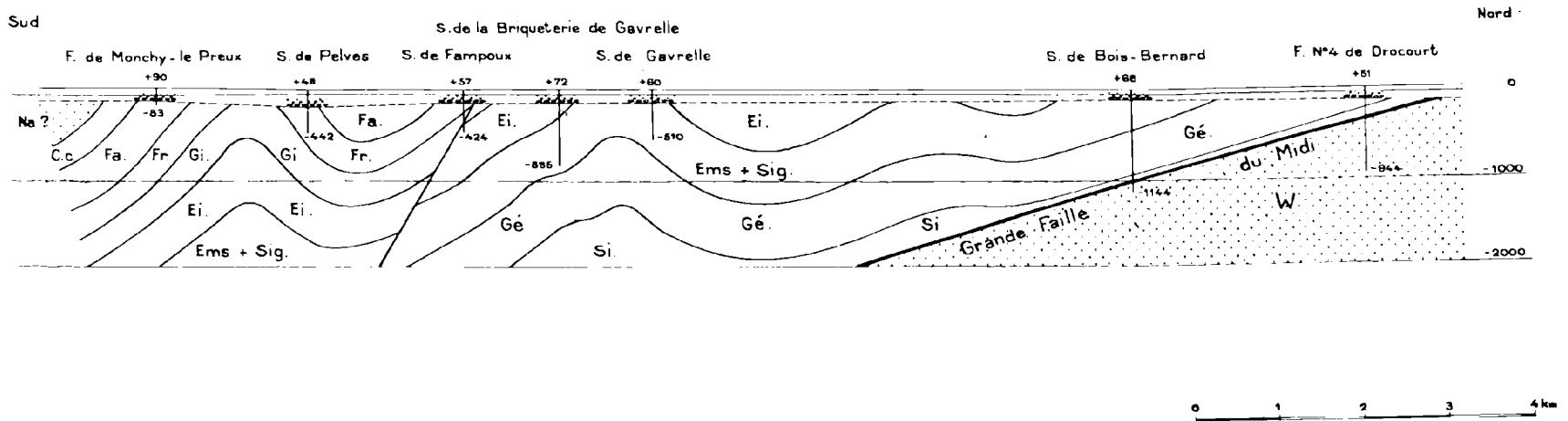
Plus à l'Est, le bord Nord du synclinorium de Dinant est jalonné par les affleurements siegéniens de Dennebrœucq-Matringhem, de Pernes et de Bouvigny, puis on rentre dans la zone bordurant le bassin houiller du Pas-de-Calais et du Nord où la Grande Faille du Midi est très bien connue par puits (7) et sondages (8) (9).

On remarquera, sur la carte de la Pl. VIII, que la bande de Silurien supérieur qui borde le synclinorium de Dinant au Nord est discontinue. Ce Silurien, là où il est connu, est toujours, en France, concordant sous le Gedinnien, mais l'action de la Grande Faille du Midi a pu le faire localement disparaître.

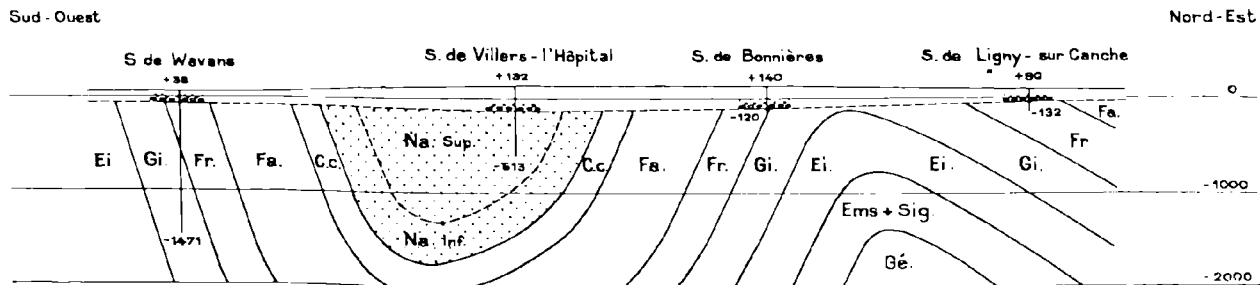
La région NNE d'Arras ayant fait l'objet d'une prospection systématique en 1909-1913 par sondages carottés, les renseignements obtenus permettent de

(*) Chef des Services Géologiques des H.B.N.P.C.

Coupe 1



Coupe 2



Légende

W.	Westphalien
Na.	Namurien
C.c.	Calcaire carb.
Fa.	Famennien
Fr.	Frasnien
Gi.	Givétien
Ei.	Eifélien
Ems.	Emsien
Sig.	Siegénien
Gé.	Gédinnien
Si.	Silurien

FIG. 1. — Coupes transversales partielles dans le synclinorium de Dinant.

construire une coupe transversale Nord-Sud très suggestive de la structure du bord Nord du synclinorium (voir coupe 1, fig. 1). Ce qu'il faut retenir essentiellement de ces puits ou sondages, dont les terrains recoupés ont été, en général, très bien datés grâce à une faune abondante (10), c'est que les pentes constatées sont extrêmement variables.

Au Nord, les puits de mines (7) donnent, dans le Gedinnien et le Silurien, des pentes régulières vers le Sud, de 25 à 30°, notamment le puits 4 de Drocourt (commune de Méricourt) qui figure sur la coupe 1; le sondage de Bois-Bernard présente aussi des pentes régulières de 27 à 30° dans le Siegenien, le Gedinnien et le Silurien supérieur. Plus au Sud, le sondage de Gavrelle donne des pentes variables de 45 à 60° dans le Gedinnien, celui de la briqueterie de Gavrelle des pentes alternant entre 45 et 80° dans l'Eifélien et l'Emsien, celui de Rœux des pentes de 25 à 45° dans le Frasnien, le Givétien et la tête de l'Eifélien, celui de Pelves des pentes variant de 50 à 75° dans le Frasnien; enfin, dans le travers-banc Sud du vieux puits de Monchy-le-Preux, les psammites gris du Famennien pendant à 65° vers le Sud (11).

On est donc en présence d'un Dévonien fortement plissé dont la coupe 1 donne une allure générale tenant compte des pendages observés sur carottes sans prétendre à l'exactitude dans le détail, les pendages dans les sondages n'ayant pas fait l'objet de mesures d'orientation.

De même, plus à l'Est, à la frontière belge, la coupe classique de la vallée de l'Hogneau montre, en affleurement, une série complète de l'Emsien au Famennien, très fortement pentée au Sud avec un pli marqué dans les calcaires du Givétien.

2) Régions centrales du synclinorium de Dinant.

A l'Est, dans la région d'Avesnes, les affleurements de Famennien, de Dinantien et de Namurien montrent des plissements accentués. A. CARPENTIER (2) y avait distingué cinq bandes synclinales principales, plissotées dans le détail et dont deux contenant du Namurien (voir Pl. VIII); la bande Nord présente une direction Ouest, 9° Sud, cette direction variant dans les bandes suivantes jusqu'à atteindre une direction Ouest, 23° Sud pour la bande Sud. Il y a donc un élargissement en éventail vers l'WSW des diverses bandes du synclinorium. Ces directions sont varisques et grossièrement parallèles à l'axe de l'anticlinal cambrien de Roeroi.

A l'Ouest d'Avesnes, les recouvrements secondaires ne permettent plus l'observation directe, mais les sondages récents effectués par le Service Géologique des Houillères du Bassin du Nord-Pas-de-Calais en 1954-1959, notamment autour de Doullens,

permettent de se faire une idée précise de la composition et des directions tectoniques du synclinorium dans cette région.

L'implantation du premier sondage de recherche d'un synclinal houiller dans une région aussi vaste et aussi mal connue était assez difficile: pour la réaliser, nous avons d'abord éliminé la région Est du synclinorium, plus resserrée, et où les anciens sondages, assez nombreux, étaient tous négatifs. Dans la région retenue, à l'Ouest, nous avons tenu compte des rares sondages connus à l'époque et dont l'interprétation ne prêtait pas à discussion (Amiens, Merlimont, Paris-Plage, Saigneville, Péronne) en laissant de côté ceux dont l'interprétation nous paraissait douteuse (Gouy et Bihucourt) (*); à partir de ces données, nous avons fait deux hypothèses: 1° à l'Ouest du méridien de Douai, il était probable que, dans le synclinorium de Dinant, les directions tectoniques devaient être armoricaines et qu'il était possible sinon probable que le Gedinnien d'Amiens d'une part et celui de Merlimont - Paris-Plage d'autre part devaient jalonner une crête anticlinale; le houiller était donc à chercher au NE ou au SW de la crête anticlinale supposée, à une distance supérieure à l'épaisseur des terrains devoniens et dinantiens, compte tenu des pendages moyens; nous avons opté pour le NE pour rester dans le synclinorium de Dinant et éviter les profondeurs probablement plus grandes du Nord du bassin de Paris; 2° la deuxième hypothèse, plus hasardeuse, consistait à admettre que les axes synclinaux transversaux du synclinorium de Namur (bassin houiller) se prolongeaient vers le Sud, dans le synclinorium de Dinant: le prolongement du synclinal transversal de la région Bruay-Béthune intersectait la parallèle à l'anticlinal gedinnien un peu au Nord de la vallée de l'Authie entre Doullens et Auxi-le-Château. Pour des raisons de commodités locales, le premier sondage fut implanté à Wavans. Nous donnerons ci-après les résultats des sondages dans leur ordre géographique d'Ouest en Est et non dans leur ordre de creusement, lequel était fonction des résultats successivement acquis: c'est ainsi qu'après orientation des pendages dans le Frasnien du premier sondage, à Wavans, et compte tenu des épaisseurs probables du Famennien et du Dinantien, le deuxième sondage fut implanté à Villers-l'Hôpital; il rencontra effectivement du houiller.

(*) La « roche siliceuse très dure » signalée par GOSSELET à Bihucourt, pourrait être plus vraisemblablement un phanite dinantien, plutôt qu'un grès famennien. Quant à Gouy, voir (16), p. 92.

Les terrains recoupés par les sondages sont les suivants (*):

SONDAGE DE WAVANS (P.-de-C.). — $x = 588\ 918$; $y = 279\ 195$; $z = + 37,8$ (Lambert Nord, zone 1).

Jusqu'à 8 m, argile crayeuse à silex, de 8 à 63 Turonien, de 63 à 134 Cénomaniens, de 134 à 173,50 Albien, de 173,50 à 174 Callovien, de 174 à 229 Bathonien.

De 229 à 320 m, le sondage a recoupé le Frasnien sous faciès de schistes verdâtres (schistes de Matagne) inclinés de 65 à 90°, de 320 à 650 m du Frasnien calcaire avec pendages très variables entre 30 et 75°. Faune classique à *Buchiola palmata* GOLDF. dans les schistes, *Cyrtospirifer Verneuili* MURCH., *C. orbelianus* ABICH. et *C. aff. seminoides* VERN. dans les schistes et les calcaires. Il faut y ajouter une très grande variété de coralliaires et de bryozoaires dans les calcaires. Ces derniers présentaient des teintes variées : noir, gris, rose ou rouge. De 650 à 1509 m, la sonde a recoupé des calcaires gris brun ou noir, exceptionnellement schisteux, à coralliaires très abondants et quelques exemplaires bien conservés de *Stringocephalus Burtini* DEFR. Les pentes variaient entre 25 et 80°.

Dans le Frasnien, une roche éruptive blanchâtre intrusive, donc post-frasnienne, très altérée, a été recoupée entre 440,35 et 446,10, 446,35 et 447,20 et 460,05 et 460,75 (12). L'ensemble des calcaires frasnien et givetien, bien que fracturé par place, ne présente pas de faille à rejet important.

SONDAGE DE BOFFLES (P.-de-C.). — $x = 589\ 664$; $y = 284\ 531$; $z = + 132,2$.

De 0 à 1,50 argile jaune, de 1,50 à 7,50 argile rouge (sidérolithique), de 7,50 à 195,50 Turonien et Cénomaniens, de 195,50 à 220 Albien, de 220 à 266,90 Bathonien.

A partir de 266,90 et jusqu'à 269,60 calcaire noir à *Pustula rugata* PHILL. et de 269,60 à 278,70 calcschistes noirs à *Spirifer tornacensis* DE KONINCK et de nombreux autres brachiopodes : à signaler également une conodonte : *Siphonodella quadruplicata* BRANSON et MEHL. On est donc en présence du Tournaisien ; les terrains étaient subverticaux.

SONDAGE DE LIGNY-SUR-CANCHE (P.-de-C.). — $x = 594\ 478$; $y = 286\ 396$; $z = + 90,2$.

De 0 à 0,30 argile, de 0,30 à 0,45 lits de silex, de 0,45 à 2 argile crayeuse à silex, de 2 à 152,50 Turonien et

Cénomaniens, de 152,50 à 160,80 Albien, de 160,90 à 180,60 Bathonien.

De 180,60 à 222 m, schiste gris verdâtre penté à 25° contenant en abondance *Cyrtospirifer Verneuili* MURCH., *C. aff. seminoides* ABICH., *Douvillina asella* M.V.K. avec de nombreux articles d'encrines et des polypiers. On est donc en présence du Frasnien.

SONDAGE DE BONNIERES (P.-de-C.). — $x = 593\ 634$; $y = 283\ 528$; $z = + 140,2$.

De 0 à 3,25 argile, de 3,25 à 8,75 argile rouge à silex (sidérolithique), de 8,75 à 201 Turonien-Cénomaniens, de 201 à 218 Albien, de 218 à 251,50 Bathonien.

De 251,50 à 260,30 calcaire massif gris noir à lits de fossiles pentés à 55°, contenant *Hexagonaria e.g. hexagona* GOLDF. (voisin de *H. quadrigemina antiqua* MEEK) et *Grypophyllum e.g. isactis* FRECH ; on est donc en présence d'un calcaire Frasnien ou Givetien ; son faciès tendrait à lui assigner plutôt un âge Givetien.

SONDAGE DE VILLERS-L'HOPITAL (P.-de-C.). — $x = 591\ 896$; $y = 281\ 479$; $z = 131,8$.

De 0 à 1,35 argile, de 1,35 à 3 sidérolithique, de 3 à 176 Turonien-Cénomaniens, de 176 à 206,30 Albien, de 206,30 à 258,25 Bathonien.

De 258,25 à 745,40 terrain houiller appartenant au Namurien, sous-zone R₁. Les terrains présentent les alternances classiques de faciès marins et continentaux dans les schistes et les schistes gréseux. Les bancs de grès francs sont très peu nombreux. La faune marine comporte d'abord des goniatites qui permettent de donner un âge très précis à la formation : à 421,95, à 429,10 et 435, *Homoceras demaneti* BOUCKAERT et HODSON, à 422,60 *Homoceras Henkci* SCHMIDT et à 426 *Homoceras varicatum* SCHMIDT. Ces trois espèces appartiennent à la base de la zone R₁ du Namurien, soit au Kinderscoutien inférieur des géologues anglais. Le reste de la faune marine est banal : lamellibranches, brachiopodes, gastéropodes, poissons et *Planolites*.

La flore est celle de l'assise de Flines du Bassin du Nord-Pas-de-Calais : *P. aspera* BRONGNIART, *N. Schlehani* STUR, *M. mosana* WILLIÈRE, *Sph. hollandica* GOTHAN et JONGMANS et des Sphénophyllées, Calamariées et Lépidophytes.

Entre 486 et 487 m, on a un niveau à faune d'eau douce : *Anthracocauta minima* LUDWIG et *Sansibella sulcata* ROUNDY, surmontant une veine de houille en plusieurs sillons dont l'épaisseur est de 0,80 m.

(*) Qu'il nous soit permis de remercier ici tous les géologues qui ont bien voulu nous faire profiter de leur expérience dans les déterminations des échantillons recueillis : le Crétacé a été étudié par M. POLVÈCHE, Chef de Travaux de Géologie à l'Université de Lille, la microfaune du sondage de Wavans par M. MARIE, géologue au B.R.G.M., le Jurassique par M. A. BONTE, Professeur de Géologie à l'Université de Lille. Nous n'en donnerons pas le détail, les auteurs des déterminations devant en assurer eux-mêmes la publication.

En ce qui concerne le paléozoïque, la faune dévonienne a été déterminée par Mlle D. LE MAÎTRE, Professeur à

la Faculté Libre des Sciences de Lille, celle du Dinantien par Mgr DELÉPINE, Recteur honoraire de l'Université Libre de Lille, membre de l'Institut, la flore houillère avec le concours de M. COUSIN, Professeur de Paléobotanique à la Faculté des Sciences de Lille, membre correspondant de l'Institut, les goniatites du Namurien par M. le Dr HODSON, de l'Université de Southampton et M. le Dr BOUCKAERT, du Service Géologique de Belgique, la microfaune du paléozoïque par M. LYS et M^r SERRE, de l'Institut Français du Pétrole ; enfin, M. F. LEGRAND, du service géologique des H.B.N.P.C., nous a constamment aidé dans le débitage et l'étude des carottes de tous les sondages récents.

Cette veine se situe à environ 50 m en distance normale sous le niveau à *H. Henkei* ; si l'on tient compte de la présence de bancs calcaires à 456 m et d'une zone à sols de végétation de 487 à 512 m, on constate un parallélisme évident avec la série stratigraphique qui entoure la veine St-Georges du Bassin du Nord-Pas-de-Calais, sans toutefois qu'on puisse assimiler les deux veines entre elles.

Les caractéristiques de la houille de Villers-l'Hôpital sont les suivantes : matières volatiles 17,8 %, cendres 11,5 %, indice de gonflement 3 1/2. On voit donc que, contrairement à ce que l'on constate dans le synclinorium de Dinant en Belgique où l'on ne trouve que des houilles maigres, on a ici de la houille demi-grasse. Plusieurs sols de végétation à *stigmaria* et radicelles perforantes ont été recoupés vers 444, 448, 487, 506 et 512 m.

Les pentes constatées variaient de 75° à la tête du houiller à 25° vers le milieu du sondage et à 45° vers la base. Les terrains étaient en général réguliers sauf vers la base du sondage où ils étaient affectés de cassures accompagnées de formation de petits plis en chaise.

SONDAGE DE BARLY (Somme). — x = 595 867 ; y = 278 449 ; z = - 78,7.

De 0 à 0,10 argile, de 0,10 à 2,40 argile jaune à très nombreux silex, de 2,40 à 3,35 argile gris jaunâtre légèrement sableuse, de 3,35 à 127 Turonien-Cénomaniens, de 127 à 164,40 Albien, de 164,40 à 217,35 Bathonien.

De 217,35 à 845,80 terrain houiller appartenant au Namurien, sous-zone R₁. Les goniatites recueillies sont très nombreuses mais peu d'entre elles sont déterminables spécifiquement : à 386, à 537,70, à 539,65, à 541,32 et à 548,65 on a recueilli *Homoceras striolatum* PHILLIPS ; à 539,72, à 706,90 et à 710,35 *Reticuloceras sp.* ; à 704,85 *Homoceratoïdes sp.* ; enfin, et c'est le plus important : dans des nodules calcaires, on a des échantillons en rond-bosse très bien conservés, à 710,30 et à 712,30 des espèces suivantes : *Reticuloceras aff. Moorei* BISAT et HUDSON et *Reticuloceras aff. nodosum* BISAT et HUDSON. Ces deux dernières espèces caractérisent le milieu de la sous-zone R₁, c'est-à-dire le Kinderscoutien moyen (les échantillons ne sont pas rigoureusement conformes, mais doivent être rapportés sans hésitation aux espèces types).

Au-dessus de ce niveau, les *Homoceras striolatum* trouvés de 386 à 548,65 accompagnés de nombreux *Reticuloceras sp.* semblent indiquer qu'en est en présence du niveau à *Reticuloceras reticulatum s.s.*, c'est-à-dire du Kinderscoutien supérieur, car on rencontre très fréquemment en abondance *H. striolatum* à ce niveau (*).

Le houiller de Barly diffère de celui de Villers-l'Hôpital par une proportion plus grande de grès (et en bancs plus épais) et concurrentement, par une fréquence plus grande de sols de végétation typiques à gros *stigmaria* et de dépôts de houille ; cette variation concorde, comme partout ailleurs, avec le fait qu'on se trouve, à Barly, en position stratigraphique plus élevée qu'à Villers-l'Hôpital. On s'y trouve aussi plus près du cœur du

(*) D'après M. J. CHALARD, géologue au Groupe de Valenciennes des Houillères, dont l'étude sur les goniatites du Bassin Houiller du Nord de la France est le premier travail d'ensemble ayant paru sur la question (23).

synclinal houiller car les pentes y sont en moyenne plus fortes : des inversions de pente autour de la verticale se constatent à 219, 285, 308, 325, 338, 361, 403, 449, 478, 532 et 739 m de profondeur ; c'est ce qui explique d'ailleurs que, sur près de 630 m de sondage, on n'ait recoupé que deux subdivisions de la sous-zone R₁. Le reste de la faune marine est semblable à celle de Villers-l'Hôpital, c'est la faune banale du Namurien avec, cependant, l'apparition à Barly d'un faciès particulier connu à peu près au même niveau stratigraphique dans le Bassin du Nord et du Pas-de-Calais : à 330, 335 et 340 m de profondeur (par suite d'un pli en S) et à 452,80 m, niveau à *Productus* très nombreux et *Chonetes* à tests blancs bien conservés, peu au-dessus des bancs à *H. striolatum*.

La flore comporte les espèces suivantes : *Sphenopteris obtusiloba* PRONGNIART, *Sph. hollandica* GOTHAN et JONGMANS, *Sph. Stangeri* STUR, *Sph. gracilis* BRONGNIART, *Sph. flovannensis* STOCKMANS et WILLIÈRE, *Mariopteris mosana* WILLIÈRE, *M. acuta* BRONGNIART, *Neuropteris Schlehanoïdes* STOCKMANS et WILLIÈRE, *Pecopteris aspera* BRONGNIART, *Alethopteris intermedia* FRANKE, *Sigillaria communis* KOEHNE et de nombreux calamariées et lépidophytes. Quant à la faune d'eau douce, on a trouvé des débris naïaditiformes vers 349 m de profondeur.

Une douzaine de dépôts de houille dont l'épaisseur normale était comprise entre 1 et 25 cm ont été recoupés entre 320 et 760 m. Une veine plus importante mais plissée a été recoupée entre 422 et 423,43. Son ouverture normale est inférieure à 1,40 m et vraisemblablement de l'ordre du mètre. Sa teneur moyenne en cendres est de 14,33 %. La proportion de charbon de densité inférieure à 1,6 représente 89,07 % du poids total ; les caractéristiques en sont : teneur en cendres : 7,4 % ; matières volatiles : 14,9 % ; indice de gonflement : 3 3/4.

Le charbon à 753 m est plus maigre (loi de Hilt) : teneur moyenne en cendres : 15,19 % ; caractéristiques du charbon de densité inférieure à 1,6 (88,14 % du poids total) : teneur en cendres, 11 % ; matières volatiles, 12,90 % ; indice de gonflement, 2.

SONDAGE D'OCCOCHES (Somme). — x = 596 576 ; y = 276 358 ; z = + 64,4.

De 0 à 2 m argile, de 2 à 5 m argile et craie mélangée, de 5 à 135 m Turonien-Cénomaniens, de 135 à 178 m Albien, de 178 à 231,65 Bathonien.

De 231,65 à 290,40 terrain houiller. Le sondage n'a pas été poussé plus bas, les terrains étant très failleux sur toute la hauteur traversée ; les pentes variaient très rapidement entre 10 et 90°. On a pu reconnaître dans la flore : *N. Schlehani* STUR, *N. obliqua* BRONGNIART, *P. plumosa-dentata* ARTIS, des feuilles de cordaïtes avec spirorbes, des calamites et quelques niveaux à radicelles mais pas de charbon. Sur les soixante mètres environ du sondage, on n'a trouvé aucune faune marine.

Les trois sondages de Villers-l'Hôpital, Barly et Occoches jalonnent un synclinal houiller qui s'ennoie du NW au SE, avec apparition de niveaux de plus en plus élevés vers le SE.

La direction de l'axe de ce synclinal est N-45°W, conforme à l'hypothèse que nous avons faite de l'existence d'un anticlinal gedinnien Amiens - Paris

Plage ; nous verrons plus loin que cette direction tectonique se trouve confirmée par les résultats du sondage de Coulonvillers situé au SW du synclinal houiller Barly-Doullens.

On aurait pu espérer voir apparaître un houiller encore plus récent au SE du sondage d'Ocoches, mais les roches éruptives découvertes à Orville et Sarton (12) peuvent expliquer le relèvement brutal du synclinal à cœur de houiller, vers le SE, constaté par les sondages de Doullens-Milly et Gézaincourt.

SONDAGE DE NEUVILLETTE (Somme). — $x = 597\ 940$; $y = 278\ 755$; $z = + 129,8$.

De 0 à 3 m argile, de 3 à 13 m argile, craie et silex mélangés, de 13 à 188 m Turonien et Cénomaniens, de 188 à 216 m Albien, de 216 à 257 m Bathonien (calcaire oolithique), de 257 à 259,35 Bathonien (sables argileux et marneux noir verdâtre à débris ligniteux = Fuller's earth ?).

De 259,35 à 297,50 m, calcaire massif, gris beige légèrement saccharoïde, faciès oolithique de 259,35 à 272 m, dolomitique vers 280 m. Faune abondante mais indéterminable spécifiquement, faisant corps avec le calcaire très dur : *Productus* sp., polypiers, articles d'encrines ; à 291 m un foraminifère : *Tuberitina* sp. On est en présence du Viséen inférieur, zone à *Pr. sublaevis* de КОНИЧЕК. A 282 m, pente probable : 55° par suite d'un zonage dans le calcaire à cette profondeur.

SONDAGE DE BOUQUEMAISON (Somme). — $x = 599\ 614$; $y = 280\ 685$; $z = + 156,6$.

De 0 à 1,50 argile, de 1,50 à 5 m argile et craie mélangées, de 5 à 186 m Turonien-Cénomaniens, de 186 à 202,35 Albien, de 202,35 à 259,55 Bathonien.

De 259,55 à 285,10 alternances de schiste gréseux et de grès sableux tendre gris-verdâtre, exceptionnellement rouge lie de vin, pendage moyen 20°. Faune à *Camartochia letiensis* GOSSELET, *Cyrtospirifer Verneuxi* MURCH, *Cyrtospirifer disjunctus* SOWERBY, *Productella* sp., articles d'encrines et débris de lamellibranches. De 285,10 à 286,90 apparition de bancs calcaires noirs impurs ou gris alternant avec des schistes micacés gris.

L'ensemble présente un faciès classique du Famennien.

SONDAGE DE DOULLENS-MILLY (Somme). — $x = 602\ 373$; $y = 274\ 654$; $z = + 66,3$.

De 0 à 4,80 m argile jaune, brune et grise, de 4,80 à 10 m sable gris quartzeux à nombreux silex, de 10 à 125,65 m Turonien-Cénomaniens, de 125,65 à 158,20 Albien, de 158,20 à 176,40 Oxfordien, de 176,40 à 184,60 Callovien, de 184,60 à 227, 83 Bathonien.

De 227,83 à 311,43 m fines alternances de schiste, schiste gréseux et schiste calcaireux, pentées de 40 à 65°. De mauvais fragments de brachiopodes et de lamellibranches n'ont pu être déterminés. Parmi les polypiers recueillis, certains donnent un âge devonien moyen : *Disphyllum Goldfussi* GEINITZ, *Acutophyllum Gerolsteinense* WEDEKIND, *Ceratophyllum dohmi* WEDEKIND, certains autres sont plutôt Givetien : *Digonophyllum (Glos-*

sophyllum)latiseptatum WEDEKIND, *Digonophyllum Goldfussi* M. EDWARDS et HALME. Cependant, *Atelophyllum emsti* WEDEKIND est cantonné dans l'Eifélien Supérieur - Givetien inférieur. Il faut donc admettre qu'on se trouve à la limite Eifélien-Givetien ou peut-être dans la base du Givetien.

SONDAGE DE GEZAINCOURT (Somme). — $x = 599\ 461$; $y = 271\ 072$; $z = + 99,7$.

De 0 à 198,50 m Turonien-Cénomaniens, de 198,50 à 212 m Albien, de 212 à 325,47 m Oxfordien-Callovien-Bathonien.

De 325,47 à 358,50, alternances de schistes gris bleuté et de calcaires récifaux rouge lie de vin avec des pendages variant de 20 à 45° dans les schistes. La faune, abondante, est généralement indéterminable sauf quelques rares articles d'encrines et deux échantillons de *Spirifer speciosus* VON BUCH, qui permettent d'attribuer la formation à l'Eifélien.

Il est à remarquer que l'Eifélien ne présente qu'exceptionnellement, dans le synclinorium de Dinant, le faciès récifal. Dans cet Eifélien, la sonde a traversé des intrusions de rhyolite (12) entre 336,60 et 337,80 ; 351 et 352,15 ; 352,80 et 353,50 ; 353,60 et 353,95 ; 356,50 et 356,70. Il était visible dans les carottes de sondage que cette rhyolite lardait le calcaire récifal dans tous les sens sans l'avoir pratiquement altéré ; seule une pellicule de fine argile verte se trouvait au contact des deux roches. Cette rhyolite post-eifélienne est sphérolitique et présente une altération marquée en lame mince.

SONDAGE D'ORVILLE (P.-de-C.). — $x = 604\ 776$; $y = 267\ 655$; $z = + 130,8$.

De 0 à 2 m argile, de 2 à 220 m Turonien Cénomaniens, de 220 à 240 Albien, de 240 à 335 Oxfordien-Callovien, de 335 à 385,76 Bathonien.

De 385,76 à 430,10, le sondage a recoupé une andésite massive (12). Macroscopiquement, elle a un aspect homogène, une couleur vert sombre, avec de très petites inclusions rouge brun. En lame mince, petits cristaux d'andésine abondants ; jusqu'à 401 m, la pâte est extrêmement fine, sous 401 m elle devient nettement microlithique avec des amas tourbillonnaires de microlithes caractéristiques d'une véritable coulée. Les pyroxènes, notamment l'augite, sont fréquents, on trouve aussi de rares cristaux d'olivine et des cadavres de phénocristaux en serpentine et en goéthite ; c'est cette dernière qui donne par place les mouchetures rouge brun visibles macroscopiquement. L'épidote est fréquente vers le sommet du sondage, mais l'altération diminue avec la profondeur.

Entre 411,60 et 413,60, la roche est fracturée et les fractures sont remplies d'un calcaire tendre, argilo-siliceux (23 % d'insoluble à l'HCl) contenant des foraminifères. Cette microfaune contient de nombreux *Spirophthalmidium* et est donc vraisemblablement d'âge post-Permien. On est probablement en présence de fractures ayant joué après le Permien et érodées puis remplies au moment des premières transgressions du secondaire.

SONDAGE DE SARTON (P.-de-C.). — $x = 606\ 319$; $y = 268\ 832$; $z = - 95,3$.

De 0 à 2,50 m argile, de 2,50 à 3,50 m argile ocre à nombreux silex (sidérolithique), de 3,50 à 5 m argile,

craie et silex mélangés, de 5 à 186 m Turonien-Cénomaniens, de 186 à 199 m Albien, de 199 à 308 m Oxfordien-Callovien, de 308 à 331,50 Bathonien.

A partir de 331,50, la sonde est entrée dans un complexe éruptif (12) et n'en est pas sortie jusqu'à 500,10 m, limite de capacité de la machine employée pour ce sondage. De 331,50 à 372,70, la roche est une andésite verdâtre à faciès paléovolcanique, analogue à celle d'Orville ; de 372,70 à 389,25, tuf brun rougeâtre hétérogène avec nombreuses amygdales de roche éruptive consolidée ; de 389,25 à 420,20 m basalte vert foncé à olivine, de faciès paléovolcanique ; de 420,20 à 429 m andésite très vacuolaire à faciès paléovolcanique ; de 429 à 493,60 basalte gris verdâtre à tendance doléritique, à pyroxènes poecilites ; de 493,60 à 495,10, tuf rougeâtre avec grosses intrusions de roche volcanique donnant un aspect bréchique ; de 495,10 à 500,10, basalte amygdalaire gris verdâtre paraissant extrêmement frais en lame mince.

SONDAGE DE BEAUMONT-HAMEL (Somme). —
x = 624 370 ; y = 263 838 ; z = + 74,0.

De 0 à 9,90 m argile, de 9,90 à 135,80 Turonien-Cénomaniens, de 135,80 à 168,50 Albien, de 169,50 à 219,80 Oxfordien, de 219,80 à 230,35 Callovien, de 230,35 à 289,10 Bathonien.

De 289,10 à 290 calcaire avec poche de dissolution remplie d'argile noirâtre ; de 290 à 292,60 calcaire gris cassuré ; de 292,60 à 305,05 poche remplie d'argile grise avec gypse, sable calcareux, galets de phtanite. A partir de 305,05, calcaire dolomitique gris brun saccharoïde avec bandes de phtanite sub-verticales jusqu'à 329,80 ; faune rare : *Spirifer crassus* de KONINCK (in DAVIDSON, pl. 7, fig. 1 à 3). Le calcaire doit être attribué au Dinantien moyen par la faune et vraisemblablement au Viséen inférieur au vu du faciès. La surface du calcaire a été le siège d'une érosion karstique avant la transgression bathonienne comme cela a été constaté dans le Dinantien du Boulonnais (13).

Tous ces sondages récents ont apporté des renseignements nouveaux du plus haut intérêt surtout en ce qui concerne les lignes directionnelles de la tectonique et l'existence d'un volcanisme important ignoré jusqu'à ce jour. La fig. 2 donne une esquisse de carte géologique du primaire dans la région de Doullens, telle qu'on peut l'établir d'après les sondages ; la coupe de la fig. 1 donne une idée de l'intensité du plissement subi par le synclinorium et des pentes qu'y présentent les terrains. La direction prise par l'axe du synclinal houiller étant Nord 45° W, on se trouve, dans la région de Doullens, en direction armoricaine très accentuée. Ce plissement intense a été suivi de manifestations volcaniques dans la région des sondages d'Orville et Sarton ; les roches recoupées par ces deux sondages semblent bien appartenir au même complexe d'épanchements et il est vraisemblable que l'extension en surface doit en être assez considérable : la distance entre les deux sondages est de 1.700 m environ, mais si l'on se réfère à la carte gravimétrique publiée par le

B.R.G.M. en 1954 (14), on constate que ces sondages sont implantés dans une région où les isogammes dessinent une anomalie très nette au SE de Doullens, formant une avancée oblique de l'ordre de 10 km dans l'ensemble par ailleurs régulier des courbes ; il est probable que cette anomalie soit due en partie à la présence des roches d'épanchement et qu'elle donne ainsi un ordre de grandeur de l'extension des phénomènes éruptifs (voir carte fig. 2).

Quant à l'âge de ces coulées, il est vraisemblablement permien : l'ensemble des sondages anciens et nouveaux ont montré que le socle paléozoïque du Nord de la France présentait, en Picardie et dans le Sud de l'Artois, une surface de pénéplanation d'une régularité remarquable à tel point que la carte hypsométrique de cette surface (voir fig. 3) établie (*) avant d'avoir les résultats des sondages récents, n'a pas eu à être modifiée par ces derniers qui se sont insérés dans les courbes avec des erreurs de dénivellation toujours inférieures à dix mètres. Or cette surface de pénéplanation intègre à la fois le Permien peu penté du sondage de Nibas (que nous décrivons plus loin) et les roches éruptives d'Orville et Sarton ; la pénéplanation du paléozoïque du Nord de la France ayant été déjà très avancée au Trias, l'âge le plus récent qu'on puisse attribuer aux roches d'Orville et Sarton semble être le Permien. D'autre part, alors que l'ensemble du Paléozoïque, Permien excepté, est fortement plissé, les coulées sont restées voisines de l'horizontale et reposent sur un synclinal à flancs très redressés qui contient, au NW de Doullens, du Namurien profond (Villers-l'Hôpital, Barly) ; on peut en conclure qu'elles sont certainement post-namumiennes.

En définitive, elles sont postérieures à la phase asturienne de l'orogénèse hercynienne (Stephano-Permien) puisqu'elles n'ont pas été plissées par elle, mais antérieures au Trias, âge vraisemblable de la pénéplanation qu'elles ont subie. L'âge des coulées ne pourrait être antérieur au Stephano-Permien que si l'on admet que l'orogénèse hercynienne s'est manifestée plus tôt dans la région de Doullens que dans le bassin houiller du Nord : c'est peu probable car il faudrait admettre qu'au Westphalien déjà, le synclinorium de Dinant, qui contient du Namurien moyen, aurait eu le temps non seulement d'être plissé mais érodé suffisamment pour avoir acquis la structure qu'il présente dans la région des épanchements.

(*) Cette carte a été dressée par M. M. STIÉVENARD, Ingénieur Principal au Service Géologique des H.B.N.P.C.

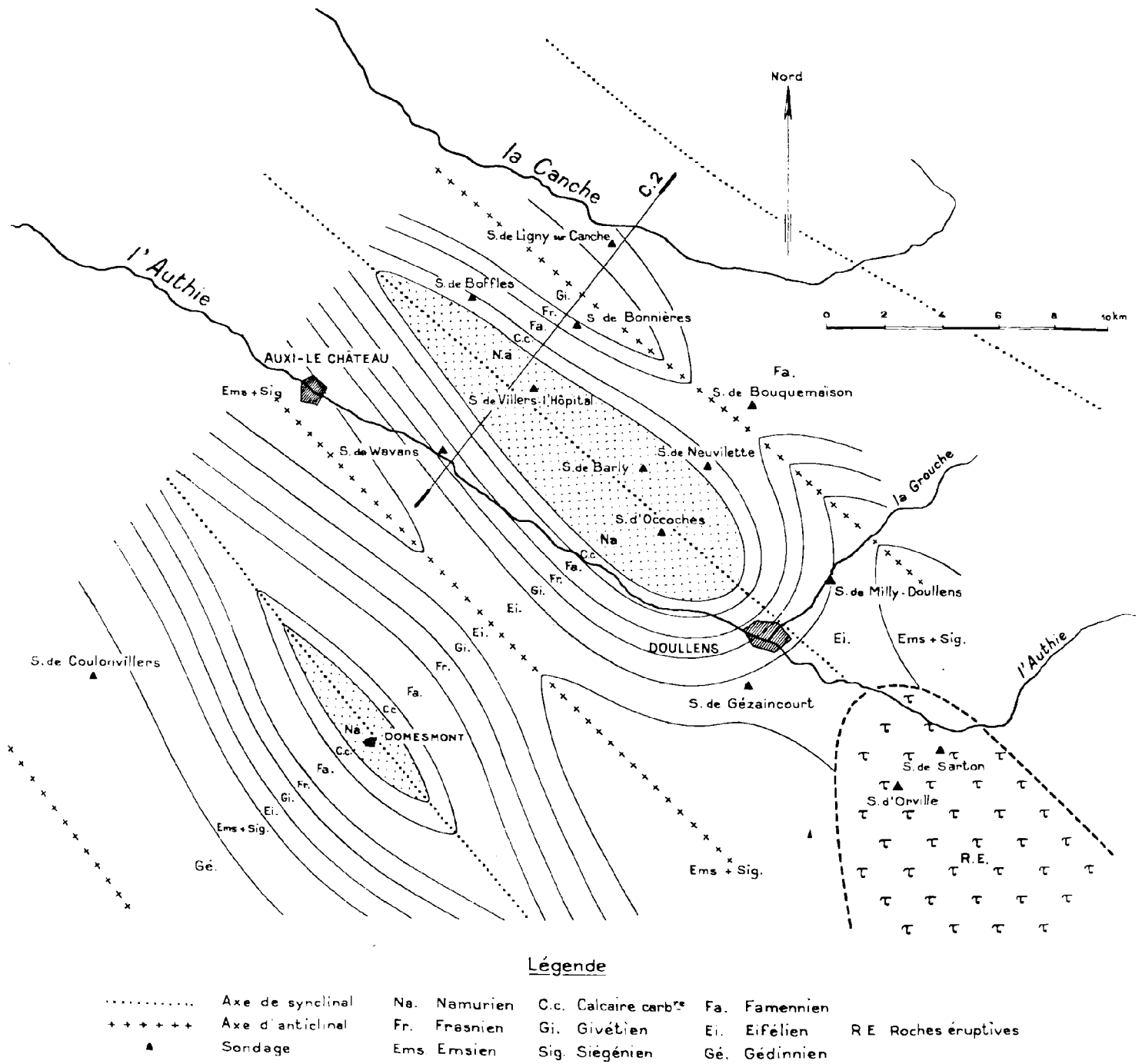


FIG. 2. — Carte géologique schématique de la région de Doullens
(Le Namurien du synclinal de Barly a été reconnu, celui de Domesmont est hypothétique).

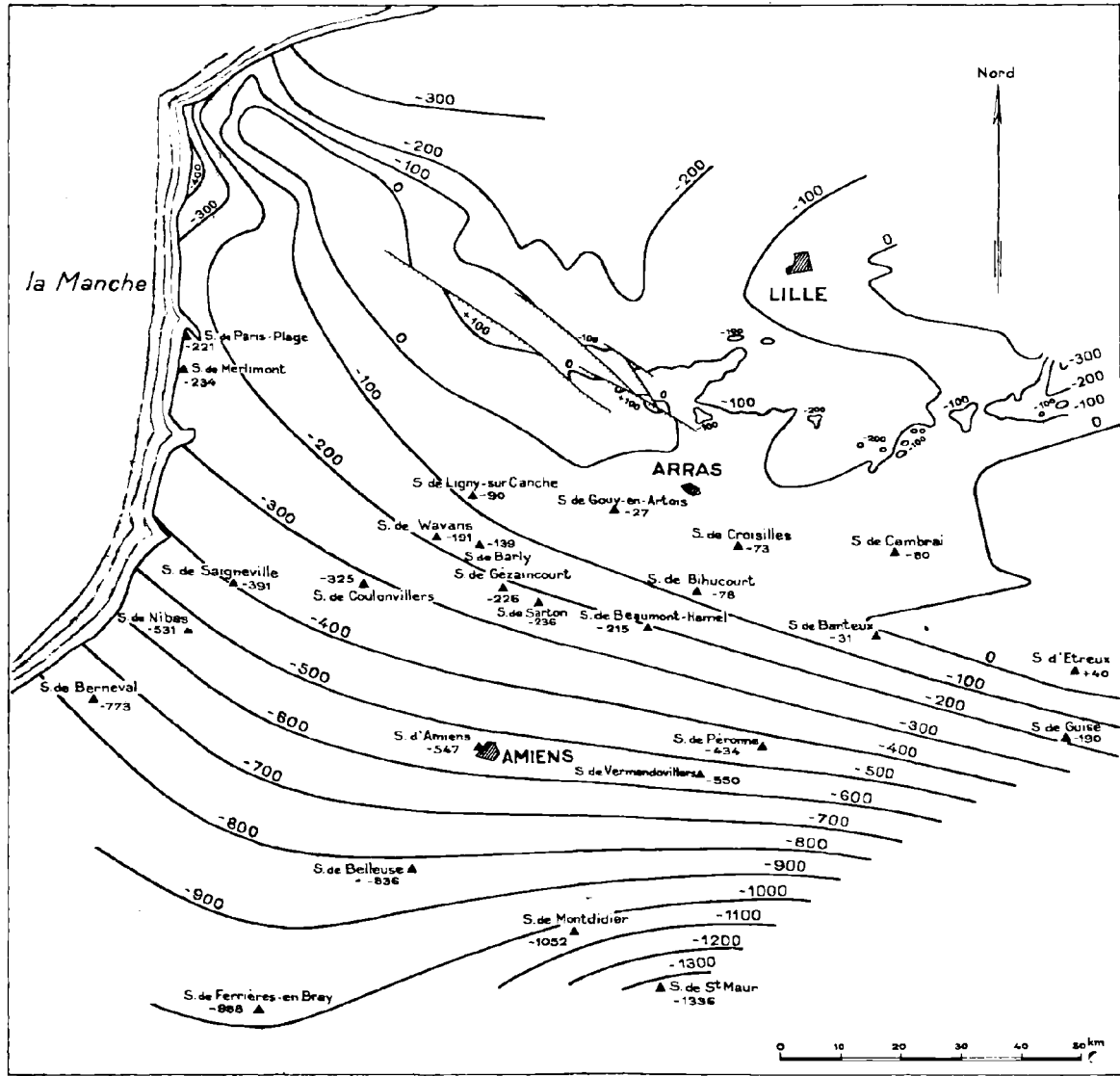


FIG. 3. Carte hypsométrique de la surface du Primaire.

3) La bordure sud du synclinorium de Dinant.

A son entrée en France, le synclinorium de Dinant est limité au Sud par l'anticlinal cambrien de Rocroi ; cette limite est jalonnée vers l'Ouest par le sondage de Guise qu'on peut attribuer avec certitude au Gedinien (15). Plus à l'Ouest, il était difficile de tracer avec exactitude la limite Sud du synclinorium d'après les anciens sondages : le Gedinien du sondage d'Amiens (16) pouvait être encore

considéré avec vraisemblance comme appartenant à cette limite, mais plus à l'Ouest les sondages avaient souvent été jugés comme étant trop éloignés pour pouvoir être considérés comme des jalons certains : Saigneville donnait du Famennien (17) et beaucoup plus au NW, les deux sondages de Paris-Plage (18) et de Merlimont (19) donnaient du Gedinien.

Deux sondages récents apportent les renseignements qui manquaient pour préciser les directions

tectoniques dans le primaire du Sud et de l'Ouest de la Picardie.

SONDAGE DE VERMANDOVILLERS (Somme). — $x = 632\,442$; $y = 239\,336$; $z = + 84,2$.

De 0 à 2,50 m argile ; de 2,50 à 5,20 argile sableuse, de 5,20 à 283,75 Turonien-Cénomaniens, de 283,75 à 313,80 Albien, de 313,80 à 349,30 Kimmeridgien, de 349,30 à 391,20 Sequanien, de 391,20 à 434,85 Rauracien, de 434,85 à 483 Argovien, de 483 à 522,60 Oxfordien, de 522,60 à 553,10 Callovien, de 553,10 à 633,90 Bathonien + Bajocien.

De 633,90 à 646,30, le sondage a recoupé du Gedinnien supérieur, faciès des schistes bigarrés rouge violacé et vert clair de Joigny, avec pendage à 40°.

SONDAGE DE COULONVILLERS (Somme). — $x = 576\,720$; $y = 271\,423$; $z = + 111,1$.

De 0 à 0,50 argile, de 0,50 à 3,50 sable argileux, de 3,50 à 237 Turonien-Cénomaniens, de 237 à 242 Albien, de 242 à 435,80 Jurassique.

De 435,80 à 448,30, le sondage a recoupé des schistes gréseux ou micacés gris-verdâtre avec petits nodules calcaires pentés de 65° au sommet à 45° à la base et contenant : *Grammysia cingulata* HISINGER et des débris d'ostracodermes : cf. *Pteraspis Crouchi* LANKESTER, soit le Gedinnien inférieur.

Compte tenu de ce que l'on sait maintenant des axes tectoniques dans la région de Doullens, il est évident que le sondage de Coulonvillers constitue le jalon qui permet d'affirmer que le bord du synclinorium de Dinant, dans l'Ouest de la Picardie, est constitué par une crête anticlinale gedinnienne de direction N 45° W ; l'ensemble de cet axe anticlinal que nous appellerons *anticlinal paléozoïque de Picardie* est jalonné depuis le Cambrien de Rocroy par les sondages de Guise, Vermandovillers, Amiens, Coulonvillers, Merlimont et Paris-Plage qui, tous, ont donné du Gedinnien (il n'est pas exclu, évidemment, qu'il puisse y avoir, dans le cœur de l'anticlinal, des terrains encore plus anciens).

4) Le Primaire au sud du synclinorium de Dinant.

Au Sud de l'anticlinal paléozoïque de Picardie, outre le vieux sondage de Saigneville, plusieurs sondages récents ont apporté des renseignements du plus haut intérêt (*).

(*) Nous remercions vivement la Compagnie Française des Pétroles (Normandie) et le Chef de son Service Géologique, M. LOSSEL, de nous avoir permis de faire état des renseignements de leurs sondages de Berneval, Belleuse, Montdidier et St-Maur ; le sondage de Nibas a été foré dans le primaire de compte à demi pour la C.F.P. et les H.B.N.P.C.

SONDAGE DE NIBAS (Somme). — $x = 547\,040$; $y = 264\,120$; $z = 90,2$.

De 618,50 à 966 m, le sondage a recoupé du Permien : à la base, le sondage a été arrêté dans un conglomérat à très gros éléments formé principalement de grès brunnâtres et de schistes verdâtres de faciès famennien et à galets de calcaire vraisemblablement frasnien, enrobés par de l'argile silteuse brun rougeâtre. Au-dessus, le sondage a recoupé des argiles silteuses ou micacées, brun rougeâtre, beige verdâtres ou grises, avec quelques bancs intercalés de calcaire franc ou marneux (et des indices charbonneux à 726 m) ; c'est un faciès qui ressemble à celui de l'Autunien de Normandie ; au-dessus, des récurrences conglomératiques notamment de 670 à 710 pourraient peut-être indiquer le début du Saxonien. Le Permien a été recoupé sur près de 350 m et il est dommage qu'il n'ait pas été possible de descendre plus bas, la grosseur des éléments du conglomérat de base semblant annoncer la fin du Permien (*).

SONDAGE DE BERNEVAL (c. de St-Martin-le-Gailard, Seine-Maritime). — $x = 531\,850$; $y = 252\,662$; $z = 35,50$.

De 809 à 872 m, le sondage a recoupé des argiles silteuses et micacées brun rougeâtre comprenant des argiles gris-mauve, panachées de jaunâtre et de rouge lie de vin, des grès plus ou moins argileux mal consolidés, des siltstones argileux brun rougeâtre et des concrétions ferrugineuses. De 872 à 882,5, un conglomérat à gros galets de quartzite gris liés par de l'argile silteuse rougeâtre. De 882,5 à 884,4, des marnes et argiles brun rougeâtre micacées comprenant du calcaire cristallin et du calcaire marneux panaché vert et rouge. De 888,4 à 898,3, un poudingue arkosique avec un passage dolomitique gris clair à brun violacé. Ces faciès sont assez voisins de celui du Permien de Nibas. En dessous de 898,3, la sonde a recoupé des chloritoschistes gris vert altérés par place, suivant la schistosité, en brun rougeâtre, sur 46 mètres.

SONDAGE DE BELLEUSE (c. de Conty, Somme). — $x = 584\,970$; $y = 223\,950$; $z = 139,0$.

De 975,50 à 994 m, le sondage a recoupé des argiles silteuses rouge brun avec galets de quartz et niveau de microconglomérat également à galets de quartz ; de 994 à 1.010 m, argile gréseuse compacte, jaunâtre et lie de vin, à petits galets de quartz et niveau de microconglomérat à faible ciment argileux. Vers la base, passées centimétriques de conglomérat calcaire à galets de quartz et de roches anciennes. Enfin, de 1010 à 1031,15, rhyolite vert sombre, très altérée au sommet. La formation recoupée de 975,50 à 1010 a été attribuée au Permo-Trias ; il est probable qu'on se trouve en présence du Permien, son faciès étant assez semblable à celui du Permien de Nibas et nettement différent de ceux du Trias différencié le plus voisin (20).

(*) On sait qu'un argument important en faveur de l'attribution au Permien des terrains postcarbonifères rouges de la région et notamment ceux de Nibas est leur pente relativement élevée (20 à 30° à Nibas) : la dernière phase de l'orogénèse hercynienne dans la région étant anté-triasique (H. STILLE), ces terrains plissés ne peuvent être que permien.

SONDAGE DE MONTDIDIER (c. de Welles-Pérennes, Oise). — x = 611 350 ; y = 212 950 ; z = 115,0.

De 1167 à 1197,50 argile plastique légèrement carbonatée bariolée (lie de vin, ocre, gris-bleu) ; de 1197,50 à 1205,5 grès fin, calcaire arkosique blanc rosé à quartz rosé et chlorite abondante, microconglomératique vers la base ; de 1205,50 à 1230, argile parfois un peu silteuse, légèrement carbonatée, de couleur brique, avec niveaux conglomératiques à quartz laiteux et chlorite à 1221 et 1224.

De 1230 à 1243, schistes sériciteux, violet sombre avec plages chloriteuses vertes et passées millimétriques de siltstone quartzitique rougeâtre.

De 1167 à 1230, la formation, assez semblable au Permo-Trias de Belleuse, pourrait peut-être être attribuée au Permien, pour les mêmes raisons ; en dessous, il est difficile de se prononcer en l'absence de fossiles mais le faciès indique une formation vraisemblablement anté-dévonienne.

SONDAGE DE SAINT-MAUR (c. de Gournay-sur-Aronde, Oise). — x = 625 910 ; y = 203 040 ; z = 92,0.

De 1428 à 1473, argile brun rougeâtre à rouge lie de vin, finement sableuse, plus ou moins calcaireuse, tachetée de jaunâtre ou de vert, quelques petites intercalations de calcaire brun rosé ; nombreux petits granules de calcaire brun rouge à partir de 1450 m.

De 1473 à 1516, conglomérats à ciment argileux ou à ciment calcaireux avec passées d'argile brun rouge. Galets sub-anguleux à arrondis de grès gris-vert, de calcaire brun rosé, rares galets de schistes et galets de rhyolites à partir de 1502 m ; quelques bancs de calcaire gris rosé ou mauve au-dessus de 1489 m.

De 1516 à 1539, rhyolite très altérée, gris verdâtre, à structure fluidale, avec phénocristaux de feldspath et de quartz.

Là encore, et pour les mêmes raisons que pour les sondages précédents, la formation de Permo-Trias recoupée au-dessus de 1516 m pourrait peut-être être attribuée au Permien (l'absence de renseignements quant aux pendages ne permet pas d'être plus affirmatif pour ces quatre derniers sondages).

Si l'on excepte le sondage de Saigneville, situé sur le bord de la retombée Sud de l'anticlinal paléozoïque de Picardie, tous les autres sondages ont recoupé soit du Permien à Nibas et Berneval, soit du Permo-Trias (probablement Permien) à Belleuse, Montdidier et St-Maur. Cet anticlinal représente donc une limite paléogéographique importante, puisque les dépôts permienens ne l'ont nulle part atteint, sauf au sondage de Merlinmont où ils restent vraisemblablement sur son flanc Sud (*).

(*) Quant aux dépôts permienens à fort pendage d'Audinethun, Cuhem, Fléchin et Febvin-Palfart, dans la région Nord du synclinorium, ce sont des dépôts vraisemblablement continentaux qui n'entrent pas en ligne de compte ici.

Grandes lignes structurales du synclinorium

La carte de la Pl. VIII résume ce que l'on sait, à l'heure actuelle, sur le synclinorium de Dinant : pincé contre le synclinorium de Namur à ses extrémités par le massif cambrio-silurien de Stavelot à l'Est et par le massif siluro-dévonien de Paris-Plage-Desvres à l'Ouest, il présente son maximum de largeur au méridien d'Arras. D'une façon plus détaillée, en tenant compte à la fois des affleurements de l'Avesnois, des sondages récents et des sondages anciens de Péronne, Etreux et de la région de Cambrai, il est possible d'individualiser au minimum quatre axes synclinaux d'Est en Ouest jusqu'à l'Ouest du méridien de Doullens.

Ces synclinaux, parfois plissés dans le détail, présentent des zones de surélévation locale : anticlinaux transversaux de Beaumont en Belgique, de Cambrai et de Doullens en France. Dans les zones d'ennoyage, on trouve du Namurien dans le cœur de quelques synclinaux : Anhée, Clavier, Bois-Borsu entre autres en Belgique, Berlaimont, Saint-Rémy-Chaussée dans l'Avesnois (21), Barly au NW de Doullens en Picardie (c'est dans ce dernier synclinal que le Namurien est le plus récent) et *il n'est pas exclu que, dans sa partie la plus large, au méridien d'Arras correspondant à un axe synclinal transversal, il puisse se trouver du Westphalien dans les synclinaux longitudinaux de la région Bapaume-Albert-Péronne.*

Quant à la limite Sud du synclinorium de Dinant *sensu stricto*, elle est jalonnée par les massifs cambriens de Stavelot et Serpont en Belgique, de Roeroi à la frontière française et par l'anticlinal paléozoïque de Picardie entre Roeroi et Paris-Plage. Comme nous l'avons dit plus haut, c'est une limite paléogéographique importante puisqu'on ne trouve le Permien ou le Permo-Trias en Picardie qu'aux abords plus ou moins lointains de son flanc Sud.

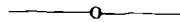
Dans le synclinorium lui-même, malgré l'intensité du plissement subi et les manifestations de volcanisme, l'érosion triasique a conduit à une pénéplanation du socle paléozoïque presque parfaite et surtout parfaitement conservée grâce aux recouvrements ultérieurs commencés tôt par le Sud avec la transgression liasique et celle du Bathonien (*). Par contre, dans sa région Nord, aux abords immédiats du bassin houiller, le Gedinnien constitue des hauts fonds très irréguliers autour desquels les

(*) Ou plus précisément, celle du Dogger, puisqu'il y a du Bajocien dans le sondage de Vermandovillers.

divers termes du Cénomaniens et du Turonien sont rapidement transgressifs (22), sans doute parce qu'on se trouve là en présence des restes démantelés de la zone la plus élevée de la chaîne hercynienne.

BIBLIOGRAPHIE

- 1) KAISIN. — Livret guide excursions A3 et C3. *XIII^e Congrès Géologique International*, Bruxelles, 1922.
- 2) A. CARPENTIER. — Contribution à l'étude du Carbonifère du Nord de la France. *Mém. S.G.N.*, t. VII, 2, 1913.
- 3) A. BONTE. — Sur quelques sondages anciens du Pas-de-Calais. *A.S.G.N.*, t. LXI, 1936.
- 4) P. PRUVOST. — A synopsis of the geology of the Boulonnais. *Proc. of the Geol. Ass.* vol. 35, 1924.
- 5) OIRY. — Bulletin n° 100 *Carte Géologique France*, t. XV, 1903-1904.
- 6) GOSSELET. — Etudes préliminaires des récents sondages faits dans le Nord de la France. *A.S.G.N.*, t. XXVII, 1898.
- 7) J. GOSSELET, Ch. BARROIS, M. LERICHE, A. CRESPIN. — Description de la faune Siluro-Dévonienne de Liévin. *Mém. S.G.N.*, t. VI, 2, 1912.
- 8) M. STÉVENARD. — Précisions sur la Grande Faille du Midi d'Ourton à Douai. *A.S.G.N.*, t. LXIX, 1949.
- 9) A. BOUROZ. — Contribution à l'étude tectonique du massif de Denain-Crespin-Boussu. *A.S.G.N.*, t. LXXXIX, 1959.
- 10) Ch. BARROIS. — Note sur quelques sondages profonds exécutés entre Douai et Arras par la Compagnie de Châtillon-Commentry. *A.S.G.N.* t. XLII, 1913.
- 11) VUILLEMIN. — Le bassin houiller du Pas-de-Calais, t. III, Lille 1883.
- 12) A. BOUROZ. — Découverte de roches volcaniques dans le socle paléozoïque du Nord de la France. *C. R. Ac. Sc.*, t. 1248, 1959.
- 13) J. DANZÉ et Ph. RENAULT. — Phénomènes karstiques dans le calcaire carbonifère du Boulonnais. *A.S.G.N.* t. LXX, 1950.
- 14) J. GOGUEL. — Levé gravimétrique détaillé du Bassin Parisien. *Pub. B.R.G.G.M.*, n° 15, 1954.
- 15) J. GOSSELET. — Sondage fait à Guise. *A.S.G.N.*, t. VI, 1878-1879.
- 16) L. LEROUX et P. PRUVOST. — Résultats géologiques d'un sondage profond à Amiens. *A.S.G.N.*, t. LX, 1935.
- 17) J. GOSSELET. — Les sondages du littoral de l'Artois et de la Picardie. *A.S.G.N.*, t. XXIV, 1905.
- 18) J. GOSSELET. — Un sondage à Paris-Plage près d'Etaples. *A.S.G.N.*, t. XXXII, 1903.
- 19) J. GOSSELET. — Un sondage à Merlimont. *A.S.G.N.*, t. XXXII, 1903.
- 20) J. RICOUR. — Stratigraphie du Trias du bassin de Paris. *B.S.G.F.*, 7^e série, t. 1, 1959.
- 21) E. GRAR. — Histoire des Mines de Houille du Nord de la France. Valenciennes, 1847.
- 22) A. BOUROZ. — Contribution à l'étude des failles épicrotécées de l'Artois. *A.S.G.N.*, t. LXXVI, 1956.
- 23) J. CHALARD. — Contribution à l'étude du Namurien du Bassin Houiller du Nord de la France (Et. Géol. pour l'Atlas de Top. souter.). Valenciennes, 1960.



Etude diffractométrique des tonsteins du Stéphienien de Lons-le-Saunier (Jura)

par Cl. LÉVY et G. LIENHARDT (1)

(2 fig.)

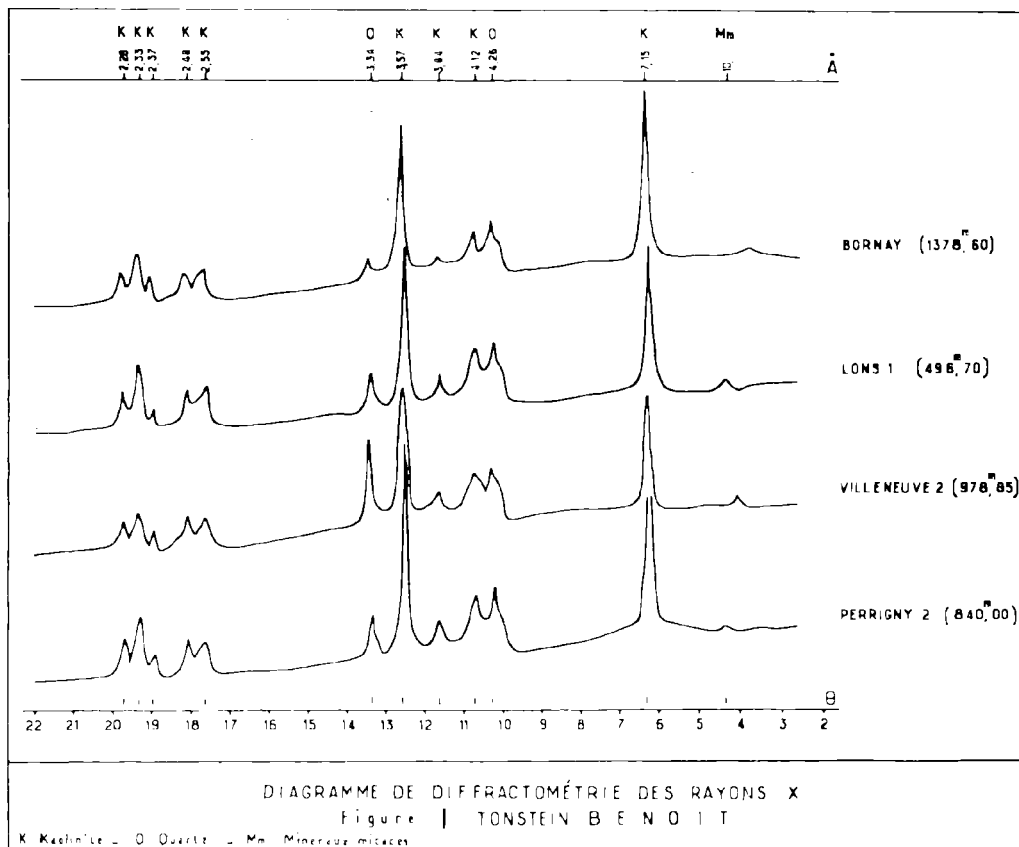
Sommaire. L'étude diffractométrique des tonsteins de Lons a montré que le seul minéral argileux présent est la kaolinite. D'autre part, les diffractogrammes sont souvent spécifiques d'un niveau donné.

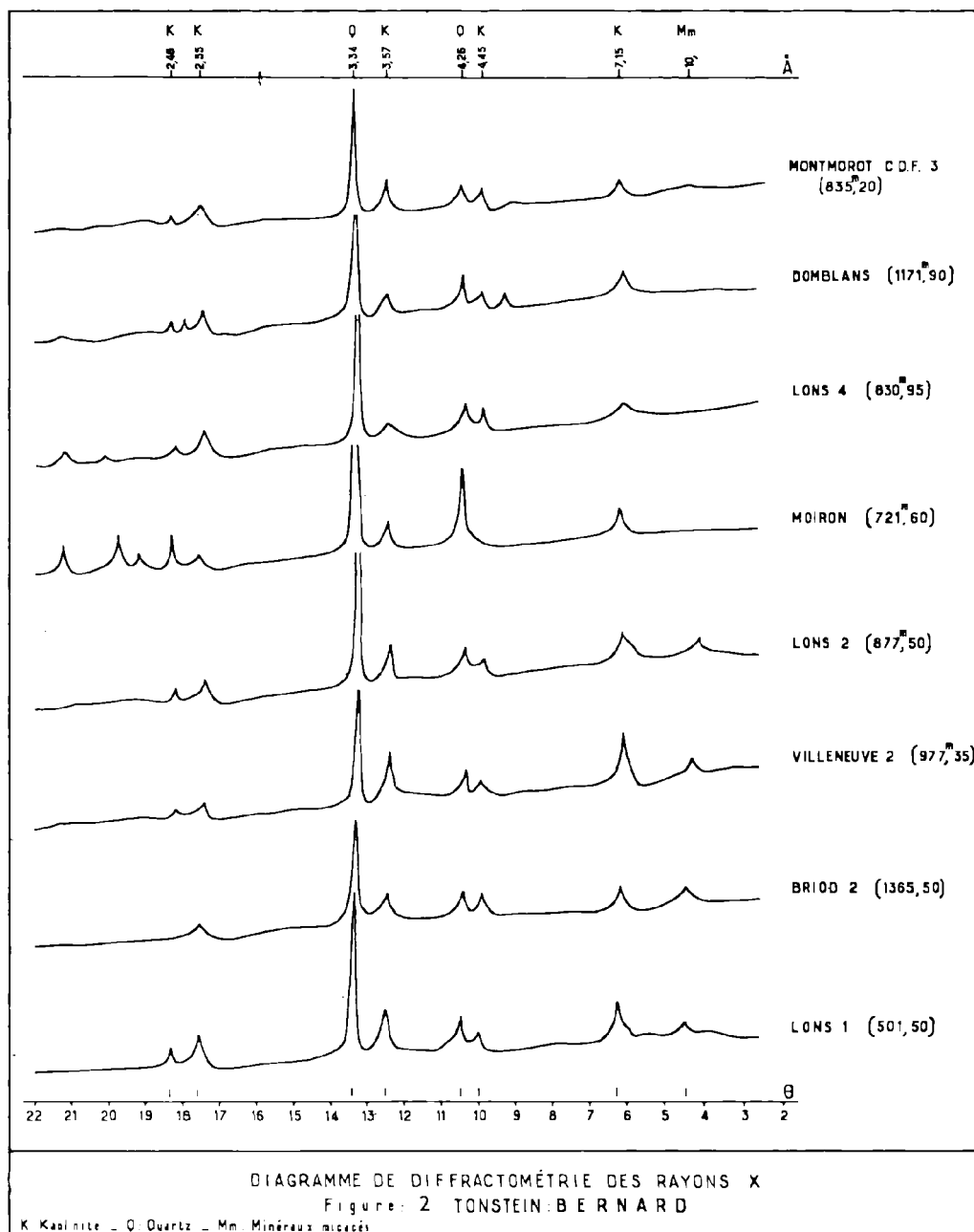
Dans une note récente, l'un de nous (G.L.) résumait les caractères généraux des tonsteins du bassin stéphienien de Lons-le-Saunier. Nous voulons plus particulièrement insister ici sur la propriété

mise en évidence des tonsteins, de montrer un diffractogramme apparemment spécifique d'un niveau considéré.

En effet, de façon générale, le tonstein est essentiellement une roche argileuse, plus ou moins chargée en quartz et en minéraux accessoires. Dans le cas de Lons-le-Saunier, nous avons vu que le terme de

(1) Ingénieur-minéralogiste et Ingénieur-géologue au B.R.G.M.





leverrière est à abandonner à moins de ne lui faire exprimer qu'un faciès particulier. En effet, une étude au diffractomètre fut pratiquée systématiquement sur tous les tonsteins et les diagrammes obtenus sur les échantillons bruts, sans séparation préalable, montrèrent que *le seul minéral argileux pré-*

sent était de la kaolinite accompagnée de quartz et parfois d'un peu de mica, ce minéral n'étant de toute façon présent qu'en quantité très faible.

La seule différence notable entre les diffractogrammes obtenus était due à la très forte variation de l'intensité des pics dus aux réflexions de la

kaolinite. On observait d'ailleurs en même temps une variation en sens inverse de l'intensité des pics dus aux réflexions du quartz. L'idée vint alors de comparer l'intensité des réflexions obtenues à partir des différents échantillons.

Le but n'était pas de faire une analyse quantitative de la kaolinite contenue dans les échantillons, analyse impossible pour plusieurs raisons (facteur de structure, etc.), mais simplement de voir si l'étude relative des différents échantillons pourrait corroborer les présomptions stratigraphiques.

Les comparaisons ont été effectuées en utilisant le code suivant :

- Pic 1 : pic existant, mais se distinguant à peine.
- Pic 2 : pic nettement individualisé mais de faible intensité.
- Pic 3 : pic d'intensité moyenne.
- Pic 4 : pic important.
- Pic 5 : pic particulièrement important.

A titre d'exemple, nous présentons deux séries de diffractogrammes obtenus.

On voit sur le cliché (figure 1, tonstein Benoît) l'analogie très grande existant entre les 4 courbes qui y sont rassemblées. La teneur en kaolinite y est importante (les pics à 7,15 Å et 3,57 Å peuvent être classés comme « pics 4 ») et la teneur en quartz, quoique variable, y est relativement faible (le pic à 3,34 Å peut être classé au maximum comme « pic 3 »).

L'analyse paraît encore plus évidente si on compare ces diffractogrammes à ceux présentés sur le cliché suivant (cf. fig. 2, tonstein Bernard). La teneur en kaolinite y est beaucoup plus faible (les pics à 7,15 Å et 3,57 Å sont des « pics 2 ») alors que le quartz se manifeste par un pic très important à 3,34 Å (pic 4 ou pic 5).

L'intérêt du tonstein en tant que repère stratigraphique n'est heureusement plus à démontrer, les services qu'il a rendus dans les différents bassins houillers et notamment dans celui du Nord et du Pas-de-Calais nous ont fait espérer un « rendement stratigraphique » identique. Nous n'avons pas été déçus, d'autant plus que, reconnu uniquement par sondage, le Stéphanien de Lons ne peut être étudié dans le gisement. Nous souhaitons que cette méthode soit expérimentée dans d'autres bassins où, peut-être, elle sera aussi efficace.

BIBLIOGRAPHIE

- A. BOURGOZ, J. CHALARD et P. DOLLÉ. — Extension géographique et valeur stratigraphique des niveaux de tonsteins du bassin houiller du Nord de la France. *A.S.G.N.*, LXXIII, p. 98, 1953.
- P. DOLLÉ et J. SARROT-REYNAULD. — Etude de quelques tonsteins du Nord de la France. *C.R. som. S.G.F.*, n° 13, 8-11-1954, p. 286.
- H. FRHART. — La genèse des sols en tant que phénomène géologique. Masson, 1956.
- G. LIENHARDT. — Caractères généraux des tonsteins du bassin stéphanien de Lons-le-Saunier (Jura). *B.S.G.F.* sous presse.
- G. MILLOT. — Héritage et néoformation dans la sédimentation argileuse. Congrès d'Alger 1952, *C.I.P.E.A.*, fasc. XVIII, p. 163, 1952.
- G. MILLOT. — Des cycles sédimentaires et de trois modes de sédimentation argileuse. *C.R. Ac. Sciences*, t. 244, n° 20, 1957, p. 2536.
- P. PRUVOST. — Bassin houiller de la Sarre et de la Lorraine. *Etude des gîtes minéraux de la France*, 1934.
- J. SCHEERE. — La pétrologie des tonsteins du Houiller belge. A l'occasion de la présence d'un tonstein dans la couche 40 d'Eisden. *Bull. Soc. belge Géol., Paléont., Hydrol.* (1957), t. 66, n° 3, 1958, pp. 300-317.
- P. VETTER et G. KULBICKI. — Etude des roches argileuses de quelques bassins houillers de la bordure occidentale du Massif Central. *B.S.G.F.*, 6, V, fasc. 7-9, 1955, p. 645.

**LISTE DES PUBLICATIONS REÇUES
PAR LA BIBLIOTHEQUE DE LA SOCIETE GEOLOGIQUE DU NORD**

PUBLICATIONS FRANÇAISES

Actes et procès-verbaux des séances de la Société linéenne de Bordeaux.
Annales du Service d'informations géologiques du Bureau de recherches géologiques et minières (Paris).
Bibliographie des sciences géologiques (Paris).
Bulletin et Mémoires de la section géologique de la Société linéenne de Normandie (Caen).
Bulletin et Mémoires du Service de la carte géologique d'Alsace et Lorraine (Strasbourg).
Bulletin et Mémoires du Service de la carte géologique de la France (Paris).
Bulletin du Muséum d'histoire naturelle (Paris).
Bulletin de la Société géologique de France (Paris).
Bulletin de la Société d'histoire naturelle des Ardennes (Charleville).
Bulletin de la Société des sciences historiques et naturelles de l'Yonne (Auxerre).
Bulletin de la Société des sciences de Nancy.
Bulletin de la Société des sciences naturelles de l'ouest de la France (Nantes).
Comptes rendus de l'Académie des sciences (Paris).
Comptes rendus de la Société géologique de France (Paris).
Mémoires de la Société géologique et minéralogique de Bretagne (Rennes).
Prospection et protection du sous-sol [traduction de Razvedka i okrana nedr (Moscou) assurée par le B.R.G.M.].
Publications du Bureau de recherches géologiques et minières (Paris).
Sciences de la terre (Nancy). (Ecole Nationale Supérieure de Géologie et Prospection Minière).
Travaux du laboratoire de géologie de la faculté des sciences de Grenoble.
Travaux du laboratoire de géologie de la faculté des sciences de Lyon.
Bulletin et Mémoires du Service de la Carte géologique de l'Algérie (Alger).

PAYS EUROPEENS

Allemagne :

Berichte der naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg in Br. (Fribourg).
Decheniana. Verhandlungen des naturhistorischen Vereins der Rheinlande und Westfalens (Bonn).
Geologische Blätter für Nordost-Bayern und angrenzende Gebiete. Geologisches Institut der Universität Erlangen (Erlangen).
Geologische Landesanstalten der Bundesrepublik Deutschland (Hanovre) : Geologische Jahrbuch.
Geologische Rundschau. Internationale Zeitschrift für Geologie (Bonn).
Mitteilungen aus dem Geologischen Staatinstitut in Hamburg (Hambourg).
Natur und Volk. Bericht der Senckenbergischen naturforschenden Gesellschaft (Frankfort).
Nova acta Leopoldina. Abhandlungen der deutschen Akademie der Naturforscher (Leopoldina) zu Halle (Halle).
Senckenbergiana. Wissenschaftliche Mitteilungen der Senckenbergischen naturforschenden Gesellschaft (Frankfort).
Westphälische Berggewerkschaftskasse Publications (Bochum).
Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft (Hanovre).

Autriche :

Annalen des naturhistorischen Museums in Wien (Wien I).
Jahrbuch der geologischen Bundesanstalt (Wien III).
Mitteilungen der geologischen Gesellschaft in Wien (Wien III).

Belgique :

Annales et Mémoires de l'Institut de géologie de l'université de Louvain (Louvain).
Association pour l'étude de la paléontologie et de la stratigraphie houillères, Publications
(Bruxelles).
Bulletin et Mémoires de l'Institut royal des sciences naturelles de Belgique (Bruxelles).
Bulletin et Mémoires de la Société belge de géologie, de paléontologie et d'hydrologie
(Bruxelles).
Publication du Laboratoire de géologie et paléontologie de l'Université libre (Bruxelles).
Bulletin et Mémoires de la Société géologique de Belgique (Liège).

Danemark :

Danmarks geologiske Undersøgelse. Raekke II. Danemark (Charlottenlund).
Dania polyglotta (Danemark, Charlottenlund).

Finlande :

Bulletin de la Commission géologique de Finlande (Helsinki).
Annales Academiae scientiarum Fennicae. Geologica-Geographia (Helsinki).

Angleterre :

The Liverpool and Manchester geological journal (Liverpool).
Bulletins et Memoirs of the geological survey and museum. (Department of scientific
and industrial research) (Londres S W 7).
Proceedings of the Royal Society of Edinburg.
Transactions of the Edinburg geological Society (Edimbourg).

Espagne :

Mémoires y Comunicaciones. Institut géologique de l'Université (Escarlone).
Instituto geologico y minero de Espana. Boletín (Madrid).
Instituto geologico y minero de Espana. Mapa geologica de Espana (Madrid).
Instituto geologico y minero de Espana. Memoria general (Madrid).
Instituto geologico y minero de Espana. Notas y comunicaciones (Madrid).

Italie :

Giornale di Geologia. Annali del Museo geologico di Bologna (Pologne).
Atti della Accademia nazionale dei Lincei (Rome).
Bollettino del Servizio geologico d'Italia (Rome).
Atti della Società toscana di scienze naturali il Pisa (Pise).
Rivista italiana di paleontologia e stratigrafia (Milan).
Institut Géologique de l'Université (Pavia).

Pays-Bas :

Mededeelingen van de geologische stichting (Heerlen).
Publications de l'Institut minéralogique et géologique de l'Université (Utrecht).
Leidse geologische mededeelingen. Rijksmuseum van geologie en mineralogie te Leiden.
Institut géologique de l'Université : Mededeelingen (Amsterdam).

Portugal :

Comunicações dos Serviços geológicos de Portugal (Lisbonne).
Estudos, notas e trabalhos do serviço de fomento mineiro (Porto).
Bulletin du Muséum de l'Université de Lisbonne.

Pologne :

Panstwowy Instytut geologiczny Biuletyn (Varsovie).
Rocznik Polskiego Towarzystwa geologicznego (Annales de la Société géologique de Pologne, Cracovie).
Wiadomosci Museum Ziemi (Varsovie).

Roumanie :

Publications de l'Institut géologique de Roumanie (Bucarest).

Bulgarie :

Bulletin de l'Académie bulgare des Sciences (Sofia).

Yougoslavie :

Bulletin de l'Institut géologique de l'Université (Belgrade).
Bulletin de l'Académie serbe des sciences (Bibliothèque centrale, Belgrade).

Suède :

Arkiv för Geologi, Arkiv för Zoologi, Arkiv för Botanik Utgivet av K. Svenska Vetenskaps Akademiën (Stockholm).
Geologiska föreningen i Stockjölms Förhandlingar (Stockholm).
Bulletin of the geological Institution of the University of Uppsala.

Suisse :

Vierteljahrsschrift der naturforschenden Gesellschaft in Zürich.
Bulletin de la Société neuchâteloise des sciences naturelles (Neuchâtel).
Bulletin et Mémoires de la Société vaudoise des sciences naturelles (Lausanne).

Tchécoslovaquie :

Sbornik. Ustředního ústavu geologického (Service géologique de la République tchécoslovaque) (Prague).
Travaux de l'Institut géologique et paléontologique de l'Université Charles (Prague).
Slovenský Ústřední Ústav Geologický (Bratislava).

Hongrie :

Acta geologica Academiae scientiarum Hungaricae (Budapest V).
Annales et Mémoires de l'Institut géologique de Hongrie (Budapest XIV).

Turquie :

Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni. (Bulletin of the geological Society of Turkey) (Ankara).

U.R.S.S.

Académie des Sciences de l'U.R.S.S. Institut scientifique de géologie, de minéralogie, de pétrographie. Mémoires, recueils, bibliographie (Moscou).

ETATS-UNIS

Department of geology mines and water resources of Maryland : Bulletin Etats-Unis (Baltimore, Maryland).
University of California : Publications in geological Sciences (California).
Stanford University publications (Stanford).
Annual report, Fieldiana : geology Memoirs, of Chicago natural history Museum Etats-Unis (Chicago).

Bulletin, Information circular, report of investigations, annual reports. Ohio natural resources, Division of geological survey. Etats-Unis (Columbus).
Quarterly of the Colorado School of mines. Etats-Unis, Golden (Colorado).
Paleontological contribution. University of Kansas (Lawrence Kansas).
Transactions, bulletins, informations circular of the Wisconsin Academy of Sciences, Etats-Unis (Madison).
University of Minnesota : Minnesota geological survey, bulletin, mummy reports Etats-Unis (Minneapolis).
Bulletin, circulars, State Museum (New-York).
Notulæ naturæ, proceedings, of the Academy of natural sciences, of Philadelphia.
Proceedings of the California Academy of sciences, occasionnal papers, Fourth series. (San Francisco).
Bulletin, Professional papers, Water supply, Geological Survey (Washington).
Smithsonian Institution : Publications (Washington).
West Virginia geological survey : geological and economic survey, reports of investigations, maps. (Morgantown).

ASIE - AFRIQUE - AMERIQUE

Memoirs, Bulletins, Special publications, maps de l'Union Sud-Africaine Mines Department. Geological series. Union Sud-Africaine (Pretoria).
Proceedings of the Royal Society of Victoria. Australie (Melbourne).
Journal and proceedings of the royal Society of New South Wales. Australie (Sydney).
University of Queensland, Department of geology : Papers. Australie (Brisbane).
Geological Survey. Western Australia (Perth).
Transactions of the Royal Society of Canada. Section IV. Geological sciences uncluding mineralogy. Canada (Ottawa).
Bulletin, Memoirs, Annual reports. Geological Survey of Canada. Department of mines and technical surveys. Canada (Ottawa).
Proceedings and transactions of the Nova Scotian Institute of Science Canada (Halifax).
Acta geologica sinica, Acta paleontologica sinica, National Library. Chine (Peking).
Anales del Instituto de geologia. Mexique (Mexico).
Instituto nacional de Investigacion y fomento minero. Boletin. Pérou (Lima).
Mineria Instituto de ingenieros de minas del Peru. Pérou (Lima).
Annales géologiques du Service des mines. Madagascar (Tananarive).
Instituto brasileiro de Geografia : Boletim geographico, Revista brasileira de Geografia. Brésil (Rio-de-Janeiro).
Departamento nacional da produçao mineral, divisao de Geologia e Mineralogia : Boletim, Notas preliminares e estudos, Monografia, Relatorio annual. Brésil (Rio-de-Janeiro).
Archives géologiques du Cambodge, du Laos et du Vietnam. Hanoi (Saigon).
Bulletin du Service géologique de l'Indochine (Saigon).
Technology reports of the Tôhoku University. Japon (Sendai).
Science council of Japan (Tokyo).
Société des Sciences naturelles du Maroc : Bulletin, comptes rendus des séances mensuelles. Travaux de la section de pédologie. Maroc (Rabat).
Boletin geologico, Instituto geologico nacional (Bogota, Colombie).
Department of scientific and industrial research (Wellington).
Facultad de Ingenieria de Petrolcos (Bucaramanga) Colombie.
Biblioteca de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de Buenos-Aires, Argentine (Buenos-Aires).

CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

13, Quai Anatole-France, PARIS (VII^e)

I. — PUBLICATIONS PERIODIQUES

LE BULLETIN SIGNALÉTIQUE	Prix de l'Abonnement	
	France	Etranger
Environ 100.000 extraits par an.		
1 ^{re} Partie (Mathématiques, Physique, Chimie, Sciences de l'Ingénieur)	65.00 NF.	75.00 NF.
2 ^{me} Partie (Biologie, Physiologie, Zoologie, Agriculture)	65.00 NF.	75.00 NF.
Tirages à Part : 1 ^{re} Partie (Section VIII : Minéralogie, Géochimie, Pétrographie, Géologie, Paléontologie)	11.50 NF.	14.50 NF.
VENTE : Centre de Documentation du Centre National de la Recherche Scientifique, 16, rue Pierre Curie, PARIS-V ^e . Tél. : DANton 87-20. C.C.P. Paris 9131/62.		

GRUPE FRANÇAIS DES ARGILES

Compte rendus annuels des Réunions d'Etudes :		
Tomes I à V : ronéotypés	2.50 NF.	l'ex.
Tomes VI à VIII : imprimés	4.50 NF.	l'ex.

NOTES BIOSPEOLOGIQUES

Un tome annuel comprenant 2 fascicules :		
Abonnement annuel : France : 7.00 NF. — Etranger : 10.00 NF.		
Vente par fascicule : France : 5.00 NF. — Etranger : 6.00 NF.		

II. — COLLOQUES INTERNATIONAUX

LXVIII. — Les échanges de matières au cours de la genèse des roches grenues, acides et basiques	30.00 NF.
--	-----------

III. — COLLOQUES NATIONAUX

IV. — Quatenaire et morphologie	4.50 NF.
--	----------

IV. — LES LABORATOIRES DU C.N.R.S.

Le laboratoire souterrain de Moulis	2.30 NF.
---	----------

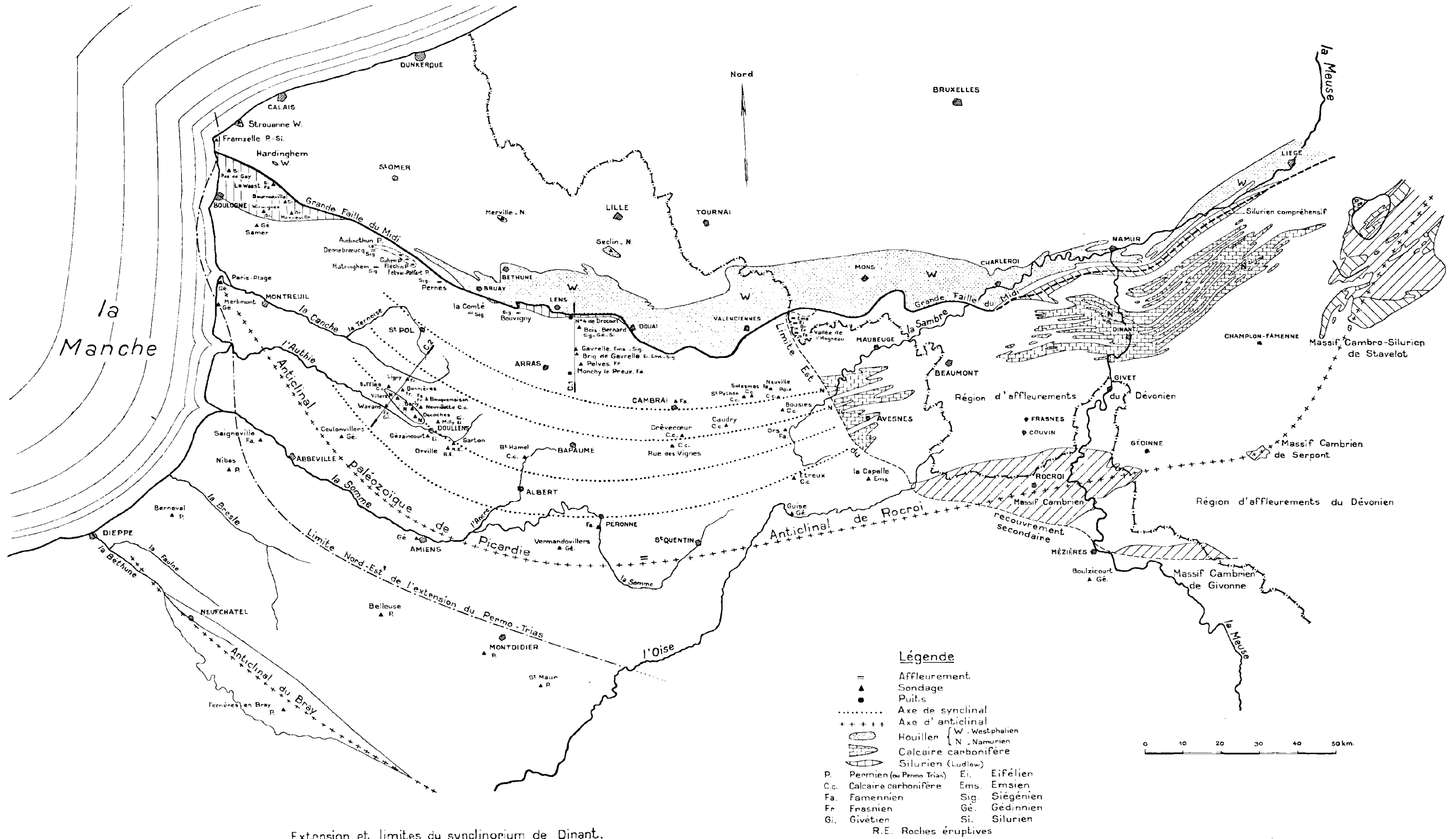
V. — OUVRAGES

Contribution à la systématique des Madréporaires fossiles , par James ALLOITEAU, Directeur de Recherches au C.N.R.S. Ouvrage relié au format 21 × 27 comprenant : 1 volume de textes de 464 pages - 1 volume de planches de 107 pages. Prix : 45.00 NF. — Franco : 47.00 NF.
La constitution géologique et la structure des Antilles , par Jacques BUTTERLIN, 384 pages au format 21 × 27 et 24 cartes. Prix : 27.00 NF. — Franco : 28.50 NF.
Les cristallisations excentriques de la Grotte de Moulis , par Bernard GEZE. Ouvrage au format 21 × 27 comportant 90 illustrations sur papier Kromekote. Prix : 18.00 NF. — Franco : 19.00 NF.

RENSEIGNEMENTS et VENTE :

SERVICE DES PUBLICATIONS DU CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

13, Quai Anatole-France, PARIS (VII^e) - C.C.P. Paris 9061-11 - Tél. INV. 45-95



- Extension et limites du synclinerium de Dinant.

SOCIÉTÉ
GÉOLOGIQUE
DU
NORD

ANNALES

Tome LXXX

1960

3^{me} Livraison

VOLUME PUBLIÉ AVEC LE CONCOURS DU
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD
23, RUE GOSSELET
LILLE

MEMBRES DU CONSEIL

— 1960 —

<i>Président</i>	M. J. RICOUR
<i>Vice-Président</i>	M. P. DUMON
<i>Directeur</i>	M. P. PRUVOST
<i>Secrétaire</i>	M. M. WATERLOT
<i>Trésorier</i>	M. l'Abbé TIEGHEM
<i>Délégué aux publications</i>	M. J. POLVÊCHE
<i>Bibliothécaire</i>	M ^{me} S. DEFRETIN
<i>Libraire</i>	M. J. CHALARD
<i>Secrétaire-adjoint</i>	M ^{lle} D. LE MAÎTRE
<i>Conseillers</i>	M. A. DUPARQUE
	M. Ch. DELATTRE
	M. G. DEPAPE
	M. R. LEROUX

A N N A L E S
D E L A
S O C I É T É G É O L O G I Q U E D U N O R D

publiées avec le concours du Centre national de la recherche scientifique

Société fondée en 1870 et autorisée par arrêtés en date des 3 Juillet 1871 et 28 Juin 1873

23, rue Gosselet, Lille — Tél. 53.05.38 — C.C.P. Lille 5 247

Séance du 9 Novembre 1960

PRÉSIDENCE DE M. J. RICOUR, PRÉSIDENT

M. J. RICOUR rappelle la mort de M. André DUPARQUE et on lit la notice nécrologique rédigée par M. P. PRUVOST, notre Directeur. M. G. WATERLOT évoque ensuite la mémoire de M. Pierre CHATILLIEZ, décédé le 17 Septembre 1960.

Le Président félicite :

- M. le Chanoine DEPAPE, promu Officier de la Légion d'Honneur ;
- M. Ch. DELATTRE, qui a obtenu le prix James Hall pour ses travaux sur les terrains dévoniens et carbonifères du Massif armoricain.

M. J. RICOUR remercie ensuite :

- M. R. PETIT pour l'œuvre importante qu'il a réalisée en établissant le 4^e fascicule des Tables des Annales. M. PETIT tient à associer à ces remerciements M. M. BUISINE, qui l'a beaucoup aidé.
- M. P. CORSIN, qui a fait don à notre Société, depuis le mois de Juin, des Comptes Rendus de l'Académie des Sciences.

Sont élus membres de la Société :

- la Première Région économique,
 - la Chambre de Commerce de Cambrai,
 - la Chambre de Commerce de Boulogne-sur-Mer
(présentées par MM. J. Ricour et M. Waterlot).
-

PRESENTATION D'OUVRAGES

J. CHALARD. — Contribution à l'étude du Namurien du bassin houiller du Nord de la France (thèse de doctorat d'état - Lille, 19 Décembre 1958). *Et. Géol. atlas top. sout. Serv. géol. H.B.N.P.C.* (1960), 2 vol., 300 p., 30 fig., 12 pl. phot., 66 pl. dess.

C'est une monographie du Namurien du bassin houiller du Nord de la France. Après une partie historique et quelques indications générales, est abordée l'étude méthodique de 44 coupes nouvelles de galeries souterraines ou de sondages. Des coupes réelles, établies dans les travaux miniers, donnent l'allure précise des couches. Pour chaque coupe un ou plusieurs tableaux donnent, sous forme de coupes stratigraphiques normales, la liste complète et la position de tous les fossiles animaux ou végétaux recueillis. On y observe une alternance, un grand nombre de fois répétée, de formations continentales et de formations marines.

Le texte décrit les principaux bancs-repères utilisés pour les corrélations entre les diverses coupes, en particulier un « Banc à *Productus* à test blanc » et un « Banc à *Productus corrugatus* »

qui constituent des repères particulièrement commodes. Parmi les banes-repères utilisés, les horizons à Goniatites occupent une place de choix : une douzaine d'horizons ont été identifiés, chacun avec une ou plusieurs espèces caractéristiques. Des coupes stratigraphiques donnent la position respective des principaux banes-repères et des horizons à Goniatites ; les corrélations entre les différentes coupes sont résumées sur les planches 64 et 65.

Une coupe longitudinale du Bassin (fig. 29) montre que le Namurien y est transgressif de l'est vers l'ouest sur le Calcaire carbonifère viséen.

Des divisions pratiques sont proposées dans le Namurien du Nord de la France et elles sont mises en parallèle avec les divisions établies dans les pays voisins, Belgique et Angleterre.

Des indications générales sont données sur le gisement des Goniatites, leur répartition verticale, l'extension latérale des horizons reconnus. Douze planches photographiques figurent à différents grossissements, quatorze espèces de Goniatites recueillis dans le Nord de la France.

*

**

J. CABRETTE. — Etude des mégaspores de l'Assise de Bruay à Bruay (diplôme d'Etudes supérieures).

Cette étude concernant les mégaspores a porté sur des veines faisant partie du faisceau de Six-Sillons et appartenant aux fosses n° 3, 4 et 6 du groupe de Bruay, qui se trouve dans la partie ouest du Bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais. Elle n'a pas constitué un travail de corrélation stratigraphique, mais a tendu à établir la répartition verticale des mégaspores dans la zone considérée ; elle a aussi permis d'obtenir des conclusions d'ordre paléobotanique pur et d'ordre paléophytosociologique dignes d'intérêts.

*

**

J. CAVEUX. — Etude des microspores de la base de l'Assise de Bruay dans les groupes d'Auchel et de Bruay (diplôme d'Etudes supérieures).

L'étude des microspores de la base de l'assise de Bruay, faisceau de Six-Sillons, a été faite dans le groupe d'Auchel aux fosses n° 2 et 6 et au groupe de Bruay, aux fosses n° 3, 4 et 6. Des essais de corrélation veine à veine, et veine à passée ont été faits à l'intérieur d'un même groupe et entre les deux groupes.

C'est ainsi que des « horizontales palynologiques » ont été mises en évidence : 4 horizontales simples, ainsi que 2 trichotomies de veines.

Cependant, une veine d'Auchel et 3 passées de Bruay n'ont pu être mises en corrélation. Elles seront examinées dans un travail ultérieur.

*

**

S. VIGREUX. — Etude des mégaspores de l'assise de Bruay au groupe d'Auchel (diplôme d'Etudes supérieures).

Cette étude des mégaspores de la partie ouest du bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais porte sur 30 veines et passées, réparties dans 500 mètres de terrains, et comprises entre le niveau marin de Rimbert (base du faisceau de Six-Sillons) et le tiers supérieur du faisceau d'Ernestine.

Elle a situé dans cette zone les maximums et les minimums d'expansion des différentes espèces trouvées. L'examen des « fuseaux », mettant en évidence l'extension verticale des espèces et leur fréquence aux différents niveaux étudiés, a permis de déceler 4 « niveaux repères » ainsi que l'existence d'un massif de végétation au niveau des passées au mur de la veine Cavaigneaux, dans la région nord du groupe d'Auchel, aux alentours du puits n° 2.

Les « doublages » de quatre veines aux puits 2 et 6 du groupe ont permis en outre de donner quelques résultats stratigraphiques correspondant en tous points à ceux obtenus antérieurement par les travaux du fond, et qui permettent d'affirmer que la composition palynologique d'une veine ne varie pas, ou varie de façon minime, sur une distance de l'ordre de deux kilomètres.

COMMUNICATIONS

**Les terrains néogènes de Locride (Grèce orientale moyenne) :
leur situation géologique et leur âge**

par P. CELET et A. DELCOURT

(Pl. IX)

Sommaire. — Les explorations cartographiques entreprises dans la région du littoral épiknémidique (Locride) ont montré que :

— les dépôts néogènes reposent indifféremment sur le Trias, le Jurassique ou les roches vertes ;

— l'ensemble des formations post-tectoniques discordantes est relevé vers le N par un système de fractures d'orientation générale E-W. Parmi les échantillons de calcaires lacustres néogènes prélevés à l'W d'Atalanti qui ont été soumis à l'analyse pollinique, deux ont révélé une microflore peu variée qui suggère un âge miocène supérieur.

Introduction

On attribue communément à l'ensemble des formations lacustres ou continentales des bassins de Gravia et de Locride (au N du Parnasse), un âge pontien ou pliocène. Une telle supposition n'est généralement basée sur aucune donnée paléontologique précise ; elle repose essentiellement sur deux faits :

— la discordance des puissants dépôts calcaires grésomarneux et conglomératiques sur des terrains tectonisés plus anciens, d'une part ;

— le parallélisme de ces couches avec celles de la Grèce septentrionale et méridionale, d'autre part.

Une étude récente de ces terrains effectuée par l'un de nous (P.C.) dans le cadre de recherches générales entreprises en Grèce méridionale moyenne a permis de découvrir des niveaux renfermant une microflore pollinique qui a pu être analysée (A.D.) et comparée aux dépôts lacustres des bassins septentrionaux helléniques.

Ces formations sont notées par le symbole Tn sur la carte géologique de Grèce au 1/500.000^e, signe vague englobant des couches miocènes et pliocènes.

Depuis les travaux de Gorceix, Philippson, Dalloni, Papastamatiou et J.H. Brunn, le Néogène

est bien connu en Macédoine et à la frontière albanaise. M. Mitzopoulos a longuement étudié les terrains pliocènes fossilifères, tant en Grèce continentale qu'en Péloponèse.

En Locride, par contre, le Néogène ne présentant guère d'intérêt économique ou faunistique, est resté à l'écart des recherches géologiques.

M. Sauvage (1846, p. 144) cite pour la première fois des niveaux à coquilles d'eau douce dans les couches qui surmontent les lignites de Koumi (Eubée) et range les calcaires lacustres des environs d'Atalanti dans le Miocène. A. Bittner (1880) rapporte les calcaires, marnes et conglomérats de Locride au Néogène. A. Philippson (1894, p. 30) parle de couches puissantes (700 m) qui ont fourni, près d'Atalanti, une faune saumâtre caractéristique des formations levantines du Pliocène. Enfin, récemment, J. Papastamatiou, etc... (1959, p. 6) signalent, au N d'Amfiklia (Kallidromon), quelques Gastéropodes d'eau douce pouvant caractériser des niveaux compris entre le Pliocène et le Pléistocène.

En Albanie, les terrains néogènes ont été étudiés par J. Bourcart (1922) et en Yougoslavie par Pavlovic (1926).

La chronologie des couches pontiennes et levantines offre certaines difficultés, elle a cependant été l'objet de recherches détaillées dans les régions où ces terrains recèlent des gisements de lignites exploitables.

Observations géologiques à l'W d'Atalanti (1)

Au N de la région limitée à l'W par les monts Kallidromon et à l'E par les premiers contreforts du Chlomos, s'étend une dépression largement ouverte sur la plaine côtière de Molos. Ce bassin allongé est rempli de sédiments plus tendres, de couleur claire, entaillés par l'érosion fluviale et couverts de cultures. Ils se distinguent facilement des roches dures de teinte sombre constituant le substratum calcaire disloqué et effondré. Ces terrains néogènes peuvent atteindre 500 m d'épaisseur et sont de nature lithologique variée. La brève analyse qui va suivre permettra de situer ces formations dans le cadre stratigraphique et tectonique de la Grèce méridionale.

I. — STRATIGRAPHIE.

A) *Le soubassement calcaire plissé :*

En Grèce orientale moyenne, les dépôts néogènes sont transgressifs et discordants sur un substratum plissé appartenant à la zone de la Grèce orientale (C. Renz, 1940), encore appelée zone subpélagonienne (J. Aubouin, 1957).

A l'W d'Atalanti, cette zone paléogéographique des Hellénides n'est représentée que par les termes inférieurs de la série mésozoïque, à savoir, de bas en haut :

— le *Trias*, à l'état de dolomies et de calcaires dolomitiques à vagues empreintes de Dasyeladacées qui ont été rapportées jusqu'à un passé assez récent (C. Renz, 1955) aux Gyroporelles ; ces couches pourraient être, dans les horizons les plus profonds, en partie noriennes, ce qui n'exclut pas un âge liasique des niveaux supérieurs ;

— le *Lias supérieur*, daté par des calcaires noirs à Mytilidés, Pinnidés, Protodicératidés (faciès des « calcaires à Lithiotis » du Lias dalmate) et des calcaires compacts à *Orbitopsella praecursor* GÜMBEL ;

— le *Jurassique moyen et supérieur* qui se termine par des calcaires gris régulièrement stratifiés à *Cladocoropsis mirabilis* FÉLIX (Kimméridgien inférieur) sous lesquels s'intercale un horizon de bauxite ;

— les *roches vertes* où plusieurs types pétrographiques ont été distingués : roches microlithiques (spillites, andésites), microgrenues (dolérites)

et grenues (péridotites, pyroxénites altérées en serpentines) ; l'ensemble constitue ce que J.H. Brunn (1956) appelle couramment le cortège ophiolithique surmonté par une couverture sédimentaire démantelée de radiolarites rouges ou brunes ; les ophiolithes se sont épanchées, comme en Grèce septentrionale, entre le Kimméridgien et le Crétacé inférieur (1).

B) *La série néogène discordante :*

Elle se compose d'un ensemble particulièrement puissant de dépôts lacustres peu plissés comprenant :

1) à la base, des calcaires gris cendrés marneux ;

2) puis des dépôts charbonneux passant à des lignites en couches peu épaisses (1 m à 2 m) d'allure lenticulaire, parfois exploités ; plusieurs lits peuvent exister côte à côte et passer de l'un à l'autre ou être superposés ;

3) au-dessus, des marnes et des calcaires marneux d'eau douce blanchâtres (8 m à 10 m) renfermant de belles empreintes de feuilles et des débris végétaux fossiles ; c'est dans ces calcaires récoltés près d'Agnandi, que M. A. Delecourt a trouvé une microflore pollinique qui sera étudiée ci-après ;

4) un complexe supérieur formé d'une succession de marnes, de sables, de conglomérats à éléments calcaires et siliceux, de poudingues à galets de quartz, de radiolarites et de roches vertes ; toutes ces couches sont très friables et contiennent, comme les banes de calcaire jaune tufacé qui y sont intercalés, des niveaux riches en Gastéropodes d'eau douce : *Limnea*, *Paludina* (*Viviparus*), *Planorbis* et des bivalves ;

5) au sommet des conglomérats grossiers, des sables, des graviers, des cailloutis en stratifications entrecroisées. Ces dépôts indiquent un régime torrentiel qui succéda à la vidange du lac.

En de nombreux points, la surface du sol est recouverte d'un manteau de limons loessiques calcaires très fins contenant de nombreuses coquilles d'*Helicidae* (Pulmonés vivant à l'air libre ou dans les eaux douces).

Age de ces formations : Les termes inférieurs aux lignites n'affleurent pas et n'ont pu être datés. Le toit des couches, par contre, riche en grains

(1) La série crétacée discordante sur les roches vertes, aux environs de Drémisa (Iti), est cénomaniennne ; ici elle a été, comme les formations plus récentes (Flysch), détruite par l'érosion qui a précédé le régime lacustre.

(1) Par P. Celet.

de pollen du type *Haploxyylon*, pourrait être encore Miocène supérieur (cf. *infra*). Les sédiments mollassiques d'eau douce qui couronnent l'ensemble ont un cachet plio-quadernaire et les séquences inférieures à Gastéropodes, Lamellibranches... rappellent les niveaux d'âge levantin des autres bassins lacustres égéens (Cvijic, 1911). Il n'existe pas de discordance visible entre le Pliocène et le Quaternaire (entre 4 et 5) comme dans la série de Ptolémaïs (Papastamatiou, 1952).

II. — TECTONIQUE.

Toute la bordure sud du Golfe d'Eubée est parcourue par un système de failles parallèles sub-verticales orientées W, 10° N, à regard nord. Les

axes des plis des formations mésozoïques suivent les directions de fractures ; c'est donc un ensemble de failles directionnelles qui détermine l'allure tectonique de cette région (fig. 1). Ces failles délimitent une aire d'effondrement dont le symétrique se trouve, à l'opposé, sur la côte méridionale d'Eubée (1) ; elles sont parfois recoupées par des accidents transversaux de type thessalien. Les deux champs de fractures dessinent une sorte de graben dont la partie médiane est occupée par la mer (Golfe Maliaque et d'Eubée) et, occidentale, par le cours du Sperchios.

En l'absence de terrains sus-jacents datés et non disloqués, l'estimation de l'âge de ces failles est délicat.

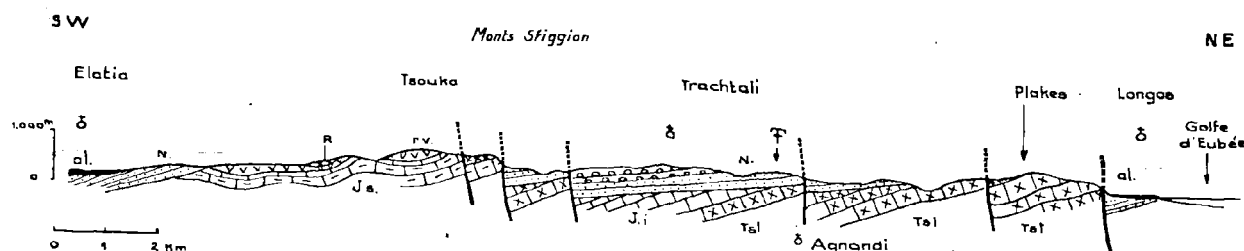


FIG. 1. — Profil tectonique schématique en Locrie (SW d'Atalanti).

T.s.l. : dolomies et calcaires dolomitiques (Trias sup. - Lias inf.) ; Ji : calcaires noirs (Lias - Dogger) ; Js : calcaires à *Cladocoropsis* (Kimméridgien inf.) ; r.v. : roches vertes ; R : radiolarites (Jurassique sup. - Crétacé inf.) ; N : Néogène ; al. : alluvions ; F : gisement de calcaire lacustre d'Agnandi à microflore pollinique.

Les failles peuvent être contemporaines de l'installation du régime lacustre dont elles auraient conditionné la mise en place. Cette conception se base sur les observations de J.H. Brunn (1956) en Macédoine méridionale (Bassin de Grévéna). Elles auraient ensuite joué postérieurement aux dépôts pliocènes, car les couches sont dénivelées et inclinées vers le S, et elles continueraient encore à fonctionner comme l'indiquent les séismes qui affectent périodiquement la Locrie.

Ces failles sont des accidents profonds qui s'alignent dans le prolongement de ceux de la plaine de Trikkala et sont jalonnées au niveau du littoral, par des sources thermo-minérales ascendantes. Elles peuvent donc résulter, comme en Thessalie (J. Aubouin, 1957 a) d'un affaissement plio-quadernaire dû à un rajustement isostatique.

III. — ESSAI DE CORRÉLATIONS STRATIGRAPHIQUES.

J'ai groupé sur la figure 2 différentes séries néogènes helléniques, et j'ai tenté d'établir des

synchronismes partiels d'après les recherches effectuées au NW et au SE de la région étudiée. Ce tableau est une esquisse chronologique qui ne vise nullement à établir des relations précises entre les différents gisements. De nombreux problèmes se posent encore, notamment en ce qui concerne les limites des principaux étages.

Analyse palynologique de deux échantillons du Néogène Grec (2)

Deux échantillons de calcaire lacustre, provenant de la région d'Atalanti (Nord du Parnasse), recueillis près d'Agnandi (Locrie) parmi les déblais d'un puits pour la recherche de lignite, nous ont été aimablement communiqués par M. P. Celet.

(1) DEFRAT J. — Etude géologique et pétrographique de l'île d'Eubée. Thèse, Besançon, 1904.

(2) Par A. Delcourt.

TRAITEMENT CHIMIQUE.

Dans chaque cas, un fragment de quelques grammes, préalablement pulvérisé, est mis à réagir avec de l'acide chlorhydrique, à froid. La réaction est vive dès le début. Quand elle cesse à froid, elle est continuée à chaud. On dissout ainsi une grande partie de la roche. Quand cette réaction est achevée, un premier examen microscopique révèle que les pollenospores sont ici très mal conservés.

Comme une grande partie des matières minérales a été détruite par l'acide chlorhydrique, l'attaque à l'acide fluorhydrique, qui suit, peut se faire à froid et ne pas être prolongée au-delà de 24 heures. Après plusieurs lavages dans l'acide chlorhydrique chaud, les débris organiques gênant l'observation des pollenospores sont éliminés par acétolyse et par macération dans la liqueur de Schultze. Un essai préliminaire a montré que ce dernier traitement détruit beaucoup de pollenospores s'il est prolongé au-delà de 24 heures.

Résultats de l'analyse. — Nous avons pris en considération, dans chaque échantillon, 250 pollenospores identifiables.

	N° de l'échantillon	
	1695	1696
<i>Inaperturopollenites dubius</i>	18	33
<i>I. cf. emmaensis</i>	32	73
<i>Inaperturopollenites sp.</i>	5	2
<i>Cf. Taxodiaceapollenites hiatus</i>	0	3
<i>Abietinaepollenites microalatus</i>	127	112
<i>Pinuspollenites labdacus minor et major</i>	4	5
<i>Piceapollenites sp.</i>	2	0
<i>Abiespollenites absolutus Thiergart</i>	1	0
<i>Sabalpollenites areolatus</i>	5	0
<i>Monosulcites minimus</i>	13	2
<i>Ulmipollenites carpinoïdes, n. comb.</i> ..	27	7
<i>Polyvestibulopollenites verus</i>	10	2
<i>Tricolpopollenites cf. liblarensis fallax</i> ..	3	1
<i>T. cf. asper</i>	1	8
<i>Tricolpopollenites sp.</i>	0	2
<i>Cf. Tilia</i>	1	0
<i>Subtriporopollenites simplex</i>	1	0
Pollenospores comptés	250	250

TABLEAU I

Tous les pollenospores rencontrés paraissent provenir d'arbres. L'immense majorité appartient à des Conifères (surtout *Pinus*, mais aussi *Picea*, *Abies*, des Cupressinées, un petit nombre de Gingkoacées, de Taxodiées). Quelques pollenospores représentent des Salicinées, des Cupulifères, des Bétulacées, des Palmiers...

La pluie pollinique provenait donc principalement de pineraies... qui pouvaient être situées assez loin, car les grains de pollen à sacs aériens peuvent être transportés par le vent jusqu'à 2.000 km. Des Palmiers croissaient probablement sur les côtes basses comme *Sabal Adamsoni* aux Etats-Unis. Plus haut poussaient les Cupulifères et Amentiflores au pollen anémophile.

Les pollenospores observés sont presque tous fortement aplatis.

COMPARAISON AVEC L'EUROPE CENTRALE.

Dans cette région, l'étude palynologique des couches tertiaires constitue un champ encore peu défriché. Par contre, elles ont été étudiées à maintes reprises en Europe Centrale. (Pour les travaux d'ensemble, cf. surtout R. Potonié, 1951 ; Thomson et Pflug, 1953 ; W. Krutzsch, 1957).

Les espèces de forme rencontrées dans nos échantillons se laissent presque toutes identifier aisément avec des espèces communes en Europe Centrale. La pluie pollinique qui s'y trouve fixé semble avoir été peu influencée par la végétation locale : seuls y sont représentés les pollens d'arbres les plus aptes au transport.

Inaperturopollenites dubius (POT. et VEN.) TH. et PF., *Taxodiaceapollenites hiatus* R. POT. et *Abietinaepollenites microalatus* R. POT. se trouvent en plus ou moins grande abondance dans tout le Tertiaire d'Europe Centrale. *Monosulcites minimus* COOKS. est une espèce tertiaire décrite des îles Kerguelen, que R. Couper a également trouvée dans le Jurassique et le Crétacé, d'abord en Nouvelle-Zélande, puis en Grande-Bretagne.

Ulmipollenites carpinoïdes (PF.), n. comb., *Polyvestibulopollenites verus* (R. POT.) PF. et *Tricolpopollenites asper* PF. et TH. se rencontrent dans tout le Néogène d'Europe Centrale.

L'extension stratigraphique de *Sabalpollenites*

areolatus R. POT. ne dépasse pas le Miocène en Europe Centrale.

Pinuspollenites labdacus R. POT. apparaît à l'Oligocène sous les formes *minor* et *major*, au Pliocène sous la forme *maximus* (au-delà de 100 μ).

A mesure que le climat se refroidit, *P. labdacus* remplace *A. microalatus* (cf. Thiergart, 1940). Dans les échantillons étudiés ici, *Pinuspollenites* est peu fréquent et de taille petite ou moyenne.

D'assez nombreux grains de pollen rencontrés dans ces 2 échantillons sont très semblables ou identiques à *Inaperturopollenites emmaensis* (MÜRR. et PF.) PF. et TH. Examinés à l'objectif d'ouverture numérique 1,3, ils donnent des images comparables aux photographies de Mürriger et Pflug (1952, pl. 12, f. 31-38) et à celles de Thomson et Pflug (1953, pl. 5, f. 37-44)... Cependant, l'ornementation consiste ici dans la plupart des cas en de très petites verrues ou gemmules et non en des bâtonnets, ces mots étant pris au sens défini par Thomson et Pflug, (o.c., p. 22 et fig. 2 c-d), alors que dans la description d'*I. emmaensis* (p. 66), ces mêmes auteurs le présentent comme couvert de bâtonnets. Nos grains de pollen ressemblent presque parfaitement à ceux de l'espèce actuelle *Callitris balansae* (cf. G. Erdtman, 1957, fig. 11). C'est du même genre de Cupressinées que Thomson et Pflug (l.c.) rapprochent *I. emmaensis*. Dans nos préparations, ce pollenospore est souvent plissé ou fendu : par cette particularité aussi, il rappelle *I. emmaensis* et le genre *Callitris*.

I. emmaensis (1) se rencontre en Europe Centrale, depuis le Paléocène jusqu'au Miocène moyen.

La pluie pollinique retenue dans nos échantillons rappelle celle qui tombait au Miocène sur l'Europe Centrale.

COMPARAISON AVEC LE NÉOGÈNE ALBANAIS.

S. Samoïlovich a publié un diagramme montrant l'évolution du spectre pollinique en Albanie depuis le Miocène supérieur jusqu'au Pliocène supérieur. On y voit que, pendant toute la fin du Tertiaire, *Pinus* et *Cedrus* fournissaient souvent 50 % au moins des grains de pollen. Les autres genres de Conifères sont surtout abondants au Miocène supérieur où ils représentent parfois jusqu'à 30 % des grains de pollen.

Au Miocène supérieur, à côté des Conifères, dominant les genres *Fagus*, *Quercus*, *Carpinus*, *Ulmus*. Ils sont relayés au Pliocène inférieur par *Alnus* et *Betula*, puis au Pliocène moyen par *Myrica*, les Oléacées, *Pistacia*, *Rhus*, et au Pliocène supérieur par les Chénopodiacées.

La comparaison de la composition pollinique de nos échantillons avec ce diagramme albanais suggère que leur âge n'est pas postérieur au Pliocène inférieur.

(1) Le nom de genre devrait être changé car, suivant R. Potonié (1958, p. 78), le genre *Inaperturopollenites* est limité à des pollenospores à exine mince et intrapunctuée.

	Pliocène	Miocène	Oligocène	Eocène Paléocène	Secondaire
<i>Inaperturopollenites dubius</i>					
<i>I. emmaensis</i>					
<i>Taxodiaceapollenites hiatus</i>					
<i>Abietinaepollenites microalatus</i>					
<i>Abiespollenites absolutus</i>					
<i>Pinuspollenites labdacus minor et major</i> (<i>Monosulcites minimus</i>)					
<i>Sabalpollenites areolatus</i>					
<i>Ulmipollenites carpinoïdes</i>					
<i>Polyvestibulopollenites verus</i>					
<i>Tricolpopollenites asper</i>					
<i>Subtriporopollenites simplex</i>					

TABLEAU 2
Répartition stratigraphique en Europe Centrale (sauf pour *M. minimus*)

Pollenospores	Appartenance botanique probable
<i>Inaperturopollenites dubius</i>	Cupressinées
<i>I. emmaensis</i>	Genre voisin de <i>Callitris</i>
<i>Taxodiaceapollenites hiatus</i>	Taxodiacées
<i>Abietinaepollenites microalatus</i>	<i>Pinus Haploxyton</i>
<i>Pinuspollenites labdacus</i>	<i>Pinus Diploxyton</i>
<i>Abiespollenites absolutus</i>	<i>Abies</i>
<i>Monosulcites minimus</i>	Genre voisin de <i>Gingko</i>
<i>Sabalpollenites areolatus</i>	Pamiers
<i>Ulmipollenites carpinoides</i>	Genre voisin de <i>Carpinus</i>
<i>Polyvestibulopollenites verus</i>	Genre voisin d' <i>Alnus</i>
<i>Tricolpopollenites asper</i>	Genre voisin de <i>Quercus</i>
<i>Subtriporopollenites simplex</i>	Genre voisin de <i>Carya</i>

TABLEAU 3

COMPARAISON AVEC LE LIGNITE DE PTOLEMAÏS.

Weyland et Pflug ont soumis à l'analyse pollinique les lignites de Ptolemaïis, datés par leur faune du Pontien et de la base du Levantin. Dans les 2 échantillons qui font l'objet de leur publication de 1957, ils trouvent une microflore comportant 41 espèces. La microflore du lignite de Ptolemaïis est donc beaucoup plus variée que celle de notre calcaire lacustre, mais 9 (sur 14) de nos espèces de forme se retrouvent à Ptolemaïis.

Echantillons :	Ptolemaïis		Atalanti	
	1	2	1695	1696
Pollens de Conifères sans sacs	17 %	7 %	27 %	44 %
Pollens ailés de Conifères.	46 %	13 %	54 %	47 %
dont : <i>Haploxyton</i>	32 %	10 %	51 %	45 %
<i>Diploxyton</i>	8 %		2 %	2 %
<i>Picea</i>	5 %		1 %	
Cupulifères	17 %		2 %	4 %
Amentiflores	14 %		15 %	4 %
Monocolpés	5 %	37 %	2 %	1 %
(en dehors de <i>M. minimus</i>)				

TABLEAU 4

Comparaison des microflores de 2 échantillons de Ptolemaïis (Weyland et Pflug, 1957) et d'Atalanti.

On remarquera la grande différence de composition microfloristique entre les 2 échantillons de même âge, provenant du bassin de Ptolemaïis. Le

deuxième semble avoir été influencé beaucoup plus par la végétation locale, et c'est donc plutôt à l'échantillon n° 1 qu'il faut comparer les nôtres. On trouve alors une remarquable concordance : 46 % de pollens ailés à Ptolemaïis contre 47 à 54 % à Atalanti, 14 % d'Amentiflores contre 4 à 15 %, 5 % de Monocolpés (autres que *Monosulcites minimus*) contre 1 à 2 %.

Récemment (1960), Weyland, Pflug et Mueller ont fourni un profil pollinique des lignites de Ptolemaïis. Ce profil concerne et permet de relier entre elles plusieurs coupes verticales de 3 m de hauteur environ, observables dans des exploitations voisines. Les niveaux 5 et 29 de ce profil offrent des microflores comparables à celles de nos échantillons.

Les grains de pollen ailés du type *Haploxyton* sont 3 à 8 fois plus nombreux que ceux du type *Diploxyton* à Ptolemaïis ; ce rapport est de 22 à 25 dans le bassin d'Atalanti. On sait que le type *Diploxyton* remplace peu à peu le type *Haploxyton* dans le courant du Néogène. Le rapport est d'environ 3,5/1 au Pliocène inférieur et de 1,5/1 au Pliocène moyen en Europe centrale. La valeur un peu plus élevée à Ptolemaïis peut s'expliquer par un climat plus chaud aux latitudes plus méridionales. Dans les 2 échantillons d'Atalanti, le type *Haploxyton* domine beaucoup plus largement : cette observation permet de suggérer que les calcaires d'Atalanti seraient plus anciens que les lignites de Ptolemaïis.

Conclusion

Il n'est pas possible de trancher définitivement l'âge des sédiments étudiés. Cependant :

1) Leur microflore pollinique rappelle celle de l'Europe Centrale au Miocène.

2) Elle concorde très bien avec celle d'Albanie au Miocène supérieur et au Pliocène inférieur.

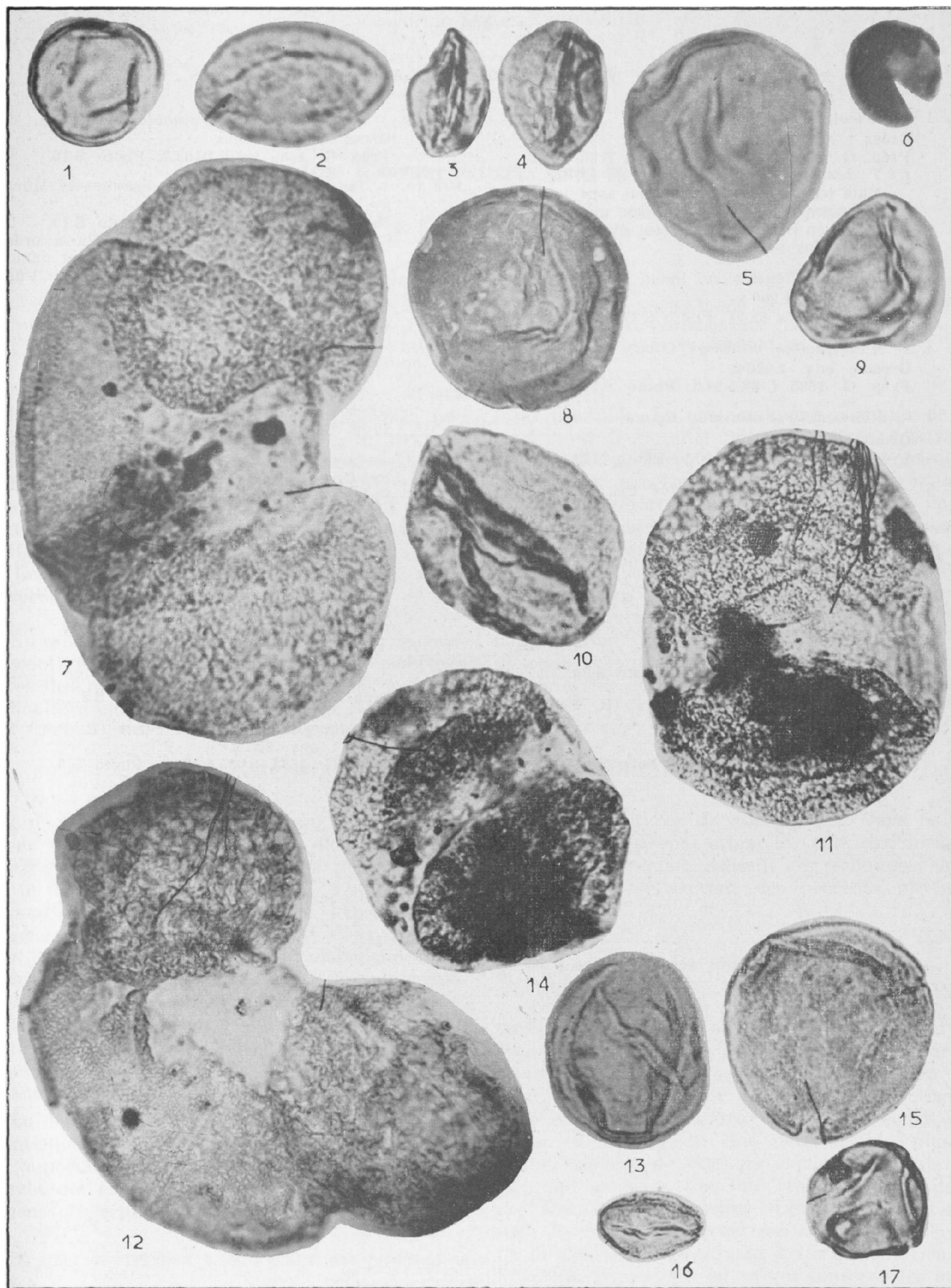
3) Elle est comparable avec celle qui a été étudiée par Weyland et Pflug dans les lignites de Ptolemaïs, d'âge Pontien-Levantien inférieur.

Le nombre beaucoup moins élevé de grains de pollen ailés du type *Diploxyloides* trouvés dans nos échantillons indique un climat plus chaud lors du dépôt du calcaire d'Atalanti et suggère donc de lui attribuer un âge plus ancien.

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

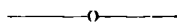
Stratigraphie et tectonique :

- AUFOUIN J. (1957 a). — Sur la géologie de la bordure méridionale de la plaine de Trikkala (Thessalie). *Ann. géol. Pays hellén.*, t. VIII, p. 222-232.
- » (1957 b). — Essai de corrélations stratigraphiques en Grèce occidentale. *B.S.G.F.*, (6), t. VII, p. 281-304.
- BITTNER A. (1880). — Der geologische Bau von Attika, Pöotien, Lokris und Parnassis. *Denkschr. Wiener Akad. Wiss.*, t. XL, p. 1-74.
- BOURCART J. (1922). — Les Confins Albanais administrés par la France. *Thèse*, Paris, in-4°, Delagrave.
- BRUNN J.H. (1956). — Contribution à l'étude géologique du Pinde septentrional et d'une partie de la Macédoine occidentale. *Ann. géol. Pays hellén.*, t. VII, 358 p.
- CVIJIĆ J. (1911). — L'ancien Lac Egéen. *Ann. de Géogr.*, 20, p. 233-259.
- PAFAMATIOTOU J.N. (1952). — Geological survey on the Ptolemaïs lignite basin. *Inst. for Geol. and Subs. Research*, t. II, p. 51-95.
- PAFAMATIOTOU J.N., TATARIS A., KATSIKATSOU G. (1959). — Geological mapping of Amfikliá. *I.G.S.R.*, bull. 4-5, p. 6-7 (en Grec).
- PAVLOVIC P.S. (1926). — Matériaux pour l'étude du Tertiaire en Serbie. V. III. *Ann. géol. Pén. balk.* (8), fasc. 2, p. 83-96 (rés. français).
- PHILIPPSON A. (1894). — Der Kopais-See in Griechenland und seine Umgebung. *Zeitschr. Gesellsch. Erdkunde*, Bd. XXIX, n° 1, p. 1-90.
- RENZ C. (1940). — Die Tektonik der griechischen Gebirge. *Mém. Ac. Ath.* (8), p. 1-171.
- » (1955). — Die vorneogene Stratigraphie der normal-sedimentären Formationen Griechenlands. Athènes. *Publ. Inst. geol. Subs. Research*, 637 p.
- SAUVAGE M. (1846). — Observations sur la géologie d'une partie de la Grèce continentale et de l'île d'Eubée. *Ann. des Mines*, Paris, 4^e sér., t. X, p. 101-156.
- Palynologie :*
- KRUTZSCH W. (1957). Sporen- und Pollengruppen aus der Oberkreide und dem Tertiär Mitteleuropas und ihre stratigraphische Verteilung. *Z. ang. Geol.*, 3, 509-548, tabl. 1-2, pl. 1-16, fig. 1.
- MÜRRIGER F. und PFLUG H. (1952). — Über eine palynologische Untersuchung des Braunkohlenlagers der Grube Emma bei Marxheim (Untermaingebiet). *Not. Heissischem Land. Bod. Wiesbaden*, 6, 56-66, pl. 11-12.
- POTONIE R. (1951). — Revision stratigraphisch wichtiger Sporomorphen des Mitteleuropäischen Tertiärs. *Pal.*, 91 B, 131-151, pl. 1-2, tabl. 1.
- » (1958). — Synopsis der Gattungen der Sporae dispersae. II Teil. *Beih. Geol. Jahrb.*, 31, 1-114, pl. 1-11.
- POTONIE und VENITZ H. (1934). — Zur Mikrobotanik des miozänen Humodils der niederrheinischen Bucht. *Arb. Inst. Pal. Pet. Brenns.*, 5, 1-54, fig. 1-2, pl. 1-4.
- SAMOILOVICH S.R. (1958). — Sur les changements dans la couverture végétale de l'Ouest des Balkans au Tertiaire supérieur. *Dokl. Akad. Nauk S.S.S.R.*, t. 120, 637-640 (en russe).
- THOMSON P.W. und PFLUG H. (1953). — Pollen und Sporen des Mitteleuropäischen Tertiärs. *Pal.*, 94 B, 1-38, pl. 1-15, fig. 1-20, tabl. 1-4.
- WEYLAND H. und PFLUG H. (1957). — Die Pflanzenreste der Pliozänen Braunkohle von Ptolemaïs in Nordgriechenland. I. *Ibid.*, 102 B, 96-109, pl. 21-22, fig. 1.
- WEYLAND H., PFLUG H. und MUELLER H. (1960). — Id., II, *ibid.*, 106 B, 71-98, fig. 1, diag. 1-3, pl. 8-14.
- WEYLAND H., PFLUG H. und PANTIĆ N. (1958). — Untersuchungen über die Sporen- und Pollen-Flora einiger jugoslawischer und griechischer Braunkohlen. *Ibid.*, 105 B, 75-99, pl. 13-18.



LEGENDE DE LA PLANCHE

- FIG. 1. — *Tricolpopollenites* sp.
Gross. : env. 1.200 x.
Prép. G. 1696 a 36,9-94,7. Photo S 38.
Cf *T. densus* Pr. 1953, p. 96, et pl. II, fig. 55-58.
Mais les bâtonnets de l'exine sont ici moins grossiers et ne forment pas une ornementation en relief. Le grain est d'ailleurs légèrement plus petit.
- FIG. 2. — *Tricolpopollenites* sp. indet.
Gross. : env. 1.200 x.
Prép. G. 1696 a 38-93. Photo S 37.
- FIG. 3. — *Monosulcites minimus* COOKS.
Gross. : env. 1.000 x.
Prép. G. 1695 f 38,5-94,3. Photo S 15.
- FIG. 4. — *Monosulcites minimus* COOKS.
Gross. : env. 850 x.
Prép. G. 1695 g 37,2-100,9. Photo S 21.
- FIG. 5. — *Ulmipollenites carpinoides* Pr., n. comb.
Gross. : env. 1.200 x.
Prép. G. 1695 e 35-102. Photo S 36.
- FIG. 6. — Cf. *Taxodiaceapollenites hiatus* R. Pot.
Gross. : env. 1.200 x.
Prép. G. 1696 b 38,9-97. Photo S 29.
- FIG. 7. — *Pinuspollenites labdacus major* R. Pot.
Gross. : env. 1.000 x.
Prép. G. 1695 g 40,9-101,3. Photo S 20.
- FIG. 8. — *Subtriporopollenites simplex* (R. Pot. 1931, non Pot. et VEX.) TH. et Pr.
Gross. : env. 650 x.
Prép. G. 1695 d 31,7-95,3. Photo S 10.
- FIG. 9. — *Ulmipollenites carpinoides* (Pr.), n. comb.
Gross. : env. 1.000 x.
Prép. G. 1695 g 39,1-104,7. Photo S 16.
- FIG. 10. — *Inaperturopollenites* cf. *emmaensis* MüRR. et Pr. Gross. : env. 1.000 x.
Prép. G. 1695 g 38,4-102,1. Photo S 19.
Grain de pollen ouvert, comme cela se présente souvent dans le genre *Callitris* (et dans *Inaperturopollenites emmaensis*, suivant Pflug et Thomson, l.c.).
- FIG. 11. — *Pinuspollenites labdacus major* R. Pot.
Gross. : env. 650 x.
Prép. G 1695 g 36,5-96,9. Photo S 25.
- FIG. 12. — *Abiespollenites absolutus* THIERG.
Gross. : env. 650 x.
Prép. G. 1695 e 33,2-96,8. Photo S 11.
- FIG. 13. — *Inaperturopollenites* cf. *emmaensis* MüRR. et Pr. Gross. : env. 1.000 x.
Prép. G. 1695 g 35,2-103,6. Photo S 17.
- FIG. 14. — *Abietinaepollenites microalatus* R. Pot.
Gross. : env. 1.000 x.
Prép. G. 1695 f 35-97,2. Photo S 12.
- FIG. 15. — *Inaperturopollenites* cf. *emmaensis* MüRR. et Pr. Gross. : env. 850 x.
Prép. G. 1695 g 45,7-97,4. Photo S 24.
- FIG. 16. — *Sabalpollenites areolatus* R. Pot.
Gross. : env. 650 x.
Prép. G. 1695 a 22,5-92,4. Photo S 8.
- FIG. 17. — *Polyvestibulopollenites verus* (R. Pot.) Pr.
Gross. : env. 650 x.
Prép. G. 1695 b 35,5-100,4. Photo S 9.



Techniques d'observation des microspores

par J. DANZÉ (1)

(Pl. X)

Sommaire. — La plupart des recherches effectuées en vue d'améliorer la précision dans l'observation des microspores ont eu des résultats peu satisfaisants. Toutefois, l'éclairage en « contraste interférentiel » marque un net progrès en donnant un relief aux différents types d'ornementation.

En paléontologie végétale, les organismes rassemblés sous le nom compréhensif de microspores « dispersées » sont, en réalité, biologiquement hétérogènes ; en effet, ils peuvent indifféremment correspondre, soit à des spores de végétaux homosporés (Ptéridophytes), soit à des spores mâles de végétaux hétérosporés (Arthropytes, une partie des Lépidophytes), soit même à des éléments mâles de certains Préphanérogames.

En ce qui concerne les temps géologiques relativement récents, on arrive à rapprocher les spores isolées des plantes qui les ont produites mais, au Carbonifère par exemple, ce problème est pratique-

ment insoluble. Le seul caractère commun de ces formes est leur taille maximum fixée arbitrairement à 200 μ . Presque impossible par conséquent du point de vue botanique, leur étude revêt néanmoins un intérêt pratique particulièrement important. En effet, les microspores sont extrêmement nombreuses dans les charbons de la plupart des bassins houillers du monde ; leur uniformité de dispersion sur des aires très étendues permet des raccords stratigraphiques précis utilisables pour l'exploitation et les travaux de recherche. C'est pourquoi il importe de pouvoir examiner ces microspores et les déterminer avec le plus de précision possible.

CONDITIONS ET TECHNIQUES D'OBSERVATION

Les microspores provenant du charbon sont observées entre lame et lamelle dans un milieu de glycérine gélatinée auquel on a incorporé une goutte de la boue provenant de l'« attaque » de l'échantillon. La transparence de l'ensemble est en général tout à fait satisfaisante. Sous le microscope, les spores s'avèrent très nombreuses (pour certains charbons, plusieurs milliers par préparation). Elles sont irrégulièrement translucides et portent une ornementation souvent complexe qui se traduit par des alternances de zones concentriques foncées ou claires, la présence de granules ou tubercules sombres, etc...

La détermination spécifique des microspores est essentiellement basée sur la nature, la distribution et l'importance de cette ornementation. On a donc cherché des méthodes permettant d'identifier rapidement ces critères et de décrire avec précision

les différents types de microspores. Dans ce but, les recherches se sont orientées vers deux domaines distincts : le premier utilisant des techniques chimiques, l'autre se servant des procédés physiques (optiques).

I. — Les méthodes chimiques.

Elles consistent à faire varier le temps des traitements oxydant ou basique qui constituent l'« attaque » ou à les répéter afin d'obtenir un éclaircissement de la paroi et une meilleure visibilité des ornements de celle-ci. Malheureusement, cette technique se retourne quelquefois contre elle-même en provoquant une détérioration plus ou moins franche de certains éléments délicats tels que, par exemple, une fine frange équatoriale ou des épines très allongées. Les palynologistes se sont donc le plus souvent contentés de rechercher un terme moyen conservant à l'ornementation son intégrité. Cependant, en ce qui concerne les méga-

(1) Chef de Travaux à la Faculté des Sciences de Lille.

spores (diamètre supérieur à $200\ \mu$), d'excellents résultats ont été obtenus aux Pays-Bas et en Grande-Bretagne ; il a en effet été possible de dégager parfaitement la sculpture de la paroi grâce à des variations de traitement obtenues à la suite de très nombreuses expériences.

Il ne me semble pas utile d'insister sur des techniques qui, en outre, se heurtent à des cas particuliers pour chacun des bassins et même chacune des veines étudiées.

II. — Les méthodes optiques.

Étant donnée l'exiguïté des microspores, elles ne peuvent être observées qu'au microscope, entre lame et lamelle et à des grossissements variant entre 500 et 1500. Si l'on désire améliorer les conditions d'observation, les difficultés à résoudre consistent dans :

a) l'épaisseur relative des sujets étudiés : en moyenne de 5 à $20\ \mu$;

b) la très grande finesse de l'ornementation.

Par conséquent, les différentes voies envisagées ont toutes cherché à éliminer ces deux obstacles bien qu'il existe, en principe, une impossibilité optique presque absolue à leur disparition simultanée. En effet, ceci revient à faire augmenter en même temps la profondeur de champ et le pouvoir de résolution, caractères qui sont fonctions inverses l'une de l'autre.

1) LUMIÈRE TRANSMISE (1).

Ce procédé, le plus classique, a été utilisé dès les débuts de la palynologie. A ce moment, le souci de perfection en microscopie était particulièrement orienté vers les différentes qualités des objectifs à fort coefficient. En ce qui concerne l'observation, les torsions latérales et le chromatisme étaient pratiquement éliminés mais la frange de diffraction restait présente dans la plupart des cas et, en outre, la profondeur de champ s'avérait toujours faible. La récente mise au point d'oculaires à grossissement important et à grand champ a permis de compenser plusieurs de ces insuffisances. Malheureusement, les oculaires photographiques n'ont pas toujours été également transformés.

(1) La source lumineuse étant une lampe à incandescence, il s'agit en réalité d'une lumière « rouge » ou, plus exactement, d'un éclairage où les rayonnements bleus sont de très faible intensité.

Dans ces conditions, la photographie des microspores se retrouve soumise aux qualités des objectifs, avec tous les inconvénients que cela comporte. En plus, pour l'œil comme pour l'oculaire photo, la lumière transmise fait percevoir les différents types d'ornementation comme des ombres aux contours diffus, sauf sur le pourtour de la spore, et les images qui correspondent aux ornements des deux faces de cette spore se superposent. Le résultat est donc bien souvent très difficile à interpréter. L'observation directe peut éliminer partiellement cet effet, si la mise au point micrométrique de l'appareil est changée. Mais la photographie qui représente un plan bien défini, à la suite de la faible profondeur de champ de l'objectif, ne peut donner qu'une idée imparfaite de la microspore figurée. Une fermeture presque complète du diaphragme d'ouverture donne l'illusion d'augmenter la profondeur de champ alors qu'elle se traduit en fait par la multiplication des zones de diffraction et conduit donc à un résultat opposé à celui recherché.

Bien qu'imparfait, le procédé d'observation en lumière transmise demeure néanmoins un des plus utilisés ; ses imprécisions mêmes constituent une échelle de référence mais, malencontreusement, elles se traduisent trop souvent par des méprises dans l'interprétation des clichés photo.

2) LUMIÈRE MONOCHROMATIQUE TRANSMISE.

Cette technique est assez souvent utilisée dans le but de rendre homogène le « fond » des photos obtenues. Elle n'apporte toutefois pas de progrès notable en ce qui concerne la profondeur de champ ou la diffraction.

3) CONTRASTE DE PHASE.

Par son principe, qui réside dans un décalage entre les phases des rayons lumineux arrivant sur la lame, le contraste dit « de phase » est destiné à augmenter la différence de teinte entre, d'une part, les objets contenus dans une préparation et, d'autre part, le milieu d'inclusion. Permettant donc d'éviter les colorations, il est très utile en biologie où, dans certains cas, les « lames » sont uniformément colorées. Mais il ne peut, à mon avis, prétendre qu'à une utilisation restreinte en palynologie houillère. En effet, le plus fréquemment, les microspores conservent, de la volonté même de leur utilisateur, une teinte bien soutenue. Dans ces conditions, il n'apparaît pas particulièrement

nécessaire de renforcer un contraste déjà préexistant. Cependant, le problème peut être différent en ce qui concerne les microspores provenant de terrains plus récents.

4) CONTRASTE INTERFÉRENTIEL.

Le contraste dit « interférentiel » (1) permet d'observer les microspores sous un angle très différent de ceux où l'on pouvait les examiner grâce aux techniques précédentes. En effet, à la suite de la présence d'un polariseur, d'un analyseur et d'un ensemble de lames auxiliaires sur le trajet des rayons, la « lumière transmise » se transforme pratiquement en « lumière incidente » en restant toutefois accompagnée d'un silhouettage particulièrement efficace. Dans ces conditions, l'ornementation des microspores, au lieu de se traduire par des ombres floues, prend un relief qui permet de l'observer et la préciser sans aucune difficulté. En outre, on évite la superposition des détails concernant chacune des deux faces de la spore, superposition qui, on l'a vu, s'effectue obligatoirement lors de l'observation en lumière simple. Il apparaît donc indiscutable que ce procédé permet une bien meilleure connaissance des types étudiés et, à partir de là, une différenciation plus facile entre les genres et les espèces.

Les quelques exemples figurés Pl. X me semblent illustrer cette théorie.

Si l'on considère les deux exemplaires d'*Acanthotriletes microspinosus* figurés en 1 et 2, il est évident que les photos 1 b et 2 b, prises en contraste interférentiel, amènent à une conception de cette microspore beaucoup plus facile que celle obtenue d'après les figures 1 a et 2 a, prises en lumière transmise. Les épines allongées ont en effet un relief bien plus marqué et sont visibles sur toute la surface de la spore.

La différence de netteté est aussi distincte en ce qui concerne les clichés respectifs de *Dictyotriletes bireticulatus* (fig. 7 a et 7 b) et *Cyclogranisporites aureus* (fig. 8 a et 8 b). Chez la première espèce, les « murailles », vues en contraste interférentiel, ont un contour plus franc et leur hauteur est précisée tandis que chez *Cyclogranisporites aureus*, c'est le relief des granulations qui apparaît plus nettement en montrant la forme réelle de cette ornementation.

(1) Dispositif Nomarsky.

Chez *Densosporites cf. faunus* (fig. 6 a et 6 b), les deux clichés ne semblent pas, au premier abord, tellement différents. Cependant, on peut remarquer que, sur la photo prise en contraste interférentiel (fig. 6 b) :

a) la frange équatoriale est tuyautée et ne constitue pas une surface presque plane comme on pourrait le croire au vu de la fig. 6 a (lumière transmise) ;

b) des lacunes sont visibles à l'intérieur de cette même frange, en haut et à droite ;

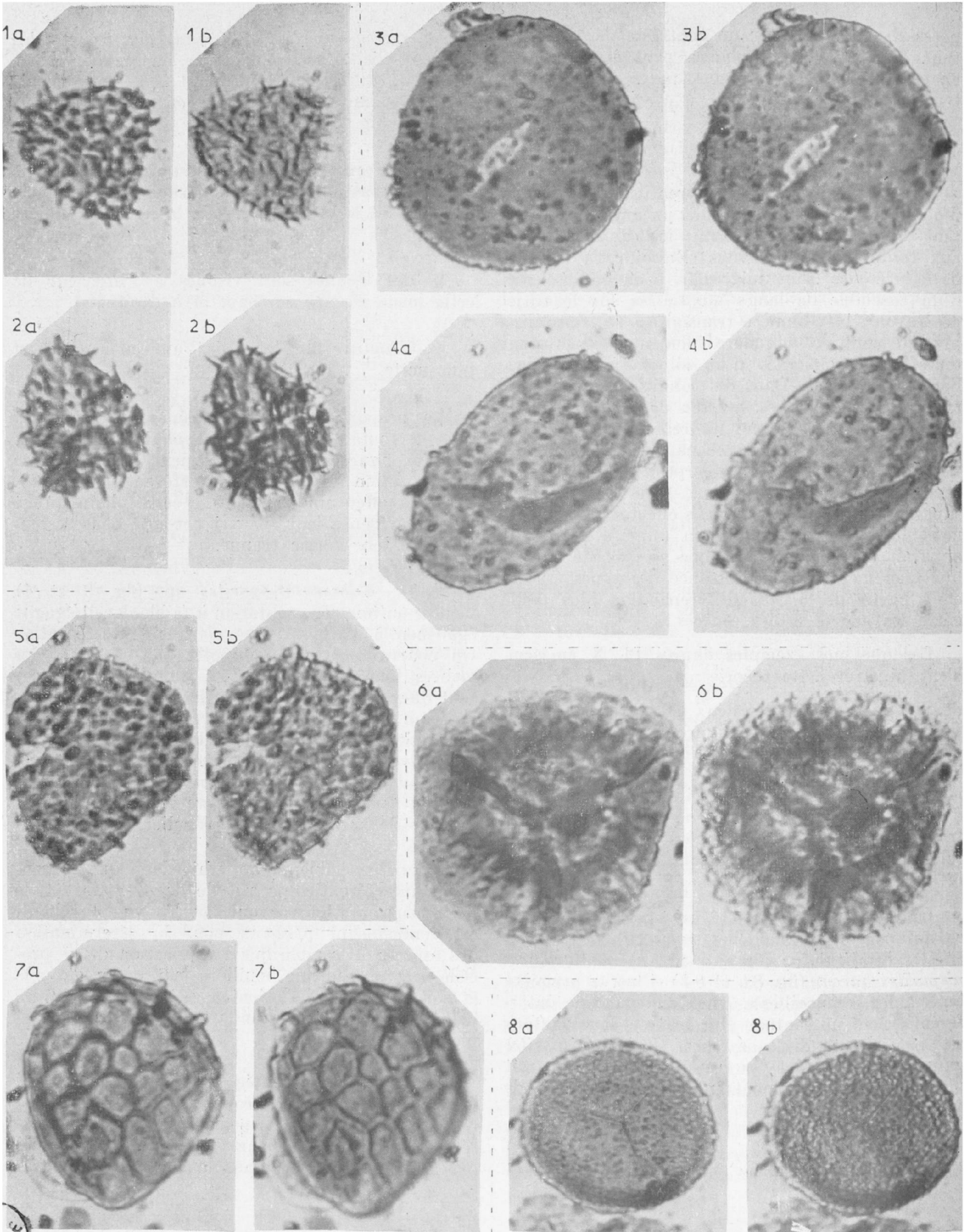
c) la nature fibrilleuse de l'anneau sombre est plus nette.

Les proportions exactes des cônes qui recouvrent presque toute la surface de *Lophotriletes pseudoculeatus*, figuré en 5, sont fortement précisées grâce à l'utilisation du contraste interférentiel (fig. 5 b). C'est en effet uniquement sur cette photo qu'est mis en évidence leur sommet arrondi, cause essentielle de leur forme trapue.

Enfin, *Tuberculatosporites* sp. (fig. 3 et 4) montre qu'une ornementation à faible densité gagne également à être observée en contraste interférentiel. On pourrait, en effet, supposer que certaines des ombres foncées en 3 a et 4 a (lumière transmise) sont dues à des impuretés de la préparation superposées à la spore. Les fig. 3 b et 4 b montrent que, en réalité, il s'agit bien là de tubercules faisant corps avec l'exine et ceci permet de conclure que *Tuberculatosporites* pouvait posséder des tubercules de dimensions extrêmement variables et dont le contour de base était très irrégulier.

Dans l'ensemble, il apparaît donc que le contraste interférentiel permet de dégager les détails de l'ornementation, ce qui, on l'a vu plus haut, est éminemment précieux pour la détermination des espèces. Il semble que l'application de ce procédé à la palynologie houillère marque un progrès et soit susceptible d'orienter cette discipline vers un domaine de plus grande précision morphographique.

Les photos représentées Pl. X ont toutes été exécutées sur un microscope B.B.T. Krauss type U/R.C. 3 possédant l'équipement de contraste interférentiel (dispositif Nomarsky). Les clichés ont été pris sur film 24 × 36, dans la chambre photogra-



phique dite « chambre Cornu ». Les objectifs utilisés avaient respectivement des coefficients de grossissement de 60 x (fig. 1 à 7) et 40 x (fig. 8). Aucune rectification de mise au point, intensité lumineuse, introduction de filtre, n'a été apportée entre les deux clichés correspondant à une même spore. La seule modification réside dans le fait que le polariseur, escamoté pour la photo en lumière transmise, a été remis en place pour le cliché en contraste interférentiel.

REMARQUES ET CONCLUSIONS

A la fin de cette étude, il me semble utile d'ajouter une remarque concernant la figuration photographique. En effet, les techniques que je viens d'examiner ne sont pas destinées uniquement à améliorer les conditions d'observation des microspores mais aussi, et surtout, à rendre leur photographie plus nette. Etant donné le degré de précision que l'on peut actuellement atteindre, il serait désormais souhaitable de figurer les microspores sans découper le contour des épreuves photographiques avant de les placer sur la maquette de la planche. En effet, ce dernier procédé, s'il permet d'augmenter l'esthétique des planches par suppression des « fonds » plus ou moins irréguliers, amène souvent à une incertitude gênante en ce qui concerne l'allure du contour réel de la spore et, par suite, les possibilités d'utilisation de la figure pour la détermination.

5) LUMIÈRE INCIDENTE.

J'ai effectué quelques essais d'observation de microspores en utilisant un éclairage incident provenant d'un condensateur torique entourant l'objectif, accompagné d'un silhouettage en lumière monochromatique (1). Ce procédé donne d'excellents résultats pour les études de détail de l'ornementation. Il est malheureusement limité par la faible profondeur de son champ.

En conclusion, on voit que les essais destinés à faciliter la détermination des microspores se sont toujours heurtés à de très grandes difficultés. Un résultat positif vient cependant d'être obtenu grâce à l'utilisation du contraste interférentiel. Son intérêt, évident en ce qui concerne les ornements à gros éléments, semble moins spectaculaire dans l'examen des parois finement ornées. Néanmoins, dans tous les cas, une meilleure connaissance de la spore devient possible. C'est pourquoi j'espère que cette technique pourra servir à faire progresser en précision la morphographie des microspores carbonifères et, peut-être, l'ensemble de la palynologie.

(1) Dispositif « épiphot » des microscopes B.B.T.

EXPLICATION DE LA PLANCHE X (1) (2)

FIG. 1 et 2 : *Acanthotriletes microspinosus* (Ibrahim) Pot. et Kremp. Gr. = 1000.

FIG. 1 a : face distale d'une spore vue en lumière transmise.

FIG. 1 b : même spore que précédemment mais photographiée en contraste interférentiel ; les épines sont beaucoup plus nettes et leur distribution plus facilement visible.

Origine : Bruay, Fosse n° 3, 22^e veine.

Assise : Bruay, faisceau de Six-Sillons.

Collection : Laboratoire de Paléobotanique de la Faculté des Sciences de Lille, section Palynologie, essai n° 234 C 1.

FIG. 2 a : spécimen éclairé en lumière transmise.

FIG. 2 b : même spore que sur la figure précédente mais observée en contraste interférentiel. La surface de l'exine et le mode d'insertion des épines devient visible.

Origine : Bruay, Fosse n° 3, veine 18-18 bis.

Assise : Bruay, sommet du faisceau de Six-Sillons.

Collection : Lab. Paléobot. Fac. Sci. Lille, sect. Palyn., essai n° 227 C 1.

FIG. 3 et 4 : *Tuberculatosporites* sp. Gr. = 1000.

FIG. 3 a : surface proximale d'une spore montrant la fente de déhiscence ouverte (lumière transmise).

FIG. 3 b : même spécimen que sur la fig. 3 a, observé en contraste interférentiel. Les lèvres de la fente de déhiscence sont plus nettes et l'ornementation mieux définie.

Origine : Auchel, Fosse n° 2, Dure veine.

Assise : Bruay, sommet du faisceau de Six-Sillons.

Collection : Lab. Paléobot. Fac. Sci. Lille, sect. Palyn., essai n° 206 C 1.

FIG. 4 a : spore allongée, vue en lumière transmise et dont l'ornementation est floue.

FIG. 4 b : le même individu que sur la figure précédente, observé en contraste interférentiel. L'ornementation est maintenant distincte et on peut préciser sa nature.

Origine : Bruay, Fosse n° 6, veine 17 ter.

Assise : Bruay, limite entre les faisceaux d'Ernestine et de Six-Sillons.

Collection : Lab. Paléobot. Fac. Sci. Lille, sect. Palyn., essai n° 24 C 1.

FIG. 5 : *Lophotriletes pseudaculeatus* Pot. et Kremp.
Gr. = 1 000.

FIG. 5 a : face proximale d'une spore figurée en lumière transmise.

FIG. 5 b : même spore qu'en 5 a, mais vue en contraste interférentiel. On juge plus facilement la nature et la distribution de l'ornementation.

Origine : Auchel, Fosse n° 2, Dure veine.

Assise : Bruay, sommet du faisceau de Six-Sillons.

Collection : Lab. Paléobot. Fac. Sci. Lille, sect. Palyn., essai n° 206 C 1.

FIG. 6 : *Densosporites cf. faunus*. Gr. = 1 000.

FIG. 6 a : face proximale vue en lumière transmise.

FIG. 6 b : même spore que en 6 a, éclairée en contraste interférentiel. L'allure particulière de la frange équatoriale est bien mise en relief, ainsi que les lacunes de cette frange.

Origine : Bruay, Fosse n° 6, veine 18.

Assise : Bruay, sommet du faisceau de Six-Sillons.

Collection : Lab. Paléobot. Fac. Sci. Lille, sect. Palyn., essai n° 23 C 1.

FIG. 7 : *Dictyotriletes bireticulatus* (Ibrahim) Pot. et Kremp. Gr. = 1 000.

FIG. 7 a : spécimen observé en lumière transmise, montrant un ensemble assez flou.

FIG. 7 b : même spore que précédemment, vue en contraste interférentiel. Le contour des murailles ainsi que leur hauteur sont maintenant facilement visibles.

Origine : Bruay, Fosse n° 6, veine 17 ter.

Assise : Bruay, limite entre les faisceaux d'Ernestine et de Six-Sillons.

Collection : Lab. Paléobot. Fac. Sci. Lille, sect. Palyn., essai n° 24 C 1.

FIG. 8 : *Cyclogranisporites aureus* (Loose) Pot. et Kremp. Gr. = 500.

FIG. 8 a : face proximale d'une spore (lumière transmise).

FIG. 8 b : même échantillon que sur la fig. 8 a, examiné en contraste interférentiel. La finesse de la granulation de l'exine est parfaitement distincte ainsi que la marque trilète.

Origine : Bruay, Fosse n° 6, veine 17 bis.

Assise : Bruay, base du faisceau d'Ernestine.

Collection : Lab. Paléobot. Fac. Sci. Lille, sect. Palyn., essai n° 32 C 1.

(1) Vu le caractère uniquement technique de cette note, l'ordre de classification morphographique a été négligé dans la composition de la planche.

(2) Reproduction de la planche par cliché cuivre.

Sur quelques aspects des eaux salées du terrain houiller du Nord de la France ⁽¹⁾

par Michel WATERLOT ⁽²⁾

(2 fig. - Pl. XII)

Sommaire. — L'auteur étudie les caractères chimiques d'eaux très salées recueillies dans les Houillères du Bassin du Nord et du Pas-de-Calais. L'ensemble d'eaux sélectionnées s'étend de 280 à 2.207 milliéquivalents grammes de chlore par litre d'eau et comprend 43 analyses. Ces eaux, dont le débit est généralement faible, sont caractérisées par une grande chloruration et par l'absence presque totale des ions SO_4^- et CO_3^- . D'autre part, la valeur relative des métaux alcalino-terreux augmente régulièrement au détriment de celle des métaux alcalins au fur et à mesure de l'augmentation de la salinité totale ; le rapport $\frac{\text{Na} + \text{K}}{\text{Ca} + \text{Mg}}$, avoisinant 7 pour les analyses les moins chargées de la série étudiée, se rapproche de 1 et finit par être inférieur à l'unité pour l'analyse la plus chargée. Enfin, il faut remarquer que, dans certaines limites, la salinité augmente nettement avec la profondeur.

Les eaux recueillies dans le terrain houiller du Nord de la France sont presque toujours minéralisées, quelquefois elles peuvent l'être fortement. Toutefois, leur composition chimique peut varier dans de très grandes proportions selon le lieu et le débit des exutoires.

On peut, semble-t-il, distinguer un groupe d'eaux à débit relativement faible et de salure forte d'un autre groupe caractérisé, lui, par un débit important et continu allié à une salure beaucoup moins élevée. Ce dernier groupe, qui constitue la quasi-totalité des eaux d'exhaure, provient, on

le sait, d'infiltrations des morts-terrains ou de remontées artésiennes venant principalement du Calcaire carbonifère.

Cette étude rapide sera consacrée aux eaux du premier groupe, assez caractéristiques du terrain houiller, bien que peu importantes au point de vue technique. Il est bien évident que ces deux grands types d'eaux ne coexistent pas sans mélanges. J'ai sélectionné ici un ensemble d'eaux suffisamment homogène, aux caractères suffisamment tranchés pour écarter toute possibilité de mélange.

Caractères chimiques généraux

J'ai, en sélectionnant les analyses, choisi de faire débiter le groupe homogène étudié ici aux environs de 280 milliéquivalents grammes de chlore par litre, cela correspond à un résidu sec d'environ 18.500 mg/l. En ce qui concerne la limite supérieure de salinité, l'eau la plus chargée en ions, connue actuellement, provient du siège 4 Sud de Droecourt. Son résidu sec est de 155.600 mg/l et sa teneur en chlore est de 2.207 milliéquivalents grammes (mé) ou quantités en réaction (r) par litre, soit 78.350 mg/l.

Ce caractère de grande chloruration et même souvent d'hyperchloruration, allié aux autres caractères que nous allons examiner ci-dessous, rend ce groupe très spécial à tous les points de vue.

(1) Je tiens à remercier M. G. Waterlot de m'avoir fourni ce sujet d'étude, et de m'avoir conseillé tout au long de mon travail.

Ce travail n'a évidemment pu être entrepris que grâce à l'aide des Houillères du Bassin du Nord et du Pas-de-Calais, MM. Blazy, Bouroz, Buisine, Chalard, Dalinval, Donze et PuiBaraud m'ayant accordé toute leur aide. L'appui matériel du B.R.G.M. m'a permis de faire de nombreuses visites dans les différents groupes d'exploitation des H.B.N.P.C. Je suis, à ce sujet, très heureux de remercier M. le Directeur du B.R.G.M. et M. Ricour.

Je ne saurais passer sous silence l'aide efficace que m'a apportée M. J. Delecourt, Ingénieur et Entrepreneur de Forages, qui a bien voulu me mettre au courant de ses méthodes hydrogéologiques et me faire profiter de son expérience.

(2) Assistant de Géologie à la Faculté des Sciences de Lille.

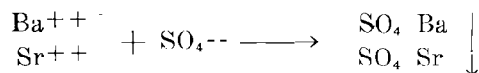
1) ETUDE DES ANIONS.

A) *Le chlore et les anions monovalents.* — Dans toutes les analyses dont j'ai pu disposer, le chlore a été dosé et j'ai, de ce fait, classé les analyses par teneurs croissantes en chlore. On obtient d'ailleurs la même succession, nous en verrons plus tard la raison, en classant les analyses par salinités croissantes (1). Nous venons de voir que, dans le groupe étudié ici, l'éventail des teneurs absolues en chlore est large puisqu'il va de 278 à 2.207 milliéquivalents grammes par litre. Le caractère le plus important à noter est que, dans ces eaux très salées, le chlore est pratiquement le seul anion existant.

Si l'on se reporte à la fig. 1, on s'aperçoit que le chlore avoisine rapidement la valeur de 50 % des ions, soit la quasi-totalité des anions. Sur ce graphique, montrant les variations de pourcentage des ions, les analyses étant classées par salinités croissantes, il est facile de constater que la courbe représentative de l'ion Cl⁻ frôle vite l'axe des 50 %. Il importe, je crois, de noter ce caractère spécifique.

Restons dans le domaine des anions monovalents en indiquant que les résultats concernant la recherche du brome et de l'iode n'ont jamais été mentionnés dans les analyses concernant notre bassin houiller. (On trouvera, pour les Pays-Bas et la Belgique, quelques renseignements concernant ces anions dans les travaux de J. Delecourt).

B) *Les ions SO₄⁻⁻ et les ions CO₃⁻⁻.* — Un autre trait dominant du chimisme de ces eaux est l'absence presque toujours vérifiée des ions SO₄⁻⁻. Diverses hypothèses ont été avancées pour expliquer ce phénomène, tant dans les eaux des terrains houillers que dans les eaux salées accompagnant les gisements de pétrole. M. J. Delecourt (1952) fait remarquer que le baryum et le strontium ont toujours été trouvés dans les eaux houillères chaque fois qu'on les y a cherchés. Pour lui, les ions SO₄⁻⁻ ne peuvent exister en présence de ces métaux, car ils précipitent immédiatement à l'état de sulfates, selon la réaction :



(1) Chaque analyse porte donc un numéro composé des initiales du groupe d'exploitation (HL = Hénin-Liétard, Pr = Bruay, Be = Béthune, VA = Valenciennes-Anzin) suivi de la teneur en chlore exprimée en milligrammes par litre. On se reportera au tableau des résultats des analyses qui accompagne cette étude (Pl. XII).

Il serait donc opportun, pour corroborer cette hypothèse, que le terrain houiller contienne d'assez grandes quantités de sulfates de baryum et de strontium. Ce fait est, malheureusement, mal vérifié.

Plutôt que de penser que les eaux salées du Houiller ne contiennent pas de SO₄⁻⁻ parce qu'elles contiennent du baryum et du strontium, ne peut-on, par contre, estimer que ces eaux ne peuvent recéler ces métaux, en quantités toujours faibles d'ailleurs, que lorsqu'elles ne contiennent plus d'ions SO₄⁻⁻ ?

Cette hypothèse nous oblige donc à rechercher des causes possibles de disparition des ions SO₄⁻⁻. En ce qui concerne les eaux des gisements de pétrole, M. Schoeller considère ce phénomène comme une réduction des sulfates par une bactérie du genre *Sporovibrio*, réaction accompagnée d'un dégagement de H₂S et de CO₂. Claude Lalou observe le même genre de transformations dans les vases de la baie de Villefranche ; elle y signale, après réduction des sulfates par les bactéries, une cristallisation des carbonates en surface, là où la tension de CO₂ est faible ; elle peut ensuite enregistrer un dégagement de H₂S.

On pourrait envisager une hypothèse appliquant ces derniers faits à notre bassin houiller où, effectivement, les carbonates et les sulfures ne manquent pas.

Les bicarbonates et les carbonates, comme les sulfates, sont pratiquement absents des eaux salées du Houiller.

En résumé, prédominance des chlorures et absence quasi-permanente des bicarbonates et des sulfates dans les résidus secs sont des caractères vraiment marquants du chimisme de ce groupe d'eaux. On voit bien, sur le graphique représentatif déjà mentionné (fig. 1), ces trois phénomènes marqués par la coïncidence de la courbe du chlore avec l'axe des 50 % et des courbes de SO₄⁻⁻ et CO₃⁻⁻ avec le zéro.

2) ETUDE DES CATIONS.

Les cations analysés sont le calcium et le magnésium, d'une part, souvent bloqués en métaux alcalino-terreux, et le sodium et le potassium, fréquemment réunis en métaux alcalins, d'autre part. Examinons le cas de ces divers métaux.

A) *Le calcium Ca⁺⁺.* — Le tableau des résultats ci-joint montre bien que, dans le cas des eaux très salées, lorsque les analyses sont classées par teneur croissante en chlore, donc par salinité croissante, la valeur absolue et le pourcentage des ions Ca⁺⁺ augmentent régulièrement. En valeur absolue, on passe ainsi d'une dizaine de milliéquivalents-

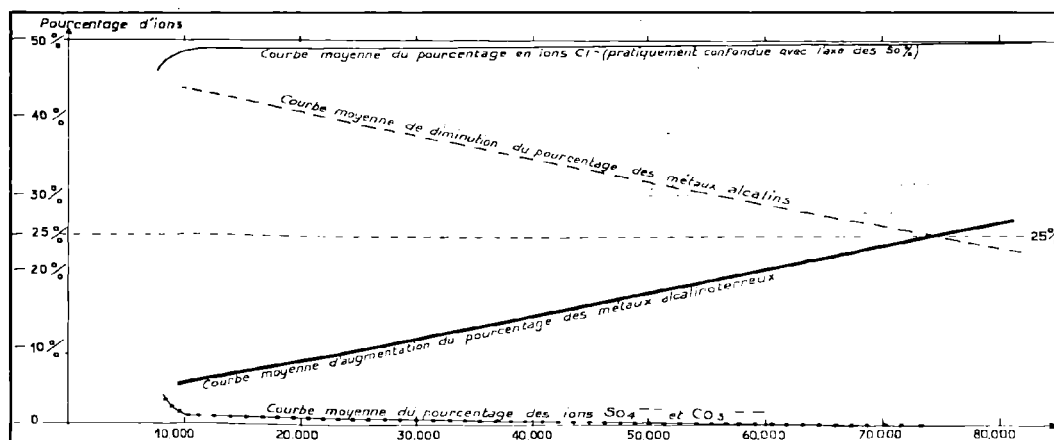


FIG. 1. — Variations relatives des ions dans les eaux très salées du Terrain houiller du Nord de la France.

Les pourcentages d'ions ont été portés en ordonnées et le nombre de milliéquivalents-grammes de chlore par litre en abscisses. (Le chlore étant pratiquement le seul anion, cette classification est la même que celle par salinités croissantes).

grammes par litre à des valeurs pouvant dépasser 500 (soit 10.500 mg/l). En pourcentage, on passe, dans les mêmes conditions, de 3 % à 15 %.

B) *Le magnésium Mg⁺⁺.* — Ses variations sont parallèles à celles du calcium. Comme chez le calcium, on part d'une dizaine de milliéquivalents pour atteindre, ici, des valeurs de l'ordre de 650. Dans le même éventail, la valeur, en pourcentage de cations, passe de 2 % environ à des valeurs

approchant 15 %. Le rapport $\frac{\text{Ca}}{\text{Mg}}$ est, dans la

majorité des analyses, supérieur à l'unité (sa moyenne est de 1,40). Il y a donc presque toujours plus d'ions calcium que d'ions magnésium, contrairement à ce que l'on peut observer dans l'eau de mer.

C) *Etude de l'accroissement de la valeur relative des métaux alcalino-terreux.* — Le pourcentage en ions du calcium et du magnésium augmentant régulièrement avec la salinité, il en sera évidemment de même de leur somme. Ainsi la courbe représentative de ces métaux va, en partant des environs de 6 %, atteindre et dépasser l'axe des 25 %. Cet axe est atteint pour une valeur avoisinant 70.000 milligrammes de chlore au litre. Le pourcentage d'alcalino-terreux le plus élevé est actuellement de 25,86 % (analyse HL 78.350).

D) *Les métaux alcalins.* — Le potassium n'a qu'un rôle vraiment dérisoire (1/300^e de l'ensemble des ions Na + K), il est d'ailleurs rarement dosé.

L'augmentation de la salinité se traduit, en ce qui concerne le sodium, par une augmentation de la valeur absolue et par une diminution extrêmement nette de la valeur relative. Cette diminution est évidemment symétrique de l'augmentation du pourcentage des métaux alcalino-terreux. Ce pourcentage part de 44 % environ, descend vers 25 % et finit par être inférieur à cette valeur (24,16 % pour l'analyse HL 78.350). Le rapport des métaux alcalins (done pratiquement du seul sodium) aux métaux alcalino-terreux, d'abord assez élevé, de l'ordre de 7, tend vers 1 et devient, pour l'analyse la plus chargée, légèrement inférieur à l'unité.

Donc, au fur et à mesure que la salinité augmente, les chlorures, pratiquement seuls constituants du résidu sec, évoluent de façon nette ; le pourcentage des chlorures alcalins diminue nettement et régulièrement au profit des chlorures des métaux alcalino-terreux.

En résumé, le chimisme des eaux très salées de notre terrain houiller est caractérisé par :

— l'absence presque totale des ions SO_4^- et CO_3^- , l'ion Cl^- étant pratiquement le seul ;

— le remplacement d'une partie des ions Na^+ par les ions Ca^{++} et Mg^{++} quand la salinité augmente.

En plus de ces caractères chimiques si curieux, il convient de noter un caractère physique non moins particulier : la radioactivité de certaines eaux très salées.

Mlle G. Muchemblé (1952) présente, dans sa thèse, une eau radioactive très salée, que j'ai cataloguée Br 39.090. Elle mentionne à ce sujet les résultats suivants :

Radon = $0,09 \cdot 10^{-9}$ curie par litre
Radium = $230 \cdot 10^{-12}$ gr/l

Après quelques mois, les teneurs devinrent :

Radon = non dosable
Radium = $227 \cdot 10^{-12}$ gr/l

Il est à remarquer que cette radioactivité est très forte, plus de 10 fois plus élevée que celle des eaux de St-Amand Thermal. Le débit de l'eau était de $1 \text{ m}^3/\text{h}$ et sa pression de 1 kg. Elle provenait de l'assise d'Anzin du groupe de Bruay, un peu au-dessus du niveau marin Poissonnière.

Etude stratigraphique des eaux salées du Terrain houiller

1) EAUX TRÈS SALÉES PROVENANT DU NAMURIEN.

Deux analyses proviennent à coup sûr du Namurien, et ce dans le groupe de Béthune.

Il s'agit des eaux Be 9.964 et Be 48.800 ; remarquons à leur sujet que la salinité augmente nettement avec la profondeur. En effet, l'eau Be 9.964 a été recueillie à — 510 m tandis que l'autre analyse provient de — 980 m. Rappelons ici que l'augmentation de la salinité liée à la profondeur se traduit par l'évolution des ions que nous venons d'étudier.

2) EAUX TRÈS SALÉES PROVENANT DE L'ASSISE DE VICOIGNE.

Nous possédons ici encore deux analyses d'eaux très salées d'origine certaine. Il s'agit des eaux

Be 10.130 et Be 32.900. La salinité augmente encore une fois avec la profondeur avec toute l'évolution que cette remarque sous-entend. Be 10.130 provient, en effet, de — 400 m, tandis que Be 32.900 provient de — 1150 m.

On remarquera facilement que les eaux de l'assise de Vicoigne et du Namurien proviennent du groupe de Béthune. Il ne faut y voir là que la conséquence d'une documentation plus précise dans ce groupe et non l'expression d'un phénomène hydrogéologique. Je remercie à ce sujet M. Puibaraud de m'avoir obligeamment fourni des résultats d'analyses alors que, chimiste et géologue, il aurait pu en tirer des résultats infiniment supérieurs aux miens.

3) EAUX TRÈS SALÉES DE L'ASSISE D'ANZIN.

De cette assise proviennent indubitablement 9 eaux très salées. Je vais y joindre 2 eaux un peu moins salées mais qui montrent l'amorce d'une évolution assez curieuse, cette évolution se terminant chez les neuf eaux précitées.

Les caractères chimiques de ces deux eaux, non indiquées sur le tableau d'analyses, sont conformes aux données suivantes, les résultats étant exposés en milliéquivalents-grammes par litre d'eau.

	Cl-	SO ₄ -	CO ₃ -	Ca ++	Mg ++
VA 5147	145			8,4	
LL 6400	180			6,94	6

En classant ces eaux par groupe d'exploitation, d'W en E, on peut dresser le tableau suivant :

Bruay	Béthune	Lens - Liévin - Douai	Valenciennes - Anzin
			VA 5147
		LL 6400 — 434 m	
	Be 9890 — 700 m		
	Be 10607 — 700 m		
	Be 21400 — 714 m		
	Be 25800 — 700 m		
	Be 28400 — 725 m		
Br 29.358 — 620 m			
Br 37097			
Br 39090 — 690 m			
Br 41480 — 700 m			

La salinité augmente localement avec la profondeur, surtout en ce qui concerne le groupe de Bruay. Cette augmentation de salinité est locale et, par exemple, on ne peut intégrer au groupe de Bruay les résultats obtenus pour le groupe de Béthune.

Outre cette évolution en fonction de la profon-

deur, il convient de faire remarquer l'évolution extrêmement nette des eaux de l'assise d'Anzin en fonction de la position géographique de leur exutoire. *Effectivement, quand on se déplace de l'E vers l'W, la salinité des eaux augmente régulièrement et considérablement.* Le graphique ci-joint montre cette évolution chimique des eaux de l'assise d'Anzin, de Valenciennes à Bruay (fig. 2).

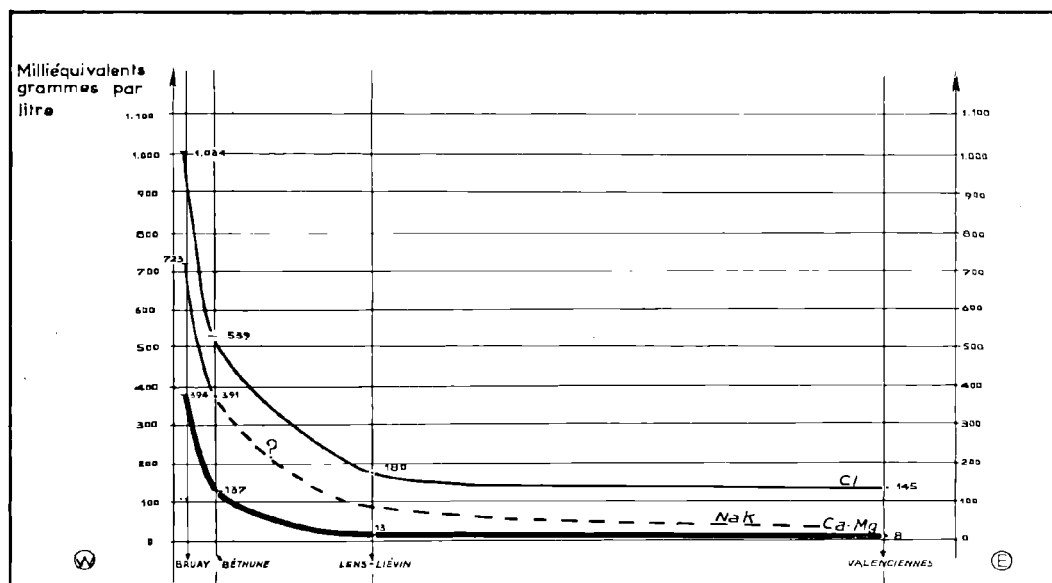


FIG. 2. — Evolution géographique des eaux de l'assise d'Anzin.

Le groupe de Bruay est représenté par la moyenne de 4 eaux de l'assise d'Anzin, celui de Béthune par 5 eaux de cette assise, tandis que les groupes de Lens-Liévin et Valenciennes sont représentés respectivement par les analyses LL 6400 et VA 5147.

Il semble donc nécessaire que les eaux salées se soient, vers l'Est, mélangées à des eaux douces.

Si l'on considère que les eaux salées sont des eaux connées, contemporaines de la sédimentation, par exemple des eaux lagunaires salées, on peut admettre que le mélange d'eaux a eu lieu à cette époque à la faveur d'une arrivée éventuelle d'eaux douces provenant de l'E par des lacs ou des rivières. Un lessivage actuel à partir des zones d'affleurement, situées à l'E, accentuerait cette dilution.

Si l'on envisage, par contre, ces eaux salées comme des eaux de mer mésozoïques fossiles, on réduit automatiquement les causes de dilution au dit lessivage; ce qui toutefois est bien suffisant. Cette hypothèse semble la plus plausible.

Il faut remarquer, en conclusion, que l'on ne trouve pas encore de lois de répartition des eaux salées dans le Houiller, les seules évolutions, liées à la géographie ou à la géologie, étant locales. L'augmentation de la salinité en fonction de la

profondeur n'est vraie que dans un périmètre très réduit, nous venons de le voir ; de même, je n'ai cru pouvoir mettre en évidence une évolution géographique que dans l'assise d'Anzin.

Comparaison des eaux salées du Terrain houiller avec l'eau de mer

Pour réaliser une comparaison homogène, j'ai choisi deux eaux de résidu sec, dont de total milliequivalentaire, sensiblement identique. La comparaison aura lieu entre Be 21.400 (eau venant de l'assise d'Anzin à la fosse 4 de Nœux, à environ — 700 m) et la moyenne d'une série d'analyses échelonnées sur deux ans et portant sur les eaux du Pacifique. Ces eaux ont respectivement des totaux de 1206,4 et de 1202 milliequivalents-grammes par litre. La comparaison sera facilitée par le petit tableau suivant, indiquant les valeurs relatives des différents ions.

	Cl-	SO ₄ -	CO ₃ -	Ca++	Mg++	Na+	$\frac{Ca}{Mg}$
Eau du Pacifique	45,10	4,81	0,09	1,97	9,65	39,38	0,204
Be 21400	49,98	0,016	0	9,51	7,24	33,25	1,33

Dans l'ensemble, ces deux eaux présentent le même faciès, grande chloruration encore fortement sodique, faiblesse des ions SO_4^- et CO_3^- . Notons maintenant quelques différences dans le détail : la diminution des sulfates est encore plus remarquable chez l'eau des houillères que chez l'eau de mer. Cette différence est probablement due à un long emprisonnement des eaux dans les diaclases du Houiller, ce qui a évidemment exalté le caractère de diminution des sulfates. Ce phénomène se répercute sur la teneur relative en Cl^- , un peu plus forte dans l'eau houillère que dans l'eau de mer.

En ce qui concerne les cations, la seule différence sensible à noter est l'inversion extrêmement

nette du rapport $\frac{\text{Ca}}{\text{Mg}}$. Nettement inférieur à 1 (0,204) pour l'eau de mer, il passe à 1,33 chez l'eau du houiller.

Faut-il voir là l'effet d'une dolomitisation des calcaires qui diminuerait la teneur relative en Mg^{++} au profit de la teneur relative en ions Ca^{++} ? De toutes façons, ces différences légères ne peuvent masquer la parenté assez étroite entre ces deux types d'eaux.

Or, on ne trouve aucune relation entre les eaux du Houiller et les niveaux marins de cette formation, relation que l'on pourrait espérer retrouver en dépit de la grande mobilité des eaux. On est donc amené à considérer ces eaux comme des eaux mésozoïques, marines et fossiles. Elles se seraient infiltrées dans les failles et diaclases de la péninsule hercynienne, lors de la transgression secondaire, comme le ferait la mer actuelle s'engouffrant dans les cavités d'une plateforme de transgression à relief karstique. Le temps et la stagnation des eaux dans un milieu fermé seraient responsables des différences observables, en favorisant et en entretenant les réductions, oxydations, échanges de bases, dilution et évaporation inévitables dans un tel domaine.

Je crois donc que l'existence de la majorité des eaux salées du Terrain houiller peut donc être expliquée de cette manière. Il n'est toutefois pas interdit de penser que, dans certaines conditions, des eaux connées, venant des invasions marines du Houiller ou de lagunes salées ou sursalées, se soient fossilisées. La distinction entre ces différents types est, dans l'état actuel de la documentation recueillie, pratiquement irréalisable.

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

- ANGION Ch. (1944). — Un gisement d'eau sursalée fossile (Connate water) au charbonnage de Vieille Marihaye à Seraing (Bassin de Liège). *Ann. Soc. Géol. de Belgique*, t. LXVII, p. B 223-B 239.
- CAMERMAN C. (1946). — Composition d'une eau à forte salure du terrain houiller du couchant de Mons. *Bull. Soc. belge de Géol., de Paléont. et d'Hydrol.*, t. LV.
- CAMERMAN C. (1951). — Composition d'une eau à forte salure du bassin houiller de Charleroi. *Bull. Soc. belge de Géol., de Paléont. et d'Hydrol.*, t. LX, p. 361-364.
- CORNET J. (1903). — Les eaux salées du terrain houiller. *Ann. Soc. Géol. de Belgique*, t. XXX, p. M 51-M 77.
- DELECOURT J. (1948). — Géochimie des eaux houillères du Hainaut. *Ann. Soc. Géol. de Belgique*, t. LXXI.
- DELECOURT J. (1952). — La géochimie des eaux houillères des Pays-Bas au III^{ème} Congrès d'Heerlen (1951). *Bull. Soc. belge de Géol., de Paléont. et d'Hydrol.*, t. LXI, p. 278-288.
- DELECOURT J. (1957). — Les eaux des gisements pétrolières. *Bull. Soc. belge de Géol., de Paléont. et d'Hydrol.*, t. LXVI, p. 254-263.
- KIMPE W.F.M. (1951). — Notes additionnelles à propos de la composition chimique et essai de détermination de la stabilité hydrostratigraphique des eaux dans le Houiller du Limbourg du Sud. *Troisième Congrès pour l'avancement des études de stratigraphie et de géologie du Carbonifère*, t. I, p. 311-324. Edit. Ernest Van Aelst, Maestricht.
- LALOU Cl. (1955). — Etude expérimentale de la production des carbonates par les bactéries des vases de la baie de Villefranche. Thèse, Mars 1955, Paris. *Annales Institut Océanographique*, Masson et C^o, 1957.
- LALOY R. (1874). — Recherches géologiques et chimiques sur les eaux salées du terrain houiller du Nord de la France et de la Belgique. *Soc. des Sciences de Lille*, t. XIII.
- MUCHEMBLÉ G. (1952). — Observations sur les eaux souterraines radioactives du Nord de la France et sur la radioactivité des roches encaissantes. *Annales de l'Institut d'Hydrol. et de Climat.*, t. XXIII, p. 1-36.
- RENIER A. (1939). — A propos du caractère fossile des eaux sursalées du terrain houiller franco-belge. *Association française pour l'avancement des Sciences*, 63^{ème} session, Liège.
- RUTTEN M.G. (1948). — Geologie van het limburgsche Mynwater. *Medeelingen van de geologische stichting*, Série CVI, n^o 4.
- SCHOELLER H. (1955). — Géochimie des eaux souterraines. Application aux eaux des gisements de pétrole. *Revue de l'Institut français du pétrole et Annales des combustibles liquides*, Mars-Avril-Juin-Juillet-Août 1955.
- WATERLOT M. (1960). — Matériaux pour l'étude des eaux du terrain houiller du Nord de la France. (D.E.S. Faculté des Sciences de Lille, 100 p., 11 pl.).

Obstacles à la circulation des eaux dans les terrains calcaires.

Notion de limite d'un réseau karstique ⁽¹⁾

Applications au Calcaire carbonifère du Nord de la France
et aux sources thermo-minérales de Saint-Amand-les-Eaux

par André VANDENBERGHE ⁽²⁾

(5 fig.)

Sommaire. — Les variations quantitatives de la composition physico-chimique des eaux circulant dans des roches calcaires aboutissent, dans certaines conditions, à un arrêt brutal du phénomène de précipitation des carbonates.

Il peut arriver, à la suite de certaines variations des conditions extérieures, que ces précipitations de carbonates divisent en deux parties totalement indépendantes le réseau karstique préexistant. Il en est ainsi par exemple du Calcaire carbonifère du Nord de la France où le karst, parfois totalement sec, peut donner lieu, comme à Saint-Amand, à des remontées d'eau artésienne.

AVANT-PROPOS

A la suite des travaux sur les eaux souterraines entrepris par le Service Géologie et Gisement des Charbonnages de France ⁽³⁾, j'ai été amené à préciser le mécanisme de l'action chimique des eaux souterraines. M. Monomakhoff avait mis en évidence le rôle des puits naturels en hydrogéologie ; j'ai approfondi certaines des données nouvelles qu'il avait apportées, ce qui m'a conduit à rédiger la présente note.

Il m'est agréable de remercier ici les Ingénieurs des Charbonnages de France, du Cerchar et des Houillères de Bassin qui m'ont fourni une partie des documents utilisés.

J'exprime également toute ma gratitude à MM. Antoine Bonte, Jean Ricour et Gérard Waterlot qui m'ont fait l'amitié de bien vouloir relire cette

note avec moi et qui y ont apporté leurs critiques particulièrement constructives.

INTRODUCTION

La très longue période d'émersion qui parfois sépare la venue en affleurement d'une formation calcaire ou dolomitique de son recouvrement par des assises imperméables permet d'attribuer à cet intervalle de temps la formation de paléokarsts. Cette attribution du karst à une période géologique définie est souvent confirmée par la possibilité que l'on a de dater ce karst grâce aux sédiments comblant certains anciens avens ou anciennes dolines. Il en est ainsi du karst du Calcaire carbonifère de Belgique et du Nord de la France recouvert par la transgression cénomaniennne [Gosselet (13)], du calcaire viséen du Boulonnais dont le karst renferme des éléments d'âge rhétien [Paule Corsin (8)], du karst du Crétacé du bassin de Bruxelles recouvert par les argiles yprésiennes [Briart et Cornet (7)], et également pour de très nombreux autres cas [Reynold Barbier (1) (2)].

Parlant de ces paléokarsts, différents auteurs ont fait remarquer qu'il s'agissait parfois de karsts dans lesquels les circulations d'eau se poursuivaient encore actuellement, mais également qu'il pouvait s'agir de karsts totalement secs. Dans ce dernier cas, il a été généralement admis que le karst avait été colmaté par des sédiments, le plus souvent

(1) Dans le texte de cette note, j'emploierai le mot « karst » et ses dérivés avec le sens large que lui donnaient les anciens morphologistes [de Martonne (16)] : « ensemble des dissolutions superficielles ou profondes que peut subir une formation calcaire ». Cette définition ne semble pourtant pas admise par les morphologistes modernes [Bonte (5) (6)].

(2) Ingénieur-géologue aux Charbonnages de France.

(3) Voir notamment les communications de MM. Monomakhoff et Guerrier aux Sixièmes Journées de l'Hydraulique (Nancy, 1960).

argileux. Il ne semble pas que l'on ait mis en évidence l'existence, dans une même formation, d'un karst aquifère en un point et sec en un autre point. C'est pourtant ce qui se passe parfois, et nous prendrons comme exemple le karst du Calcaire carbonifère du Nord de la France.

LE CALCAIRE CARBONIFÈRE DU NORD DE LA FRANCE

Le bassin hydrogéologique du Calcaire carbonifère dans la région de Lille affecte la forme d'un synclinal dissymétrique (fig. 1). Le flanc nord repose sur le socle siluro-dévonien de l'anticlinal du Brabant et s'enfonce régulièrement vers le Sud. Le flanc sud, au contraire, limité par l'anticlinal de l'Artois, est déversé, les terrains siluro-dévonien ayant été charriés sur le Carbonifère. Les terrains westphaliens déposés sur le Calcaire carbonifère n'ont été préservés de l'érosion que dans la partie la plus profonde du synclinal.

Le jeu des érosions et des transgressions successives aboutit à la situation actuelle : le Calcaire carbonifère affleure en Belgique dans la région de Tournai, de Péruwelz et dans la haute vallée de la Dendre. Entre ces trois principaux affleurements, le calcaire n'est recouvert que par les formations perméables du Landénien. Nous pouvons donc considérer toute la région de Tournai, Péruwelz, Grandglise, Herchies, Maffle et Leuze comme la zone d'alimentation hydrologique de ce Calcaire carbonifère, étant donné que partout ailleurs celui-ci est séparé de la surface par les formations imperméables du Crétacé ou de l'Yprésien.

LE KARST DU CALCAIRE CARBONIFÈRE

Karst aquifère. — L'existence d'un karst aquifère dans le Calcaire carbonifère de cette région est bien connue. Son eau est notamment utilisée pour l'alimentation de l'agglomération roubaisienne [E. Leroux, J. Ricour et G. Waterlot (15)]. Des sondages atteignent le Calcaire carbonifère vers la cote — 80 et les eaux de la nappe captive remontent jusqu'aux environs du niveau de la mer. Ce karst est connu également à Sainghin-en-Mélantois où il a fourni une eau artésienne [G. Delépine (10)]. Un karst analogue existe aussi dans la région comprise entre Péruwelz et Saint-Amand-les-Eaux [Jean Barrois (3)], l'eau s'infiltrant dans le calcaire par un réseau karstique et remontant sous pression artésienne après avoir été minéralisée au contact des ampélites de Bruille.

Karst sec. — De nombreux « puits naturels » ont été découverts dans le terrain houiller du Nord et de la Belgique [Dhéé (9), Pruvost (20), Renier (22), Smeysters (23), Stainier (24), etc...]. Ces « puits naturels » ou « puits de dièves » sont des perforations verticales ou obliques, de forme variable ; ils sont remplis de débris provenant des terrains encaissants, débris fréquemment mélangés à des matériaux provenant des morts-terrains (fig. 2). L'origine karstique de ces puits semble

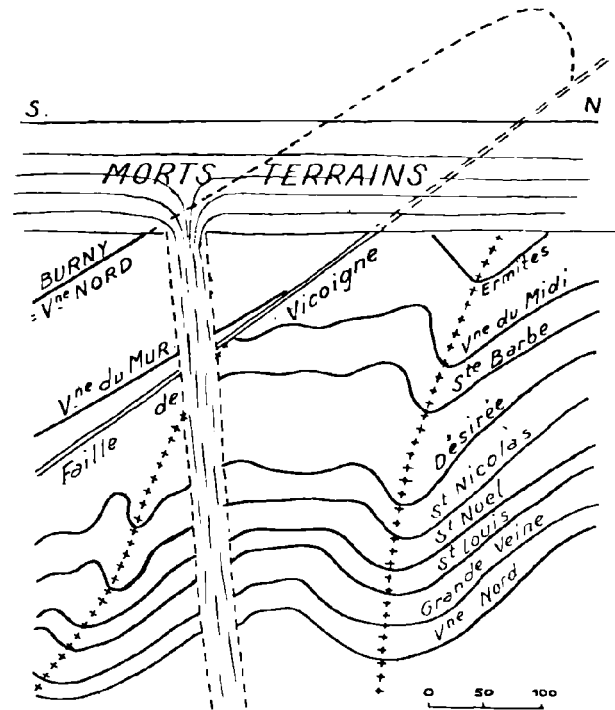


FIG. 2. — Puits naturel de Vicoigne (d'après Dhéé)

maintenant bien établie [Ph. Renault (21)] : l'éboulement dans le Calcaire carbonifère sous-jacent d'une cavité souterraine se répercute vers le haut dans le terrain houiller et ne s'arrête que lorsque le foisonnement des éboulis a pu compenser le volume du vide initial (1). Nous remarquerons cependant que ces puits naturels, bien que recoupés

(1) Il existe des « puits naturels » analogues dans le bassin lignitifère de Gardanne (Crétacé supérieur de la région d'Aix-en-Provence). Certains de ces puits sont visibles sur les photographies aériennes. Ils sont dus à des éboulements d'un karst situé dans les formations calcaires du Kimméridgien et du Portlandien.

par les travaux miniers à des profondeurs souvent considérables, ne livrent pas passage à l'eau sous pression qui pourrait normalement s'y trouver. Nous sommes donc amenés à conclure que le karst sous-jacent est sec.

Conclusion. — Nous pouvons déduire de toutes ces observations qu'il existe dans le Calcaire carbonifère deux réseaux karstiques, l'un asséché, l'autre aquifère et alimenté par les affleurements. Ces deux réseaux peuvent être extrêmement voisins, mais ils ne communiquent pas entre eux. Nous verrons plus loin la nature de l'obstacle qui les sépare.

CHIMISME DES EAUX DU CALCAIRE CARBONIFÈRE

Les variations dans la composition chimique de ces eaux ont fait l'objet d'une récente étude [G. Waterlot (25)]. Il a été démontré qu'en s'éloignant des affleurements, les eaux subissent des modifications qui permettent de définir quatre zones :

1° dans une *première zone*, les eaux météoriques riches en CO₂ s'infiltrent en dissolvant sous forme de bicarbonates, les carbonates de calcium et de magnésium, et donnent des eaux peu minéralisées de *type bicarbonaté calcique et magnésien* ;

2° dans une *deuxième zone*, où la nappe est captive, la minéralisation augmente, et l'on voit apparaître les cations sodium et potassium accompagnés des anions chlorure et sulfate dont G. Waterlot attribue l'origine à des interactions avec des eaux marines fossiles qui peuvent être d'âge dinantien ou même secondaire. Les eaux sont cependant toujours à dominante du *type bicarbonaté calcique et magnésien* ;

3° la *troisième zone* se caractérise par les « échanges de bases ». Les concentrations en calcium et magnésium diminuent tandis que les

teneurs en chlorures et sulfates de sodium et de potassium s'accroissent. Les eaux sont maintenant du *type sulfaté chloruré bicarbonaté alcalin* ;

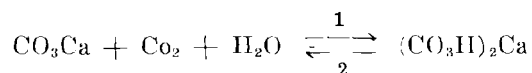
4° dans la *quatrième zone*, les mêmes réactions se poursuivent et donnent naissance à des eaux du *type chloruré et sulfaté sodique*.

NOTION DE LIMITE DE KARSTIFICATION

L'évolution du chimisme des eaux telle que l'a établie G. Waterlot appelle quelques remarques :

La solubilité d'un sel dans l'eau peut varier en fonction de plusieurs facteurs, notamment de la température et de la présence d'autres sels.

Par ailleurs, dans le cas particulier qui nous intéresse, celui du carbonate de calcium, il y a lieu de tenir compte du fait que, ce sel étant très peu soluble, sa mise en solution n'existe pratiquement que sous la forme de carbonate acide, improprement appelé bicarbonate. Ce bicarbonate se forme selon la réaction



Cette réaction étant réversible, elle obéit à la loi d'action de masse. Pour une eau circulant dans un calcaire, nous pouvons considérer les quantités de CO₂Ca et de H₂O comme pratiquement illimitées. Seule intervient la quantité de CO₂ susceptible de réagir, c'est-à-dire de CO₂ en solution dans l'eau. Si ce gaz est excédentaire, il y a transformation de carbonate en bicarbonate (réaction 1), donc dissolution ; par contre, si ce gaz est déficitaire, le bicarbonate se transforme en carbonate (réaction 2) et il y a précipitation. Le problème qui nous préoccupe se ramène donc à connaître la solubilité du CO₂ dans l'eau en fonction des conditions extérieures (voir tableau ci-dessous).

p CO ₂ (Atm)	Solubilité du CO ₂ dans l'eau en fonction de la température et de la pression														
	1	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100	150
t° (degrés C)															
0	1,713	8,8	16,3												
5	1,424	7,3	12,8	16,9											
10	1,194	5,8	10,1	13,9	16,5										
15	1,019	4,4	8,5	12,1	15,0	17,0									
20	0,878	3,65	7,1	10,1	12,5	16,3	18,2	22,0	25,7						
30	0,665	2,8	5,7	8,3	10,5	12,5									
35	0,592	2,6	5,2	7,0	8,5	9,8	10,6	14,2	18,0	21,7					
60	0,359							8,5	10,2	12,1	14,2	16,3	18,8	21,4	
100	0,260										6,5	7,4	8,5	9,7	15,1

Solubilité du CO₂ dans l'eau pure :

La solubilité dans l'eau pure de l'anhydride carbonique varie en fonction de la température et de la pression partielle de CO₂, comme le montrent les courbes de la figure 3 et le tableau de la page précédente [KOPPERS (14)]. La solubilité de ce

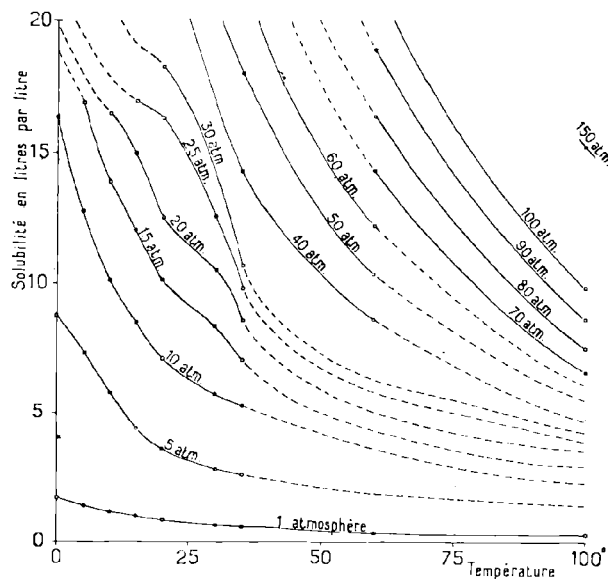


FIG. 3. — Variations de la solubilité du gaz carbonique dans l'eau pure, en fonction de la température, pour différentes pressions.

gaz est inférieure, lors d'un accroissement de pression, à celle que nous donnerait l'application pure et simple de la loi de Henry qui voudrait que la solubilité d'un gaz dans un liquide soit directement proportionnelle à la pression partielle exercée par ce gaz sur la surface du liquide. En réalité, dans le cas du CO₂, un facteur de réduction K, dont la valeur varie en fonction de la pression, doit intervenir :

pCO ₂ à 20° C (atm.)	2	4	6	8	10	12
K	0,97	0,925	0,895	0,875	0,860	0,845

A température constante et à partir d'une solubilité connue pour une pression donnée, la solubilité peut être calculée pour une pression quelconque en multipliant la solubilité connue par le rapport des pressions affecté d'un facteur de réduction constitué par le rapport des valeurs de K pour les pressions considérées.

Rappelons encore que les valeurs données pour cette solubilité ne représentent que des limites de saturation vers lesquelles tend la solution de CO₂ dans l'eau lorsqu'elle est placée dans les conditions de température et de pression considérées ; il faut cependant remarquer que la vitesse avec laquelle l'équilibre est atteint varie considérablement suivant que sera modifiée, soit la température, soit la pression [Pascal (19)]. Ceci signifie qu'une variation de température sera assez rapidement suivie d'une absorption ou d'une désorption de gaz, tandis que pour un changement de pression qui devrait théoriquement aboutir au même résultat, la vitesse d'absorption ou de désorption sera beaucoup moins élevée.

Par conséquent, si nous considérons la solubilité de CO₂ dans une eau pure soumise à des températures et à des pressions croissantes — et c'est le cas d'une eau pénétrant dans l'écorce terrestre — nous voyons cette solubilité diminuer sous l'action de la température, et l'influence de la pression n'intervenir que faiblement pour corriger ce phénomène.

Dans le cas du gradient géothermique (en moyenne 33 m pour 1° C.) et de la pression hydrostatique, il existe pour les eaux souterraines une *limite de profondeur au-delà de laquelle la solubilité du gaz carbonique diminue*.

Cette diminution de solubilité du CO₂ au-delà d'une certaine profondeur entraîne, par suite d'un déficit en gaz carbonique et en vertu de la loi d'action de masse, une dissociation du bicarbonate soluble en carbonate insoluble, et par conséquent une *précipitation des carbonates*.

En toute rigueur, il faudrait également tenir compte des variations de la pression dues aux variations du niveau de la nappe. Celles-ci ne peuvent cependant intervenir que si du CO₂ gazeux est amené en présence de l'eau ; dans ce cas, une augmentation de la pression amènera une dissolution des carbonates, tandis qu'une diminution de pression provoquera leur précipitation. Ce cas est peut-être à envisager pour des karsts à alimentation saisonnière, ou bien lors d'une variation du niveau de base du réseau hydrographique superficiel.

Solubilité du CO₂ dans une eau chargée de sels :

Pour la transformation des carbonates en bicarbonates, la loi d'action de masse ne s'applique qu'en l'absence d'autres sels. Dans le cas où se trouvent en présence des électrolytes forts (sulfates et chlo-

rures) et des électrolytes faibles (bicarbonates), les solubilités varient en fonction du degré de dissociation [J. Eggert et L. Hock (11)]. L'expérience a démontré [H. Ehlert et W. Hempel (12)] que la solubilité des bicarbonates de calcium diminue en présence de sulfates de sodium, et qu'elle augmente d'abord, pour diminuer ensuite, en présence de chlorures de sodium et de magnésium. En général, la solubilité d'un sel faible diminue en présence d'un sel fort [Marcel Boll (4)] ; il y a donc une *tendance à la précipitation des carbonates* par apport de sulfates et par excès de chlorures.

L'augmentation de température avec la profondeur ainsi que la présence d'électrolytes forts tendent à précipiter les carbonates.

Limite de karstification :

Il y a ainsi, dans un réseau hydrologique, une zone dans laquelle se produisent d'importantes précipitations de carbonates. Ces carbonates peuvent contribuer à boucher les fissures préexistantes et à constituer ainsi un barrage à la circulation des eaux souterraines et, partant, une *limite de karstification*. La position d'une telle limite dépend de plusieurs variables, notamment de la quantité d'eaux fossiles, de la température et surtout de la quantité de CO_2 amenée par les eaux météoriques.

Il serait peut-être plus simple de traduire ce phénomène sous une forme plus générale :

Tandis que leur température augmente avec la profondeur, les eaux chargées de CO_2 dissolvent, au cours de leur circulation dans des terrains calcaires d'origine marine, des quantités de plus en plus importantes de sulfates et de chlorures. Cette variation quantitative de la nature physico-chimique des eaux aboutit, à un certain moment, à une brutale variation qualitative : le phénomène de dissolution du calcaire devient impossible, il se produit une précipitation des carbonates, d'où un arrêt du processus de karstification.

KARST AQUIFÈRE ET KARST SEC.

Lors de sa formation et à la suite de conditions bien définies, un karst a pu être arrêté à la limite de karstification précisée précédemment. Lorsque ces conditions varient, il s'établit une nouvelle limite de karstification qui se situe soit au-delà de l'ancienne limite — il y a redissolution des carbonates précipités suivie d'un simple accroissement

du réseau karstique — soit en deçà de cette même limite, le karst aquifère est alors plus restreint, séparé d'un paléokarst par la nouvelle zone de précipitation des carbonates.

C'est dans ces conditions qu'a évolué le karst du Nord de la France :

Pendant la période séparant le Carbonifère du Cénomanién, un important réseau karstique s'est constitué à partir de la grande surface des affleurements du Dinantien (fig. 4). Après la transgression cénomaniénne et une érosion partielle beaucoup plus récente, la surface des affleurements du Calcaire carbonifère ayant été réduite par des atterrissements d'âge secondaire, le volume des eaux d'infiltration, par conséquent l'apport de CO_2 , a diminué et une nouvelle limite de karstification s'est établie entre les affleurements et la limite antécénomaniénne (1) (fig. 5).

Application à l'hydrogéologie des sources thermales de Saint-Amand-les-Eaux

Dans un travail déjà ancien, le Dr Jean Barrois avait étudié, à la suite d'Olry et de Gosselet, l'hydrogéologie de la région de Saint-Amand-les-Eaux (Nord). M. J. Barrois avait émis l'idée que les eaux de précipitation atmosphérique s'infiltrèrent dans la région de Péruwelz, circulent dans le Calcaire carbonifère jusqu'aux environs de St-Amand-les-Eaux, où elles remontent à la surface, traversant le terrain houiller et les terrains plus récents à la faveur d'une faille [J. Barrois (3)].

Plus récemment, Mlle Muchemblé a démontré que la radioactivité de ces eaux était due à leur passage au travers des ampélites de Bruille [Muchemblé (18)]. Un captage nouveau, réalisé en 1955 à Saint-Amand-les-Eaux et atteignant pour la première fois la partie profonde du gisement, permettait d'espérer la possibilité d'étudier les eaux en place dans les terrains primaires et de comparer la minéralisation, la température et la radioactivité de ces eaux avec celles de l'eau captée habituellement à Saint-Amand [G. Minoux, J. Ricour et G. Waterlot (17)]. Ce sondage a montré que les terrains secondaires reposent directement sur le Calcaire carbonifère sans interposition des

(1) Un cas analogue existe vraisemblablement en Provence où, dans le Crétacé supérieur, les puits naturels de Trets et de Châteauneuf-le-Rouge fournissent de l'eau artésienne venant du Jurassique, tandis que les puits naturels de Meyreuil sont pratiquement secs et que ceux de Gréasque ne font que collecter des eaux d'infiltration venant directement de la surface.

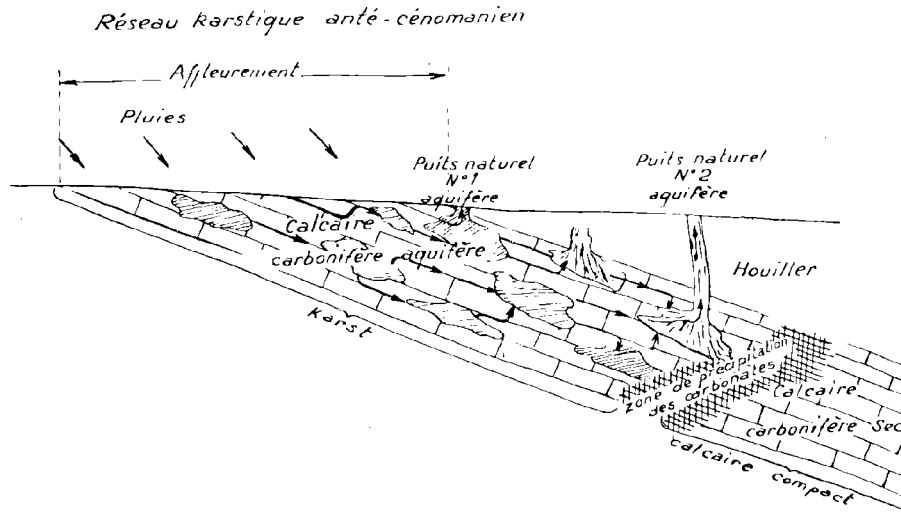


FIG. 4

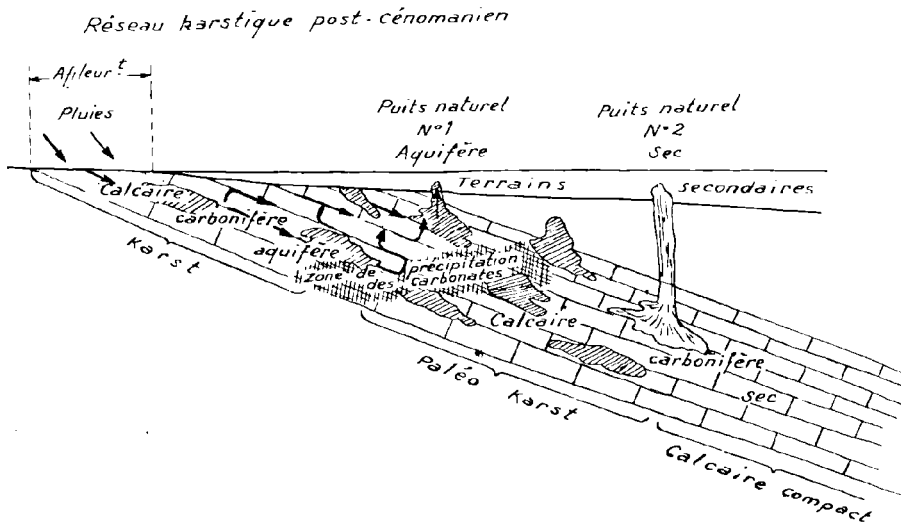


FIG. 5

schistes ampélitiques de Bruille, et que le Calcaire carbonifère n'est pas aquifère en cet endroit, tout au moins dans sa partie superficielle. Il faudrait donc admettre que l'eau artésienne du Calcaire carbonifère remonte dans les terrains secondaires entre Saint-Amand et Péruwelz, à la faveur d'une faille qui intéresserait à la fois les terrains primaires et le Turonien.

Contrairement à l'opinion de ces auteurs, il me semble difficilement admissible que l'eau, sur

un trajet relativement court, pendant lequel elle n'a pu avoir qu'un contact discontinu avec la surface des ampélites — roches imperméables — ait pu être rendue aussi intensément minéralisée et radioactive. Il semble beaucoup plus logique de penser que des vides dus à des dissolutions souterraines du Calcaire carbonifère aient été comblés par de véritables foudroyages d'ampélites de Bruille devenues ainsi « perméables en grand » ; ces foudroyages ont constitué l'amorce de puits naturels

qui se sont répercutés à travers les terrains surincombants jusque dans le Sénonien. Par ces puits, l'eau artésienne du Calcaire carbonifère a donc pu remonter sous pression et se mélanger à la nappe de la craie. Le contact de l'eau et des roches radioactives se trouverait ainsi assuré de façon beaucoup plus intime que dans l'hypothèse précédente, les débris de schistes pyriteux étant littéralement baignés par cette eau lors de son passage, ce qui expliquerait sa très forte minéralisation et son exceptionnelle radioactivité. Cette eau, en se mélangeant à la nappe de la craie, acquiert ensuite les teneurs connues à Saint-Amand (1).

L'effondrement des terrains dans le puits naturel, amorcé vraisemblablement dans des temps très reculés, s'est poursuivi jusqu'à une époque rela-

tivement récente ; en effet, l'argile de Louvil (Eocène) a été perturbée, et cette perturbation a permis la remontée de l'eau sous pression artésienne jusque dans le Quaternaire.

CONCLUSION.

La composition physico-chimique de l'eau circulant dans les terrains calcaires et l'étude des variations de cette composition nous amènent à admettre la notion nouvelle de *limite de karstification*.

Dans certains cas particuliers (Nord de la France, Provence occidentale), cette limite pourra séparer deux systèmes karstiques totalement indépendants ; elle acquerra alors un grand intérêt pratique pour l'étude des ressources hydrologiques.

L'un de ces systèmes sera éventuellement le siège d'une circulation d'eau artésienne (Saint-Amand-les-Eaux), tandis que l'autre sera le plus souvent sec ou tout au moins peu aquifère.

(1) Des foudroyages de formations pyriteuses dans le Calcaire carbonifère pourraient aussi expliquer les teneurs anormalement élevées en sulfates des eaux trouvées par le sondage de Cobriex [G. Waterlot (26)].

**

Zusammenfassung. — Die quantitativen Veränderungen der physikalisch-chemischen Zusammensetzung der Wässer, die in Kalken zirkulieren veranlassen, unter bestimmter Verhältnissen eine plötzliche Beendigung der Verkarstung, die durch einen grossen Kalziumcarbonat-Niederschlag gekennzeichnet ist.

Es ist möglich, dass nach Veränderungen der äusseren Umstände, diese Kalkspatniederschläge den vorherbestehenden Karst trennen, und zwei ganz unabhängige Karstsysteme ergeben. So ist es in Nord-Frankreich, im Kalkkarbon bei Saint-Amand-les-Eaux.

**

Abstract. — The quantitative variations of the physico-chemical composition of waters in calcareous rocks bring on, in stated conditions, an abrupt ending of the karstification. There is then, an important carbonate precipitation.

Sometimes, according to the variations of the external conditions, such precipitations can divide the preexisting karst in two parts ; there are then two karstic systems which are absolutely independent. There is such a system in the Carboniferous limestone in Northern France, in Saint-Amand-les-Eaux.

BIBLIOGRAPHIE

- 1) BARBIER R. — Sur l'origine des pitons des régions karstiques tropicales et équatoriales. *C.R. Ac. Sc.*, t. CCL, p. 1.695, 1960.
- 2) BARBIER R. — Le rôle des paléokarsts dans la formation des réseaux karstiques actuels et leurs répercussions sur l'hydrogéologie de ces régions. *C.R. Somm. Soc. Géol. Fr.*, p. 59, 1960.
- 3) BARROIS J. — Etude des eaux et boues thermales de l'établissement départemental de Saint-Amand-les-Eaux (Nord). *Thèse médecine*, Lille, 1911.
- 4) BOLL M. — Tables numériques universelles.
- 5) BONTE A. — Poches de dissolution, argiles de décalcification et grès mamelonnés dans la région d'Arras (Pas-de-Calais). *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. LXXIV, p. 67-94, 1954.
- 6) BONTE A. — Sur quelques aspects de la dissolution des calcaires. *LXXX^e Congr. Soc. Sav.*, p. 109-116, 1955.
- 7) BRIART et CORNET J. — Description du terrain crétacé de la province du Hainaut. Bruxelles, 1869.
- 8) CORSIN P. — Sédiments rhétiens dans le Boulonnais. *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. LXX, p. 264, 1950.

- 9) DEHÉE R. — Note sur le puits naturel dans le terrain houiller de Carvin. *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. LI, p. 32, 1926.
- 10) DELÉPINE G. — Note sur la présence de dolomie carbonifère dans le sous-sol de Sainghin-en-Mélantois. *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. LXXII, p. 82-84, 1952.
- 11) EGGERT J. et LOTHAR-HOCK. — Traité de chimie physique, t. II, Paris, 1946.
- 12) EHLERT H. et HEMPEL W. — *Zeitschrift für Elektrochemie*, Bd 18, n° 16, p. 727, 1912.
- 13) GOSSELET J. — Esquisse géologique du Nord de la France et des contrées voisines. Lille, 1881.
- 14) KOPFERS. — Löslichkeit von Kohlendioxyd in Wasser unter erhöhtem Druck. *Handbuch der Brennstofftechnik*, Essen, 1953.
- 15) LEROUX E., RICOUR J. et WATERLOT G. — Variation du niveau des nappes aquifères du Nord de la France. *Bull. Soc. Géol. Fr.* (6), t. VIII, p. 191, 1958.
- 16) MARTONNE (E. DE). — Traité de Géographie Physique, t. II, Paris, 1947.
- 17) MINOUX G., RICOUR J. et WATERLOT G. — Le nouveau forage effectué à l'établissement thermal de Saint-Amand-les-Eaux (Nord) en 1954. *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. LXXVII, p. 219, 1957.
- 18) MUCHEMBLÉ G. — Observations sur les eaux souterraines radioactives du Nord de la France et la radioactivité des roches encaissantes. *Ann. Inst. Hydrol. et Climat.*, t. XXIII, p. 29-65, 1952.
- 19) PASCAL P. — Traité de chimie minérale, t. IV.
- 20) PRUVOST P. — Sur un puits naturel dans le terrain houiller à la fosse n° 4 des Mines de Vicoigne. *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XXXVII, p. 437-439, 1909.
- 21) RENAULT P. — Sur deux processus d'effondrement karstique. *Ann. Spéléologie*, t. XII, 1-4, p. 19, 1957.
- 22) RENIER A. — Les gisements houillers de la Belgique, chap. XVII, Puits naturels. *Ann. Mines de Belg.*, t. XXIV, 4, p. 259, 1923.
- 23) SMEYSTERS. — Notice sur quelques puits naturels du terrain houiller de Charleroi. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, t. XXXI, m.p. 237, 1904.
- 24) STAINIER X. — Considérations sur les puits naturels du Houiller du Hainaut. *Ann. Scient. Bruxelles*, t. LIII, série B, 1^{re} partie, p. 79, 1933.
- 25) WATERLOT G. — L'évolution du chimisme des eaux du Calcaire carbonifère de Lille-Roubaix-Tourcoing et régions limitrophes. *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. LXX, p. 79, 1950.
- 26) WATERLOT G. — Remarque sur les phénomènes accompagnant les échanges de bases dans le réseau aquifère captif du Calcaire carbonifère à Cobrieux (Nord). *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. LXXV, p. 173-181, 1955.

**

M. Bonte félicite M. Vandenberghe de son exposé très intéressant sur les modalités de la circulation dans le Calcaire carbonifère et estime très séduisante sa théorie relative à une limite de dissolution. Il souligne que c'est en partant d'observations faites en Provence, sur des calcaires jurassiques et crétaqués, que M. Vandenberghe a été conduit à s'intéresser au problème de Saint-Amand.

M. Bonte suggère ensuite à M. Vandenberghe, dans le cas où il poursuivrait ses recherches dans cette direction, de distinguer, à côté des circulations karstiques proprement dites, qui se font par gravité et avec des écarts de température relativement faibles, une circulation hydrothermale qui, dépendant de la structure du sous-sol, peut descendre beaucoup plus bas et être fortement influencée par la température.

Il rappelle que le karst ne se forme jamais dans les conditions où nous l'observons, mais nécessite pour se développer la présence d'une couverture perméable ralentissant l'infiltration. Les karsts que nous observons sont en réalité des karsts morts.

Enfin, il apporte à M. Vandenberghe une confirmation à sa théorie avec le Calcaire carbonifère du Boulonnais où on peut observer des formations karstiques antébachoniennes et des formations karstiques récentes dues à la présence des sables inférieurs du Bathonien dont les strates sont entraînées partiellement dans les cavités de dissolution.

Remarque sur les possibilités aquifères des « Sables de Bracheux » dans l'Aisne

par J. POLVÊCHE (1)

(3 fig.)

Sommaire. — Dans le Soissonnais, un puits traversant les sables thanétiens a fourni un débit supérieur à 100 m³/h. La nappe des « Sables de Bracheux » apparaît donc parfois exceptionnellement riche. On peut alors envisager d'utiliser l'eau de cette nappe pour alimenter les nombreuses agglomérations du Soissonnais qui ne disposent pas encore d'eau potable en quantité suffisante.

Introduction

Les ressources aquifères du Soissonnais sont assez restreintes et de nombreuses communes éprouvent des difficultés pour alimenter un réseau de distribution d'eau répondant aux besoins de la population. En effet, s'il existe dans cette région plusieurs nappes aquifères, celles-ci sont généralement pauvres ou difficilement accessibles.

Le riche *réseau aquifère de la craie* sénonienne, bien connu en Picardie, ne semble pas se poursuivre en profondeur sous les formations tertiaires. On peut supposer, avec G. Waterlot (1957 b), que les dépôts sus-jacents à la craie écrasent, par leur poids géologique, les sédiments crayeux et empêchent ainsi la fissuration de la roche et donc la circulation des eaux. Les plateaux séparant l'Ailette de l'Aisne constituent à la fois une barrière morphologique et une barrière hydrologique. Là, 150 m de sédiments tertiaires écrasent la craie ; aussi, l'eau, au lieu de s'enfoncer vers le centre du Bassin parisien, reflue-t-elle sur tout le pourtour de l'auréole tertiaire du Laonnois. Les puits et forages qui ont recherché l'eau de la craie loin de ses affleurements ont toujours donné de faibles débits. Notons toutefois que la nappe de la craie pourrait parfois réserver d'agréables surprises, même assez loin des affleurements crayeux, car elle doit être en certains points, et plus particulièrement dans la région de Soissons, réalimentée par l'intermédiaire des « Sables de Bracheux » (G. Waterlot, 1960) qui apparaissent le long de la vallée de l'Aisne. Par ailleurs, des zones diaclasées, qu'il faudrait rechercher, ont pu s'élaborer

au cours des temps géologiques (A. Bonte, 1958) et se conserver étant donnée l'épaisseur réduite des formations tertiaires dans certains secteurs de l'Aisne.

La *nappe des « Sables de Bracheux »*, en communication avec le réseau de la craie, n'avait pas, à ma connaissance, été prospectée dans cette région, si l'on excepte les forages particuliers alimentant une ou deux habitations. Tenant compte de la granulométrie des sables, on supposait généralement que cette nappe était pauvre.

Les « Sables de Cuise », qui surmontent les « Argiles à lignites », recèlent une importante nappe aquifère dans la région parisienne. Ces sables sont entièrement recoupés par la plupart des vallées du Soissonnais, aussi observe-t-on, tout au long du contact Sables de Cuise - Argiles à lignites, de nombreuses petites sources incapables d'alimenter de grosses agglomérations. La nappe des « Sables de Cuise » ne peut recéler une eau abondante car chaque vallée amène une hémorragie qui vide les sables de leur eau.

Il en est de même en ce qui concerne le *réseau du « Calcaire grossier »* qui ne peut se développer, l'importance des affleurements étant par trop réduite.

Seule la *nappe des alluvions* de l'Aisne fournit des débits intéressants et peut alimenter de gros bourgs (Venizel, Pernant, Bucy-le-Long) ; encore faut-il que les agglomérations à alimenter se trouvent le long de la vallée.

Dans ces conditions, on conçoit que l'alimentation en eau potable des communes éloignées de la plaine alluviale de l'Aisne pose des problèmes difficiles à résoudre à peu de frais. Tel était le

(1) Maître de Conférences de Géologie à la Faculté des Sciences de Lille.

cas de Courmelles, commune située au S de l'Aisne, près de la Crise. Une solution de détresse avait même été envisagée qui consistait à capter les eaux de la rivière. Nous avons alors décidé, en accord avec le Génie rural, organisme chargé de la direction des travaux, de prospecter par puits les alluvions de la Crise, les « Sables de Bracheux » et, si nécessaire, la craie. Voici les résultats obtenus par cet ouvrage.

Le puits de Courmelles

SITUATION DU PUIT.

Cet ouvrage a été implanté au N de Courmelles, dans la vallée de la Crise, à 40 m environ de cette rivière, sur sa rive gauche et le long de la route de Belleu à Vaubuin (x : 661,0; y : 184,7; z : + 49).

Les eaux de la Crise se dirigent du S vers le N et se jettent dans l'Aisne à Soissons. A l'amont du puits, la rivière coule sur les « Argiles à lignites » ; à l'aval, la carte géologique au 1/80.000 indique l'existence d'un petit dôme anticlinal dont le cœur est occupé par les « Sables de Bracheux ». La rivière doit couler au moins sur une distance de 2 km sur le Thanétien. Plus au N, les alluvions de la Crise et de l'Aisne masquent le substratum qui peut être constitué, soit par la base de l'Yprésien (argiles à lignites), soit par le sommet du Thanétien.

LES TERRAINS TRAVERSÉS :

— de 0 à 5 m : argile sableuse avec quelques gros blocs de grès et de petits galets de calcaire : alluvions de la Crise ;

— de 5 à 9 m : sable grossier, quartzeux, de teinte grise. Etant données la granulométrie (voir fig. 1 et 2) et la morphoscopie, on peut assimiler ce niveau à la formation d'estuaire nommée : « Sables de Châlons-sur-Vesle » ;

— de 9 à 28,15 m : sable fin, gris verdâtre, micacé. Ce sont les « Sables de Bracheux » à caractères franchement marins (voir fig. 1 et 2).

CARACTÉRISTIQUES DE L'OUVRAGE.

Le puits n'a pas traversé en entier les « Sables de Bracheux » car le débit obtenu à 28,15 m était largement suffisant pour alimenter Courmelles et les agglomérations voisines. On peut penser que la craie se trouvait alors à faible distance du fond du puits. Il aurait été intéressant d'approfondir

l'ouvrage pour observer si la craie était aquifère.

Le diamètre de l'ouvrage atteint 2 m à la tête; il a été ramené progressivement à 1,30 m. Un massif filtrant a été établi à partir de 5,20 m de profondeur jusqu'au fond du puits, ce qui ramène le diamètre intérieur à 0,60 m. On a aussi placé dans l'ouvrage deux filtres Cuaux de 1 m, l'un à 17,30 m, l'autre à 26,30 m. De 0 à 5 m, une colonne étanche empêche l'intrusion des eaux superficielles dans le puits.

Le niveau statique de la nappe aquifère se trouve à 0,75 m de profondeur, soit au niveau de la Crise. Les eaux des Alluvions et du Tertiaire communiquent normalement. Pour un débit de 85 m³/h, le niveau dynamique descend à 16,65 m. Le puits a fourni, pendant 10 h, 115 m³/h avec un niveau dynamique stabilisé à 26,10 m. Lors de

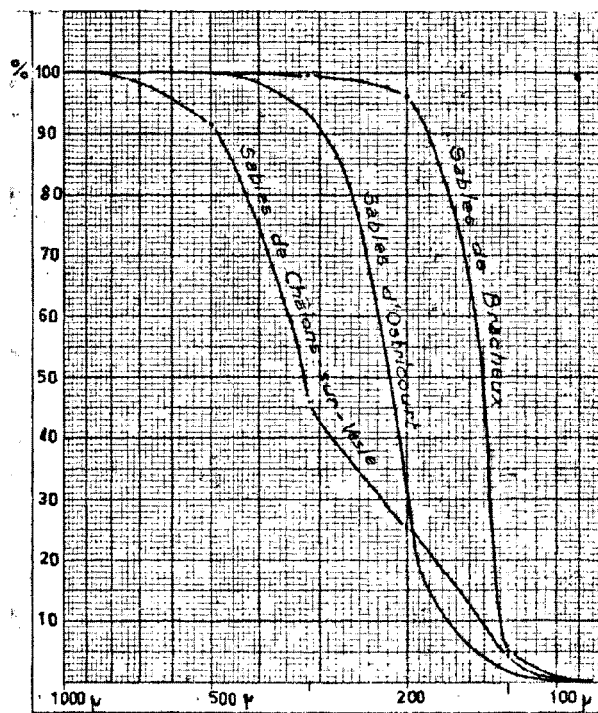


FIG. 1

Courbes cumulatives des « Sables de Châlons-sur-Vesle, de Bracheux et d'Ostricourt ». En ordonnées, le pourcentage en poids de sable traversant les tamis ; en abscisses, les largeurs des mailles des tamis (échelle logarithmique). La différence entre les courbes des « Sables d'Ostricourt » et des « Sables de Bracheux » résulte du fait que M. G. Waterlot, à qui j'emprunte les résultats concernant les sables landéniens, a utilisé une série de tamis différente de celle que j'ai employée.

l'arrêt des pompages, la remontée de l'eau s'effectue très rapidement et régulièrement ; en 6 mn la surface piézométrique passe de 26,10 à 5 m.

Des piézomètres installés autour d'un sondage d'essai ont montré que le cône d'influence était très réduit, surtout en direction de la rivière. A 20 m du forage, le rabattement n'est que de 10 cm pour un débit de 54 m³/h. La dénivellation atteint alors dans le sondage environ 12 m.

ORIGINE DES EAUX.

Les sables sont imprégnés sur toute l'épaisseur de la couche. Il semble que la partie supérieure constituée par les « Sables de Châlons-sur-Vesle », à granulométrie grossière, soit plus aquifère. Mais, néanmoins, les « Sables de Bracheux », plus fins, fournissent eux aussi un débit intéressant. Les dépôts quaternaires pour leur part n'apportent qu'une faible quantité d'eau.

Comment cette nappe est-elle alimentée ? Les « Sables de Bracheux » affleurent en fait sur une superficie très restreinte dans le secteur de Courmelles, soit environ sur 1 km². Ils recueillent, à l'aval du puits, les eaux superficielles ayant circulé

sur les « Argiles à lignites ». En fait, on peut cependant considérer que le bassin d'alimentation de la nappe thanétienne est beaucoup plus vaste car les « Sables de Bracheux » se trouvent assez longuement en rapport avec les alluvions de la Vesle et surtout avec les alluvions de l'Aisne. En effet, dans la vallée de l'Aisne, on peut admettre, qu'en certains points au moins, il y a relation entre la nappe alluviale, qui est très riche, et la nappe des « Sables de Bracheux ». Malgré l'absence d'affleurement important de Thanétien, on ne doit donc pas être étonné de rencontrer une riche nappe aquifère dans les « Sables de Bracheux ».

Les eaux recueillies dans le puits présentent les caractéristiques suivantes :

Th total : 39,5	anions	cations
	r (J)	r
Ph : 7	CO ₃ : 7,1	Ca : 6,86
	SO ₄ : 1	Mg : 1
	Cl : 0,25	Na : 0,47
		K : 0,025

(1) Quantités en réaction (milliéquivalents).

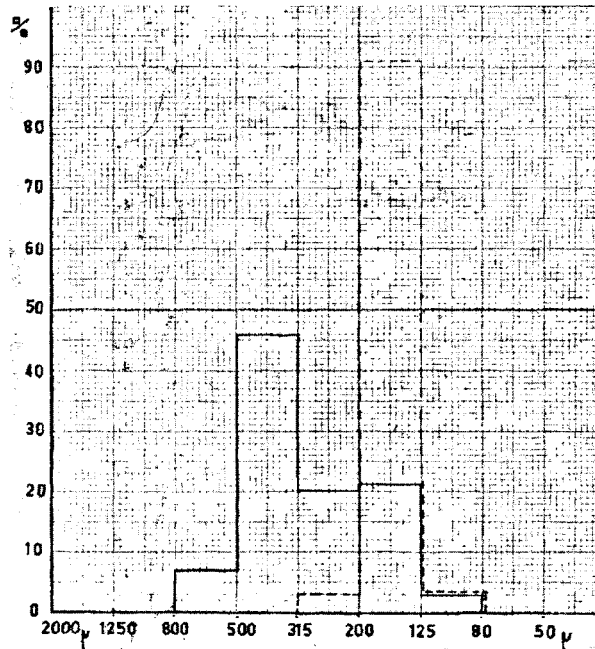


FIG. 2

Histogramme des « Sables de Châlons-sur-Vesle » (trait plein) et des « Sables de Bracheux (trait pointillé). En ordonnées, le pourcentage en poids retenu par les tamis ; en abscisses, les largeurs des mailles des tamis.

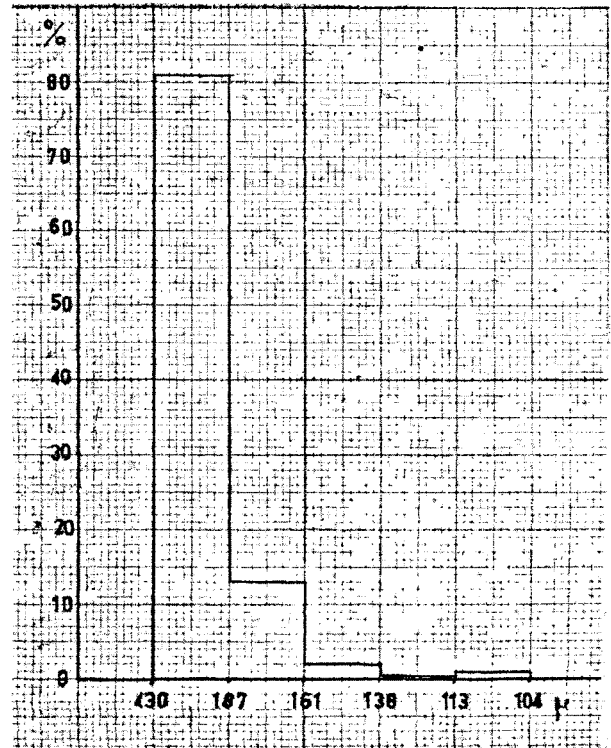


FIG. 3

Histogramme des « Sables d'Ostricourt » (d'après G. Waterlot).

Ces eaux sont calcaires ; ceci ne nous étonne guère car toutes les eaux des alluvions de l'Aisne sont calcaires et on connaît les rapports étroits qui unissent ici la nappe des alluvions et celle des « Sables de Bracheux » (voir J. Polvéche, 1961). Notons aussi que les eaux captées sont légèrement sulfatées, comme toutes les eaux qui ont circulé sur les « Argiles à lignites » du Sparnacien. Enfin, elles présentent une teneur élevée en fer (2,75 mg/l) et en manganèse (0,5 mg/l), comme certaines eaux des alluvions de l'Aisne et de la Vesle. C'est encore dans la nappe des alluvions qu'il faut rechercher l'origine du fer. Pour éviter la présence du fer, il aurait peut-être été préférable d'installer l'ouvrage en dehors de la zone alluviale de la Crise.

Conclusion

Il apparaît donc que les « Sables de Bracheux » peuvent contenir, dans certaines conditions, une nappe aquifère importante. Je pense que, lors d'études hydrologiques dans le Tertiaire du Bassin parisien, il faut tenir compte des remarques signalées ci-dessus et ne pas négliger, à priori, les eaux de la nappe thanétienne qui ont souvent été dédaignées, parfois sans raison.

Les « Sables de Bracheux » sont très aquifères dans cette zone car :

1° ils sont bien alimentés grâce aux nombreux rapports existants entre ces sables et les nappes alluviales ;

2° on reconnaît à la partie supérieure du Thanétien un niveau à granulométrie très grossière, donc à forte porosité (Sables de Châlons-sur-Vesle) ;

3° ces sables ne contiennent pratiquement pas d'éléments argileux ; ils ont une granulométrie très homogène favorisant la circulation de l'eau.

Il est intéressant de noter pour conclure les rapports étroits qui existent entre la granulométrie des « Sables de Bracheux » et la granulométrie de certains niveaux des « Sables d'Ostricourt » du Landénien (fig. 2 et 3). On sait que ces deux assises sont synchroniques. Leurs courbes granulométriques sont quasi-identiques (voir G. Waterlot, 1957 a). Pourtant, les forages qui recueillent l'eau des « Sables d'Ostricourt » fournissent des débits très faibles de l'ordre de 5 à 8 m³/h. Comme l'a fait G. Waterlot, on peut incriminer, pour expliquer ce fait, l'existence de lits argileux qui colmatent les pores des sables. Il serait cependant intéressant de vérifier par l'exécution d'un puits bien conçu dans les sables landéniens si les résultats obtenus par forage ne peuvent pas être améliorés.

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

BONTE A. (1958). — Sur divers aspects de la circulation des eaux souterraines. Application à la recherche de l'eau dans les calcaires. *Ann. Soc. géol. Nord*, t. LXXVIII, p. 183-198.

POLVÉCHE J. (1961). — Notice géologique et hydrogéologique sur le département de l'Aisne. *Bull. Inst. Nat. Hygiène* (en cours d'impression).

WATERLOT G. (1957 a). — Le toit des Sables landéniens en Flandre dans la région comprise entre Saint-Omer et Lille. Remarques sur la nature des sables et leur hydrologie. *Ann. Soc. géol. Nord*, t. LXXVII, p. 74-82.

WATERLOT G. (1957 b). — Les ressources hydrologiques du Nord de la France. *Le Monde industriel*, n° 532, p. 5-26, 13 fig.

WATERLOT G. (1960). — Sur les variations du chimisme des eaux de la craie dans les zones de recouvrement tertiaire. Colloque international. *Ann. Soc. géol. Nord* (en cours d'impression).



Séance du 7 Décembre 1960

ASSEMBLEE GENERALE EXTRAORDINAIRE

PRÉSIDENTENCE DE M. J. RICOUR, PRÉSIDENT

Le Président remercie M^{lles} CARETTE et CAYEUX et MM. PFEFFER et VIGNEUX qui ont fait don à la Société d'un exemplaire de leur diplôme d'études supérieures.

Sont élus membres :

M. MORTEJLMANS G., Professeur de Géologie à Bruxelles (présenté par MM. G. Waterlot et J. Polvéche).

M. LAVEINE J.P., Licencié ès-Sciences, 254, boulevard Victor Hugo à Lille (présenté par MM. Corsin et Danzé).

M. CHRISTOF, Ingénieur à Freiberg (Allemagne) (présenté par MM. Feys et Vandenberghe).

La Chambre de Commerce de Roubaix (présentée par MM. J. Ricour et G. Waterlot).

La Société Géologique du Nord, réunie en assemblée générale ordinaire, a voté, à l'unanimité, le projet de nouveaux statuts présenté par le Bureau et le Conseil.

Les nouveaux statuts seront publiés dans le prochain fascicule.

COMMUNICATIONS

Sur la composition du Bathonien dans le Nord et l'Est de la France ⁽¹⁾

par A. BONTE ⁽²⁾

(1 fig.)

Sommaire. — Les coupes du Bathonien relevées en diverses régions, du Boulonnais au Jura, permettent des corrélations faciles entre leurs trois termes et devraient servir de point de départ pour l'étude du Bathonien lorrain.

Des précisions sont ajoutées sur la découverte à Boulogne-sur-Mer de formations marines antérieures au Bathonien.

La stratigraphie du Bathonien de l'Est du Bassin de Paris a fait l'objet depuis une trentaine d'années de nombreuses études plus ou moins synthétiques qui ont provoqué des discussions assez embrouillées ⁽³⁾.

Les premiers travaux sur le Bathonien ont permis de définir des séries locales, mais les auteurs ont rarement tenté de faire les raccorde-

(1) Cette communication a été présentée le 17 Juillet 1956 au Congrès de l'A.F.A.S. à Dijon, mais n'a jamais été publiée. Je remercie le Conseil de la Société Géologique du Nord d'avoir bien voulu l'accepter dans les Annales.

(2) Professeur de Géologie appliquée à la Faculté des Sciences de Lille.

(3) Dans cette note de caractère général, j'ai volontairement négligé de citer, au fur et à mesure, les auteurs qui se sont occupés du Bathonien, ce qui aurait nécessité une liste bibliographique considérable. Les stratigraphes qui s'intéressent au Bathonien connaissent parfaitement les notes auxquelles je ferai allusion. Je me contenterai de citer, une fois pour toutes, les auteurs des travaux récents utilisés : MM. Corroy, Delépine, Dutertre, Fallot, Gardet, Joly H., Joly J., Mangin, Maubeuge, Pelletier, Pruvost, Rat, Stchépinsky, Thiéry, Tintant.

ments entre ces séries. Pour le Nord et la Lorraine, ils sont restés sur une prudente réserve, alors qu'ils proposaient des assimilations, basées sur des similitudes de faciès, avec le Bathonien d'Angleterre. Dans ce cas particulier, les séries locales sont assez différentes ; le passage de l'une à l'autre se fait vers la limite des circonscriptions académiques de Lille et de Nancy et c'est peut-être ce qui explique la rareté des études dans ce secteur ; mais depuis longtemps Gosselet a fait remarquer les modifications de faciès du Bathonien dans la région de Montmédy-Stenay.

Le même phénomène a dû se produire entre la Lorraine et le Jura, où précisément les anciens auteurs ont aussi tenté de raccorder leurs séries avec les séries anglaises.

Les assimilations avec le Bathonien d'Angleterre étaient sujettes à révision ; mais la division du Bathonien en trois termes, correspondant respectivement aux Bathoniens inférieur, moyen et supérieur, semble néanmoins bien établie dans le Nord et dans le Jura. En Lorraine, s'il existe des lacunes, on ne pourra les définir avec précision qu'en partant des régions qui l'encadrent au Nord et au Sud et en suivant pas à pas l'évolution des faciès. De toute façon, quelles que fussent les imperfections des études antérieures, elles ne semblaient pas justifier les bouleversements récemment proposés.

Je rappellerai sommairement la composition du Bathonien du Nord de la France d'une part, et du Jura septentrional d'autre part, pour montrer les analogies indiscutables entre ces régions où le Bathonien semble complet comme en Côte-d'Or. J'essaierai ensuite de démontrer l'existence de trois termes dans ce Bathonien et de justifier les coupures adoptées.

I. — Le Bathonien du Nord de la France

Dans la partie septentrionale du Bassin de Paris, le Bathonien affleure largement à partir d'Hirson et se développe vers l'ESE, en direction de Montmédy-Stenay, à travers l'Aisne, les Ardennes et la Meuse ; vers l'Ouest, il disparaît sous le Crétacé mais a été reconnu à plusieurs reprises en sondage ; il réapparaît dans le Boulonnais sous un faciès un peu différent.

A) LE BATHONIEN DE L' AISNE ET DES ARDENNES.

Les premières descriptions détaillées datent de plus de cent ans et les gisements classiques d'Aubenton, de Rumigny ont été fouillés méthodique-

ment par Piette qui en a extrait une faune remarquable.

Les grandes divisions définies à l'époque restent valables et on peut distinguer de haut en bas :

4) *L'Oolithe marneuse* : calcaire plus ou moins marneux, à oolites vraies et à fins débris de Lamellibranches et d'Echinodermes ; *Rhynchonella elegantula* à la base.

3) Les *Calcaires blancs* : calcaires sublithographique, crayeux, grumeleux, noduleux, pseudo-oolithique ou pseudo-pisolithique, bréchique, etc... Au sommet, ils renferment un banc pétri de *Rhynchonella decorata* ; à l'Est d'Hirson, un récif à Polypiers est intercalé entre ces calcaires et l'Oolithe miliaire.

Ces calcaires, malgré leur hétérogénéité de détail, forment un ensemble qui se distingue parfaitement des formations qui l'encadrent, car jamais ils ne renferment d'oolites vraies.

2) *L'Oolithe miliaire* : calcaires formés par l'accumulation d'oolites vraies généralement bien calibrées ; à l'W d'Hirson, le sommet de l'Oolithe miliaire se présente sous un faciès sableux et ligniteux.

1) Les *Marnes et calcaires marneux à Ostrea acuminata*, avec oolites brunes.

Ces quatre termes sont d'une constance remarquable et leurs limites relativement nettes à l'échelle de la carte géologique. Les Marnes à *Ostrea acuminata* passent très rapidement vers le haut à l'Oolithe miliaire, sans que la limite soit parfaitement tranchée ; cependant, Piette a signalé des sables et des grès à ce niveau. L'Oolithe miliaire est séparée des Calcaires blancs, notamment au S de Mézières, par quelques banes de grès calcareux. Les Calcaires blancs sont à leur tour séparés de l'Oolithe supérieure par quelques mètres de calcaires marneux blancs plus ou moins oolithiques rattachés à cette dernière et désignés par Piette sous le nom de Calcaires à *Trochalia patella* ; j'y ai trouvé à plusieurs reprises un grand Foraminifère caractéristique de ce niveau, *Orbitammia elliptica*.

Les Marnes et calcaires marneux à *Ostrea acuminata* renferment fréquemment des Ammonites qui les ont fait rattacher au Bajocien supérieur. Les trois termes compris entre ce Bajocien supérieur et les marnes du Callovien ont toujours été rapportés au Bathonien et il semblait logique de les attribuer respectivement aux Bathoniens inférieur, moyen et supérieur.

B) LE BATHONIEN DU BOULONNAIS.

Bien connu aussi par les travaux anciens, il comporte de haut en bas :

- 6) Calcaire oolithique.
- 5) Calcaire marneux à *Rhynchonella elegantula* ; lit ligniteux à la base.
- 4) Oolithe de Marquise à *Rhynchonella hopkinsi*.
- 3) Calcaire de Rinxent à *Rhynchonella concinna*.
- 2) Marnes d'Hidrequent à *Ostrea sowerbyi*.
- 1) Sables d'Hidrequent, ligniteux et pyriteux.

Les Sables d'Hidrequent, homologues des Neacran beds, doivent être rapportés au Bajocien supérieur. Le Calcaire de Rinxent et l'Oolithe de Marquise, en réalité pseudo-oolithiques, correspondraient aux Calcaires blancs. Le calcaire oolithique supérieur est l'équivalent de l'Oolithe marneuse séparée des Calcaires blancs, comme dans l'Aisne et les Ardennes, par des calcaires marneux à *Rhynchonella elegantula*.

C) LE BATHONIEN DES SONDAGES ENTRE AISNE ET BOULONNAIS.

a) Au sondage de **Ferrières-en-Bray**, M. Pruvost a retrouvé les différents termes de cette série :

- 5) Calcaire oolithique à délits marneux.
- 4) Calcaire marneux avec passage de calcaire oolithique à silex ; *Rhynchonella elegantula*.
- 3) Calcaires divers : oolithique, pisolithique, grenu ; Polypiers à la base.
- 2) Calcaire à oolithes pulvérulentes.
- 1) Marnes grises à *Ostrea acuminata*.

5 et 4 représentent le Bathonien supérieur, 3 le Bathonien moyen, 2 le Bathonien inférieur et 1 le Bajocien supérieur.

b) Au sondage d'**Amiens**, M. Pruvost a distingué les termes suivants :

- 5) Calcaire oolithique.
- 4) Marnes et calcaires marneux à *Rhynchonella elegantula*.
- 3) Calcaire pisolithique et sublithographique.
- 2) Calcaire à grosses oolithes bleues dans un ciment calcaire blanc.
- 1) Marnes grises sableuses et micacées à débris ligniteux et Ostracodes.

Les termes 5 et 4 représenteraient le Bathonien supérieur, les termes 3 et 2 le Bathonien moyen,

le terme 1 rappelle le faciès ligniteux du sommet de l'Oolithe miliaire à l'Ouest d'Hirson et correspond vraisemblablement au sommet du Bathonien inférieur.

c) Quatre sondages récents à la **limite du Pas-de-Calais et de la Somme** ont traversé cinquante mètres de Bathonien, de type tout à fait comparable, comportant de haut en bas :

- 5) des calcaires oolithiques francs ;
- 4) des calcaires marneux gris clair ;
- 3) des calcaires récifaux de faciès variés : crayeux, pseudoolithique, pisolithique, bréchique, sublithographique ;
- 2) des calcaires oolithiques francs ;
- 1) des marnes grises sableuses et ligniteuses et des grès oolithiques.

Les termes 5 et 4 représentent le Bathonien supérieur, le terme 3 les Calcaires blancs du Bathonien moyen, le terme 2 l'Oolithe miliaire du Bathonien inférieur reposant sur des marnes assimilables aux Sables d'Hidrequent.

II. — Le Bathonien du Jura septentrional

En Franche-Comté, le Bathonien est bien représenté par trois termes analogues à ceux du Nord de la France.

4) L'*Oolithe supérieure* est fréquemment massive, mais elle s'altère en laves et, en cassure, on y reconnaît toujours, à côté des débris d'Echinodermes, des oolithes vraies. La limite des Calcaires blancs et de l'Oolithe supérieure est souvent très nette (Besançon, Lons-le-Saunier) ; mais parfois (Cléron) on observe entre ces deux termes quelques bancs de calcaire finement gréseux.

3) Les *Calcaires blancs* massifs, en gros bancs, présentent la même hétérogénéité que dans les Ardennes ; ce sont des calcaires pseudoolithique, grumelleux, pisolithique, bréchique, sublithographique ; à la partie supérieure, il existe dans la région de Cléron des masses dolomitiques peu étendues.

2) L'*Oolithe miliaire* est aussi représentée par des calcaires massifs, qui, en réalité, sont des calcaires à nombreuses oolithes vraies bien calibrées, analogues, à la cimentation près, à l'Oolithe miliaire des Ardennes ; ces calcaires oolithiques, dans lesquels les oolithes sont juxtaposées, passent progressivement, vers le haut, aux Calcaires compacts complètement dépourvus d'oolithes vraies.

1) Les *Marnes à Ostrea acuminata* n'ont pas la même importance que dans l'Aisne et les Ardennes. Dans la région de Besançon, au-dessus du Bajocien moyen à Polypiers, on observe simplement quelques banes marneux intercalés au milieu de lumachelles calcaires à Huîtres ; mais plus au Sud, entre Besançon et Lons-le-Saunier, le faciès marneux se développe et on y recueille des *Parkinsonia* du Bajocien supérieur.

On reconnaît ici, dans les trois termes 2-3-4, respectivement le Bathonien inférieur, le Bathonien moyen et le Bathonien supérieur du Nord de la France.

III. — Comparaison des différentes coupes et corrélations avec les régions voisines (fig. 1)

L'analyse rapide des coupes précédentes montre une analogie frappante entre le Bathonien du Nord et de l'Est du Bassin de Paris, analogie soulignée

déjà au fur et à mesure de la description. On retrouve partout, en effet, trois grandes divisions :

- une division supérieure oolithique ;
- une division moyenne de calcaires blancs variés, mais jamais oolithiques ;
- une division inférieure oolithique.

L'oolithe supérieure est séparée localement des calcaires blancs par un horizon gréseux ou ligniteux ou par des passées dolomitiques ; les Calcaires blancs sont séparés de l'Oolithe inférieure par un autre horizon gréseux ou ligniteux, qui souligne, comme le précédent, des modifications paléogéographiques d'ordre général.

Ces grandes divisions ne sont d'ailleurs pas limitées aux secteurs envisagés ici. D'après les travaux des Géologues de Dijon, on sait qu'en Côte-d'Or on peut distinguer, au-dessus des Marnes à *Ostrea acuminata*, trois faciès différents : l'Oolithe blanche, le Calcaire de Comblanchien et les Calcai-

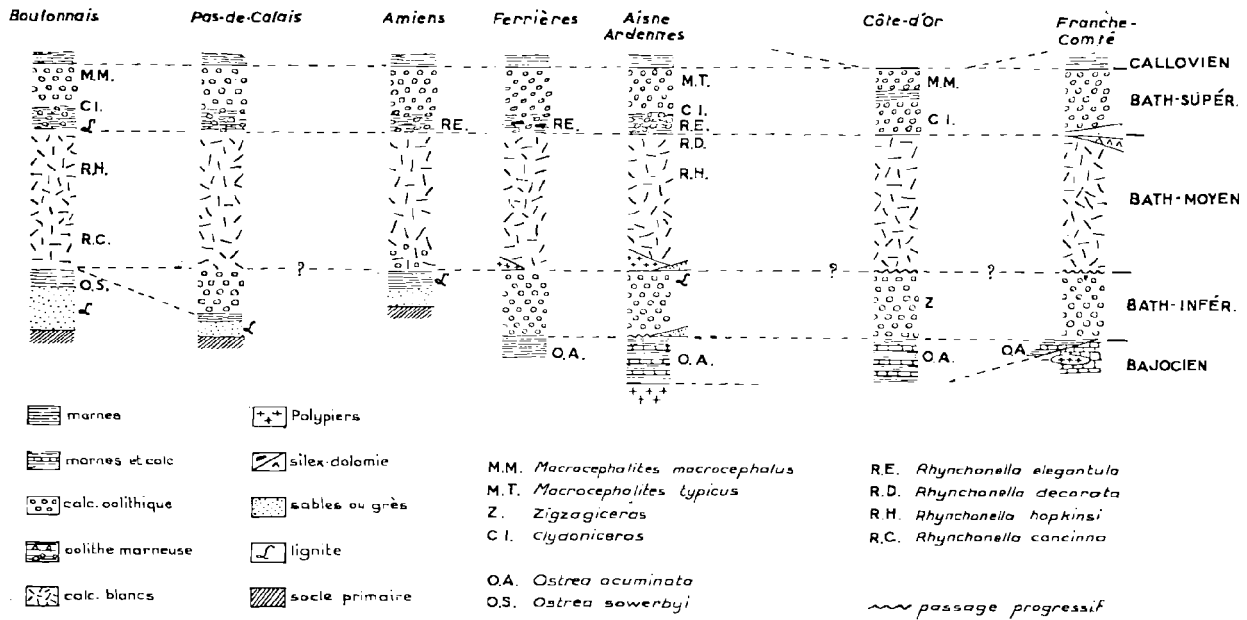


FIG. 1

res marneux oolithiques ou à débris, qui pourraient correspondre respectivement, du point de vue lithologique, à l'Oolithe miliaire, aux Calcaires blancs et à l'Oolithe marneuse.

Les faciès ne sont cependant pas aussi tranchés que dans le Nord et l'Est ; en particulier, il semble, d'après les descriptions, que le passage de l'Oolithe

miliaire aux Calcaires blancs se fasse de façon progressive, comme dans le Jura et peut-être aussi dans les sondages de Ferrières et d'Amiens. Encore faudrait-il s'assurer que les calcaires oolithiques intercalés dans les Calcaires blancs sont effectivement constitués d'oolithes vraies, car la distinction n'est pas toujours commode.

Dans les secteurs étudiés du Nord et de l'Est, l'analyse microscopique confirme de façon étonnante les divisions macroscopiques. C'est ainsi que dans la région de Mulhouse les microfaciès à la limite, recoupée en sondage, du Bathonien moyen et du Bathonien supérieur sont absolument identiques aux microfaciès du Jura et des Ardennes.

IV. — Discussion des coupures

1) LA LIMITE INFÉRIEURE DU BATHONIEN. — Elle semble admise actuellement par tout le monde entre les Marnes à *Ostrea acuminata* (Bajocien supérieur, daté par des Ammonites) et l'Oolithe miliaire.

2) LE BATHONIEN INFÉRIEUR. — L'âge de l'Oolithe blanche a été établi de façon indiscutable par MM. Tintant et Joly qui y ont trouvé, dans la région de Flavigny, *Zigzagiceras clausiprocerum*, *Z. subprocerum* et *Z. pollubrum*, associées à de rares *Oxyerites* du groupe de *fusca*.

3) LE BATHONIEN MOYEN. — Les Calcaires blancs, à ma connaissance, n'ont jamais fourni d'Ammonite, pas plus dans le Nord qu'en Franche-Comté ou en Côte-d'Or. Par contre, ils ont livré une très riche faune de Lamellibranches et surtout de Gastropodes, au moins dans l'Aisne et les Ardennes.

Les Brachiopodes y sont rares. *Rhynchonella decorata* a été signalée en Franche-Comté de façon exceptionnelle, mais son principal gisement est le sommet des Calcaires blancs où on les trouve par centaines dans un banc repère d'un mètre d'épaisseur. *Rhynchonella hopkinsi* et des formes voisines existent au Sud d'Hirson sous le banc à *Rhynchonella decorata* et caractérisent dans le Boulonnais la pierre de Marquise.

4) LE BATHONIEN SUPÉRIEUR. — J'y ai rapporté les calcaires marneux à *Rhynchonella elegantula* des Ardennes et du Boulonnais, mais cet horizon appartiendrait peut-être encore au Bathonien moyen. Cependant M. Gardet a récolté à ce niveau, près de la gare de Poix-Terron, un fragment de *Clydoniceras davaiazense*; et les collections du Musée Gosselet à Lille renferment quelques Périssphinctidés (« *P. quercinus* ») de ce niveau.

Des Ammonites ont été trouvées à plusieurs reprises dans les calcaires oolithiques supérieurs : *Perisphinctes subbakeriae* dans les Ardennes à Signy-l'Abbaye, *Clydoniceras discus* en Côte-d'Or et en Boulonnais.

Enfin, au sommet de la formation calcaire, on a trouvé *Macrocephalites macrocephalus* dans le Boulonnais et en Côte-d'Or, *M. gracilis* dans les Ardennes (dét. H. Tintant).

Remarque. — Je rappelle que les limites adoptées entre ces trois termes sont soulignées, en plusieurs points, par des formations gréseuses ou marno-sableuses à débris ligniteux et Ostracodes.

5) LA LIMITE SUPÉRIEURE DU BATHONIEN. — La présence de *Macrocephalites* dans le Cornbrash supérieur d'Angleterre et dans les derniers bancs de l'Oolithe supérieure du Boulonnais des Ardennes et de Côte-d'Or pose un grave problème pour fixer la limite supérieure du Bathonien. Que *M. macrocephalus* ait toujours été considéré comme fossile du Callovien inférieur, cela ne fait aucun doute; mais est-ce une raison suffisante pour lui conserver cette signification ?

Personnellement, je n'ai jamais trouvé cette forme en place à la base du Callovien, mais les échantillons conservés en collections sont moulés par du calcaire oolithique du Bathonien supérieur; tandis que les moulages de *Proplanulites* et de *Govericeras* sont constitués par du calcaire marneux gris à oolithes ferrugineuses. Par contre, j'ai déjà récolté au contact du Bathonien d'autres Ammonites dont la gangue était marneuse à oolithes ferrugineuses et le remplissage calcaire et oolithique et qui, par conséquent, étaient remaniées de l'oolithe sous-jacente. Dans ces conditions, les *Macrocephalites* datent-ils vraiment le Callovien ou au contraire le Bathonien supérieur ? J'insiste sur la nécessité de casser ou de seier les Ammonites récoltées à ce niveau pour se rendre compte, d'après le remplissage, si elles sont remaniées ou non.

En l'absence d'Ammonite, on se base souvent sur les Brachiopodes pour préciser la limite du Bathonien et du Callovien. Je pense qu'on peut considérer les Brachiopodes comme de bons fossiles pour la stratigraphie locale, mais on a peut-être exagéré leur valeur pour les synchronismes à grande distance.

Le problème est certainement complexe en raison des faciès extrêmement variés du sommet du Bathonien et de la base du Callovien. Si parfois la coupure est extrêmement nette, il faut reconnaître que souvent on peut hésiter sur la limite des deux étages. La valeur trop absolue attribuée à *M. macrocephalus* d'une part, aux Brachiopodes d'autre part, est certainement la cause des discussions entre stratigraphes.

V. — La valeur des faciès lithologiques

On pourrait être surpris de voir attribuer une aussi grande importance aux faciès lithologiques pour définir les trois zones du Bathonien et les limites avec les étages qui l'encadrent. Il est certain que, dans le détail, il existe des variations secondaires qui sont dues au fait que les modifications paléogéographiques sont toujours progressives ; mais on ne peut manquer d'être frappé de l'uniformité de composition des trois divisions qui ont été définies et qui se maintiennent sur des centaines de kilomètres. On a pu critiquer les assimilations des anciens auteurs avec la série anglaise, mais il faut reconnaître que ces assimilations étaient en partie justifiées.

En ce qui concerne le Nord et l'Est du Bassin de Paris, la continuité des faciès a été contrôlée pendant des années. En particulier la limite Bathonien moyen - Bathonien supérieur est d'une constance remarquable et les microfaciès sont à ce point identiques qu'on peut souvent, dans une série de lames minces, définir à coup sûr la limite établie à l'œil nu.

Tous les stratigraphes utilisent les faciès pour leurs corrélations et les contrôlent par des arguments paléontologiques, sans qu'il soit nécessaire d'instituer à leur intention « une défense de la Paléontologie stratigraphique ». Encore faut-il que les fossiles utilisés aient une signification suffisante.

Les Ammonites sont généralement d'excellents fossiles, mais il faut contrôler leur valeur et s'assurer qu'elles sont contemporaines de la roche qui les renferme. A quelles erreurs ne s'exposerait-on pas si on se fiait, par exemple, aux Ammonites phosphatées remaniées, sans aucune usure et avec leur test originel, à l'intérieur des nodules auxquels elles ont donné naissance. Les exemples ne manquent pas de ces bons fossiles déplacés de leur dépôt d'origine : cordons phosphatés du Lias, du Callovien, de l'Oxfordien, du Portlandien, du Gault, etc... Quant aux Brachiopodes, ils ne semblent pas valables, en général, pour des synchronismes à grande distance.

Si l'utilisation des faciès peut conduire à des assimilations de détail erronées, il y a une autre erreur à éviter : c'est de bouleverser, sans raison suffisante, une stratigraphie patiemment échafaudée. C'est ainsi que récemment M. Maubeuge a décidé de reporter dans le Bajocien les calcaires à *Rhynchonella decorata* du sommet du Bathonien moyen, en s'appuyant sur la découverte d'une « forme affine à une espèce malheureusement raris-

sime du Bajocien anglais », ce qui entraîne d'un seul coup, pour tout le Nord et l'Est du Bassin de Paris, une lacune du Bathonien inférieur et moyen. Pour imposer une telle modification dans l'interprétation des travaux antérieurs, il faut des arguments autrement décisifs.

Conclusion

Les coupes du Bathonien dont je viens de rappeler sommairement les éléments montrent qu'en dehors de la Lorraine la série semble complète avec trois termes que l'on peut synchroniser assez facilement.

Il n'est pas question de nier l'existence de lacunes en Lorraine. Dans cette région, qui prolonge au SW le Horst rhénan, les oscillations des lignes de rivage ont sans doute été nombreuses et les faciès ont dû se ressentir de l'instabilité du substratum.

Aussi n'est-ce pas là qu'il faut chercher la solution des problèmes du Bathonien. C'est en suivant pas à pas, à partir du Nord et du Sud, l'évolution des séries complètes qu'on arrivera peut-être un jour à dresser un tableau cohérent de la répartition des nombreux faciès du Bathonien de l'Est du Bassin de Paris.

*
**

Pour compléter cette communication, qui reproduit intégralement le texte déposé en 1956, je voudrais ajouter quelques éléments nouveaux sur le Bathonien du Boulonnais qui vient d'être traversé en carottage continu par deux forages pour recherche d'eau.

La coupe du Bathonien est pratiquement identique à celle qu'on peut relever aux affleurements de la région de Marquise. Mais, au-dessous des marnes d'Hidrequent, la sonde a traversé, à la place des sables d'Hidrequent, une trentaine de mètres de formations marines comportant de haut en bas :

- 6) un calcaire à Polypiers,
- 5) des calcaires pseudoolithiques et oolithiques,
- 4) des calcaires gréseux,
- 3) des grès pyriteux et ligniteux,
- 2) des marno-calcaires à Bélemnites,
- 1) des argiles finement sableuses, gris clair, à débris végétaux.

Les termes 6 à 3 doivent, par analogie avec les Ardennes, être rapportés au Bajocien, le terme 2 au Lias ; quant au terme 1, il pourrait représenter l'Infralias ou toute autre formation antérieure.

Ces sondages, dont l'étude est en cours, feront l'objet d'une publication détaillée.

Du point de vue hydrologique, les deux forages sont artésiens avec niveau statique entre 15 et 20 mètres au-dessus du sol naturel. Le premier forage n'a donné, malgré de multiples essais, qu'un faible résultat : le débit pratique ne peut dépasser 50 m³/h sous une forte dénivelée.

Le forage 2, par contre, très rapidement après le début de la zone aquifère, a donné lieu le 2 Décembre 1960 à une venue d'eau abondante qui,

au départ, se traduit par un débit artésien de 400 litres par minute au sol. Cette venue brutale a provoqué l'écrasement du tube intérieur du carottier et la destruction de la carotte ; de sorte qu'on ne peut savoir si la venue correspond à une zone broyée ou à un conduit privilégié.

Cette découverte, survenue un an jour pour jour après la séance du 2 Décembre 1959 au cours de laquelle je suggérais la recherche de l'eau dans le Bathonien du littoral boulonnais, montre que le Bathonien constitue un réservoir valable, malgré les caprices de la circulation dans les calcaires.

Ce réservoir, encore inexploité, doit être protégé et étudié systématiquement, car il est susceptible de fournir un appoint appréciable dans une région où les ressources profondes sont rares.

Observations sur le complexe faillé des Cévennes et autres accidents (Ardèche et Gard). Essai d'interprétation profonde du sillon d'Alès

par G. DUÉE et J. PAQUET (1)

(4 fig.)

Sommaire. — Cette étude concerne la bordure sédimentaire orientale du Massif central entre Lagorce, au N de Vallon-Pont d'Arc (Ardèche), et St-Ambroix (Gard). Le complexe faillé des Cévennes témoigne de l'effondrement du sillon oligocène d'Alès. Il se pourrait que cet accident NE-SW soit à distinguer de failles NE-SW anté-oligocènes et postérieures à la tectonique pyrénéo-provençale éocène. Sous les terrains oligocènes, un forage a mis en évidence une lacune tectonique très importante. Ces failles anté-oligocènes seraient à mettre en relation avec le phénomène de surélévation des Cévennes cristallines. La Montagne Duzège, entre St-Sauveur de Cruzières et St-Ambroix, à l'W du complexe faillé des Cévennes, serait une des conséquences de ce phénomène de surélévation anté-oligocène.

Introduction

De Salavas à Alès, le complexe faillé des Cévennes sépare deux ensembles : à l'E un sillon oligocène et à l'W les séries néocomiennes et jurassiques de la bordure orientale du Massif central (Pays de Sampzon et de St Paul-le-Jeune) (voir fig. 1). Sur le bord est du sillon, le Sannoisien inférieur est, soit en discordance, soit en contact par faille avec un pays néocomien correspondant à la Zone des Garrigues.

De St-Sauveur de Cruzières à St-Brès par St-Ambroix, la Montagne Duzège, d'âge lusitanien et kiméridgien, se développe parallèlement au complexe faillé des Cévennes. Elle repose, du NE au SW, sur des termes valanginien, berriasien et jurassique supérieur appartenant au Pays de St Paul-le-Jeune. Les observations de détails ont été effectuées le long du complexe faillé des Cévennes et dans les Pays de Sampzon et de St Paul-le-Jeune.

Historique

Les relations entre les différents pays précédemment cités ont été interprétées différemment par les auteurs. G. Fabre et Cailleux (1901) défi-

nissent le bassin tertiaire comme « un long effondrement synclinal qui a commencé avec l'Eocène et s'est surtout accentué pendant l'Oligocène. C'est l'accident majeur... Il arrête brusquement vers le Massif central de la France la zone des plissements alpins et il est sensiblement parallèle au géosynclinal du Causse Méjean ». « Quant à la région des Garrigues crétaées, c'est une série de plissements parallèles aux Pyrénées et qui se prolongent sur les feuilles d'Orange et d'Avignon ».

P. Thiéry (1921) reconnaît sur le bord nord-ouest du sillon des failles de chevauchement : « La plus connue des surfaces de glissement qui découpent ainsi les terrains secondaires est celle que l'on appelle communément faille des Cévennes et qui fait reposer le Crétacé inférieur sur le Houiller de Rochebelle. Au-dessus, une surface entièrement semblable forme la base des terrains tertiaires ». De plus, P. Thiéry (1919) et P. Termier (1919-1923-1924) reconnaissent, à l'E d'Alès, des témoins sur le Tertiaire d'une nappe d'Eocrétacé réduite presque entièrement à l'état de mylonite : « Sur l'amplitude des charriages d'âge aquitainien, on sait seulement que les écailles des klippes argoniennes viennent tout au moins de la région actuellement occupée par la vallée du Rhône ».

J. Goguel (1936) ne donne aux « klippes argoniennes » d'Alès qu'une origine sédimentaire. G. Denizot (1931-1937) pense que les klippes

(1) Assistants à la Faculté des Sciences de Lille.

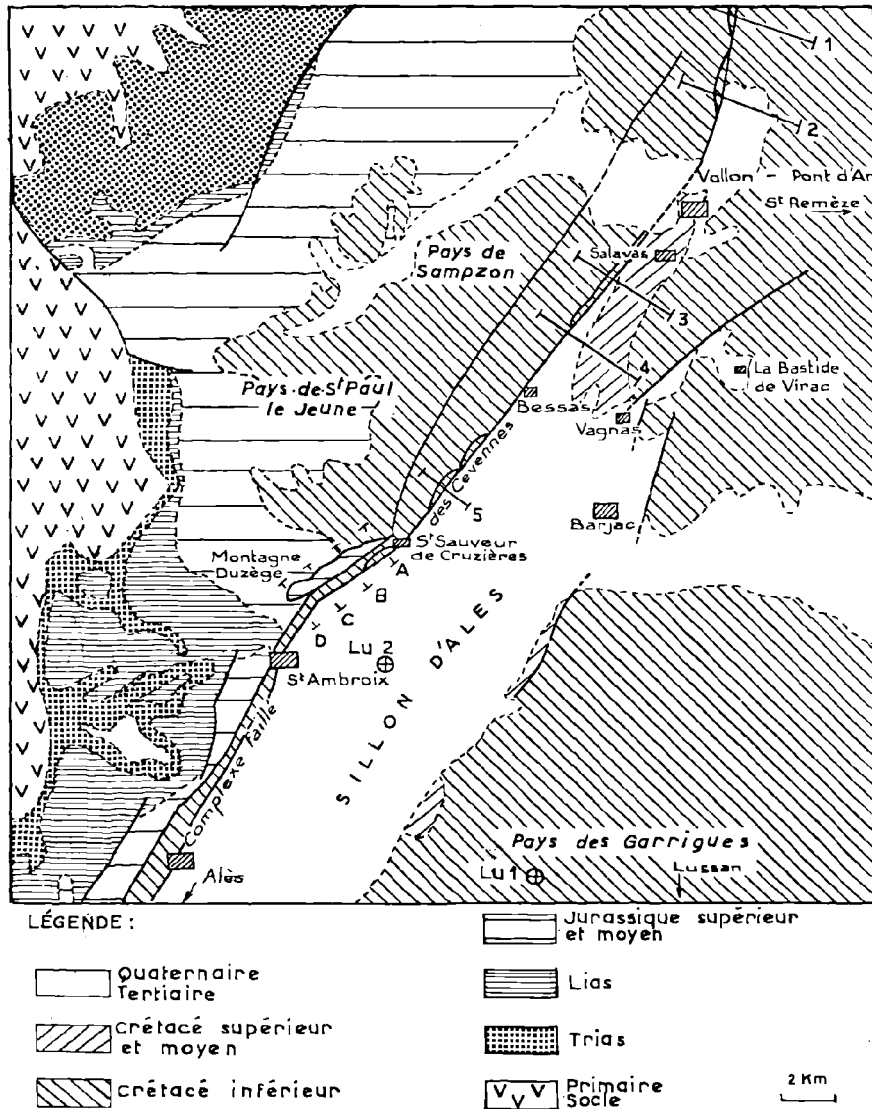


FIG. 1. — Esquisse géologique de la région de Vallon à Alès (Ardèche et Gard)

urgoniennes appartiennent à un massif crétacique effondré. « Les affaissements ont provoqué le chevauchement de ce massif suivant une faille plate inclinée à 30° de l'horizon avec discordance mécanique sur les couches tertiaires ».

Ch. Gottis (1957) dit de manière générale : « A l'Eocène moyen, la chaîne pyrénéo-provençale émerge et se plisse définitivement. Ces mouvements sont accompagnés d'une importante phase de fracturation E-W. Ces accidents ont découpé socle hereynien et couverture en grandes bandes

échelonnées en gradins, successivement relevés vers le S... Il semble, qu'à la fin de l'Eocène moyen et durant l'Eocène supérieur, le relèvement de cet axe pyrénéo-provençal ait été maximum... Cette surrection a provoqué le mouvement vers le N des masses sédimentaires dont le glissement a été favorisé par l'existence de l'assise plastique du Trias. Celles-ci ont été charriées et parfois même empilées plusieurs fois les unes sur les autres. Les séries chevauchantes mises en mouvement se trouvent plissées et déversées non loin de la zone

axiale ; en s'éloignant de celle-ci, vers le N, elles donnent des plis faillés ou des écaïlles... A l'Oligocène, le Massif central se soulève, tandis que le bâti pyrénéo-provençal s'affaisse. L'ensemble des matériaux autochtones et charriés sont alors sollicités vers le SE, soit orthogonalement à la direction de la bordure cévenole NE-SW. Par cassures et failles, ces matériaux se découpent en panneaux et se disposent en gradins s'affaissant vers le SE, déterminant parfois entre eux de profonds fossés NE-SW ».

G. Colo (1959) pense qu'en Ardèche « il existe deux types de failles, les unes tangentielles et les autres cassantes et postérieures aux premières puisqu'elles les recoupent, en conséquence les cachent ou les oblitèrent ». Il pense que l'on retrouve là l'influence des deux tectoniques pyrénéenne et cévenole et il conclut qu'il s'agit là « de la zone d'influence commune » mise en évidence par Ch. Cottis.

Le complexe faillé des Cévennes

L'observation de coupes sérieées le long de la faille des Cévennes, de Lagorce, au N de Vallon-Pont d'Arc, à St-Ambroix (voir fig. 1 et 2) permet de mettre en évidence l'existence d'une faille F d'effondrement limitant sur la majeure partie de son tracé le sillon oligocène d'Alès des séries secondaires situées à l'W. Au N de la limite septentrionale de ce sillon, elle intéresse uniquement les terrains néocéniens. Elle sépare un compartiment est urgonien (Barrémien supérieur) d'un compartiment ouest hauterivien inférieur (région de Lagorce et de Roche-colombe). En série normale, Urganien et Hauterivien inférieur se trouvent séparés par 1.500 m de terrains. A l'W de la faille F, on observe, d'une manière discontinue, une frange plus ou moins importante d'Urganien ou d'un autre terme du Néocéniens en contact par une faille inclinée à 45° avec les terrains situés à l'W. Le schéma est toujours le même : la faille F subverticale et à l'W de F, des coins limités à l'W par une faille f inclinée à 45° (voir coupes 1, 2, 3, 5, 6, fig. 2).

Dans une note précédente (J. Paquet, 1960), ces franges ont été considérées comme des copeaux satellites en forme de coins ayant accompagné le grand mouvement d'effondrement suivant la faille F située un peu plus à l'E. La faille f inclinée à 45° ne serait que la reproduction en surface de la pente en profondeur de la faille des Cévennes F. La longue extension de cette dernière (200 km au

moins), la rectitude de son tracé et son grand rejet conduisent à penser qu'il s'agit là d'un accident de socle de même type que ceux limitant les grands fossés d'effondrement. Etant données ces considérations générales et l'observation des coins, il semble que F soit une faille de socle inclinée vraisemblablement à 45° en profondeur (J. Goguel, 1952).

Il faut donc parler du complexe faillé des Cévennes plutôt que de la faille F des Cévennes seule. De plus à l'W et à peu de distance de F, au SW de St-Sauveur de Cruzières, on observe une faille F' d'effondrement, verticale et subissant les mêmes inflexions que F. F' limite, en particulier, la Montagne Duzège à l'E.

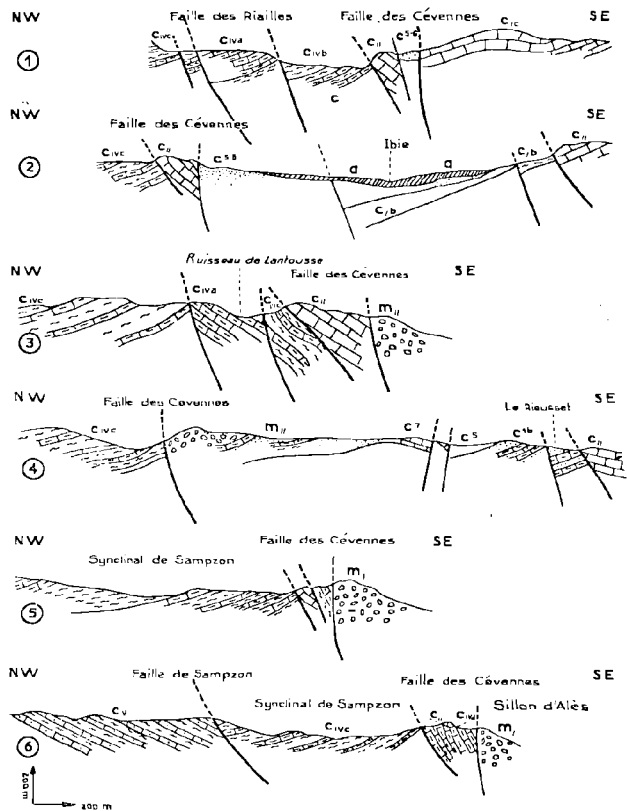


FIG. 2. — Coupes sérieées dans le complexe faillé des Cévennes de Lagorce à St-Sauveur de Cruzières.

Cv : Valanginien ; C1vc : Hauterivien inférieur ; C1vb : Hauterivien moyen ; C1va : Hauterivien supérieur ; C11 : Urganien (Barrémien supérieur) ; C1b : Bédoulien ; C1c : Bédoulien (facies récifal) ; C5-6 : Cénomano-Turonien ; m11 : Rupélien ; m1 : Chattien.

(Situation des coupes sur la fig. 1)

La Montagne Duzège

Il semble que l'accident K (voir fig. 3), au pied de la Montagne Duzège, soit de nature différente de celle des failles F, F' et f constituant le complexe faillé des Cévennes. En effet, cette « Montagne », de direction NE-SW, s'étend de St-Sauveur de Cruzières à St-Brès par St-Ambroix sur une distance de 8 km et repose par l'intermédiaire d'un contact plus ou moins plat sur un terme néocomien inférieur ou jurassique supérieur. Ces termes sont à rattacher à ceux du Pays de

St Paul-la-Jeune dérivant une vaste ondulation synclinale d'axe E-W et dont le bord sud-est, sur lequel repose la Montagne Duzège, se trouve redressé à plus de 45°. Le contact K est incliné et la masse jurassique susjacente est en position chevauchante par rapport au Pays de St Paul. L'accident K, un peu au NE de St-Brès et jusqu'à St-Sauveur de Cruzières, est recoupé très nettement par la faille F'. D'après ces observations, on peut penser qu'il existe des accidents de type tangentiel : K recoupés par des accidents de type effondrant : F'. Il reste à préciser le sens du déplacement de cette Montagne Duzège.

Données profondes - Interprétation tectonique

Le forage de Lussan 2 installé à St-Victor de Malcap à 4 km au S de la Montagne Duzège a traversé les terrains suivants : 1.300 m d'Oligocène, 280 m de Néocomien (Urgonien et Hauterivien), 80 m de Lias calcaire, 70 m de Trias et le Stéphanien identifié. L'analyse des résultats de ce sondage montre, en particulier, une lacune importante (2.000 m environ) entre Urgonien-Hauterivien et Lias calcaire (Lias inférieur).

Cette lacune peut-elle être stratigraphique ?

Elle impliquerait l'existence d'une cordillère émergée du Lias supérieur jusqu'au début du Crétacé inférieur. Or, à l'E du sillon oligocène, se développent les puissantes séries néocomiennes du Pays des Garrigues identiques du point de vue facies et épaisseur à celles trouvées plus au N dans la région de St-Remèze, elles-mêmes parfaitement comparables à celles de Vallon-Pont d'Arc et de Sampzon. Les termes néocomiens rencontrés le long du complexe faillé des Cévennes jusqu'à St-Ambroix appartiennent au même type de sédimentation. Il semble donc qu'au cours du Néocomien, les conditions de sédimentation étaient les mêmes à l'E, au N, et à l'W de l'emplacement actuel du sillon. De plus, au N de la zone d'affleurement des terrains oligocènes, donc là où cette cordillère devrait se marquer par un changement dans la sédimentation des séries néocomiennes, on ne constate aucune variation. Les séries oligocènes, laguno-lacustres, sont beaucoup plus épaisses au droit de l'emplacement supposé de cette cordillère qu'au N du point d'implantation du sondage. Dans ces conditions, il faudrait supposer qu'à partir de l'Eocène au moins, cette cordillère se soit comportée comme une zone de subsidence. Donc, il faudrait qu'à la faveur de mouvements importants liasiques,

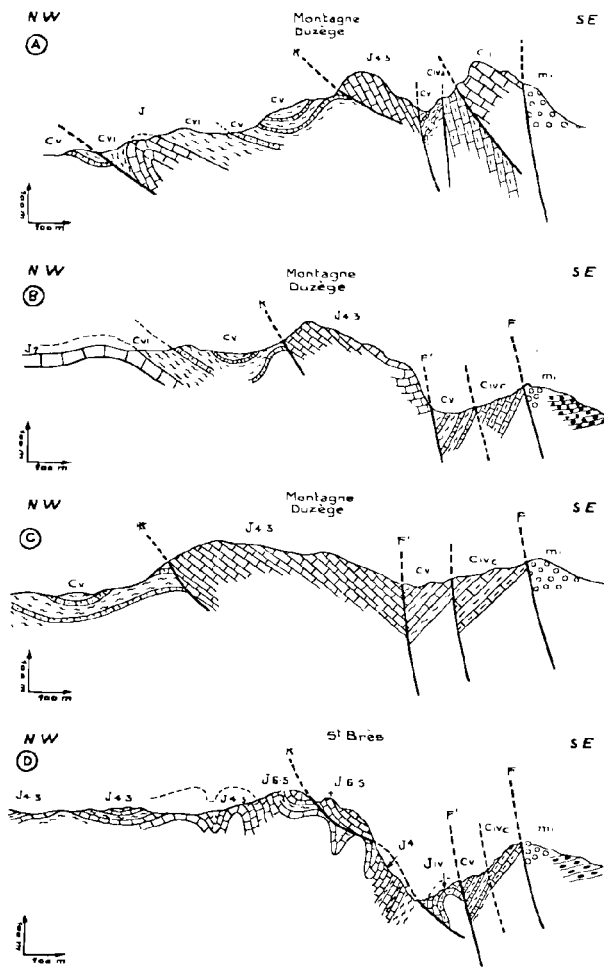


FIG. 3. — Coupes sériees dans la Montagne Duzège et dans le complexe faillé des Cévennes.

Jiv : Bajocien ; J4-3 : Lusitanien ; J6-5 : Kiméridgien ; J7 : Tithonique ; Cvi : Berriasien ; Cv : Valanginien ; Civa : Hauterivien inférieur ; m : Chattien.

(Situation des coupes sur la fig. 1)

cette cordillère émergeât jusqu'au début du Crétacé inférieur. Puis, il faudrait supposer, dès l'Eocène, une inversion totale de la nature de ce haut-fond qui l'aurait transformé en zone de subsidence.

Toutes ces conditions nous amènent à penser que l'existence d'une telle cordillère est fort peu probable.

Cette lacune peut-elle être tectonique ?

a) due à la tectonique pyrénéo-provençale ?

Nous avons vu que la Montagne Duzège, sur le bord ouest du sillon, se trouve être en position chevauchante sur le Pays de St Paul. L'accident K est recoupé par le complexe faillé des Cévennes. La lacune observée à Lussan 2 pourrait-elle être la conséquence directe du contact du contact K ? Dans cet ordre d'idée, la Montagne Duzège serait un témoin occidental d'une écaille s'étant déplacée à la faveur de mouvements tangentiels antérieurs à l'effondrement du sillon oligocène. Il faudrait donc donner une origine orientale à cette écaille et lui faire subir un étirement considérable afin d'expliquer l'absence de terrains constatée. Or dans le Pays des Garrigues, à Fons-sur-Lussan, 10 km au SE du point d'implantation du forage de Lussan 2, le sondage de Lussan 1 installé au top d'un anticlinal crétacé, dû à la tectonique éocène, a rencontré les termes suivants : 1.890 m de Néocomien, 1.120 m de Jurassique supérieur et 260 m de Bathonien. Il s'est arrêté à la profondeur de 3.300 m dans le Bajocien. Il existe donc au SE de Lussan 2, une série complète très importante. Elle a été

affectée par les mouvements éocènes qui l'ont plissée en vastes synclinaux et anticlinaux de direction E-W. Il n'y a pas trace d'écaillage dans ce pays.

La direction de la Montagne Duzège et de la faille K épouse parfaitement celle du complexe faillé des Cévennes : NE-SW. Or, les accidents pyrénéo-provençaux des Garrigues et du Pays de St Paul ont une direction indiscutablement différente : E-W, la poussée s'effectuant du S vers le N. De plus, le rejet des failles chevauchantes du Pays de St Paul ont une amplitude maxima de quelques dizaines de mètres. L'amplitude de l'écaillage qui aurait pu mettre en place la Montagne Duzège, si écaillage il y a, est donc beaucoup trop importante comparativement à celle observée dans les Pays affectés par la tectonique pyrénéo-provençale.

Il est donc difficile d'attribuer à la tectonique éocène le chevauchement de la Montagne Duzège et la lacune de Lussan 2.

HYPOTHÈSE SUR LA LACUNE OBSERVÉE AU SONDAGE DE LUSSAN 2, SUR LE MODE DE MISE EN PLACE DE LA MONTAGNE DUZÈGE ET SUR LA STRUCTURE PROFONDE DU SILLON D'ALÈS.

L'importance de la lacune observée à Lussan 2, entre le Néocomien et le Lias inférieur, serait attribuable à une faille d'effondrement. Or, dans les séries oligocènes susjacentes, on n'observe pas d'accidents ayant un rejet de ce type. On est donc amené à supposer que celui rencontré à Lussan 2 ne les affecte pas (voir fig. 4).

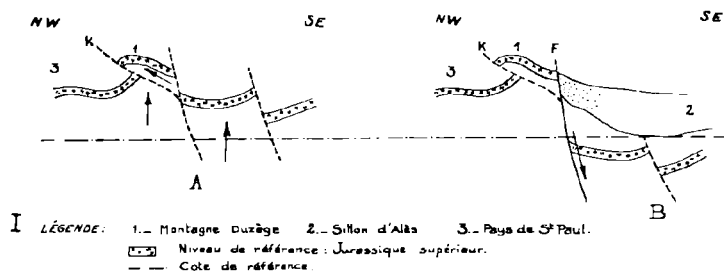


FIG. 4. — I. Mode de mise en place de la montagne Duzège

- A - Surélévation des compartiments d'E en W provoquant le chevauchement de la Montagne Duzège à partir d'un pli anticlinal pyrénéo-provençal d'âge éocène.
- B - La phase d'érosion, conséquence de la surélévation, conduit à la formation du sillon d'Alès qui s'effondre lentement.

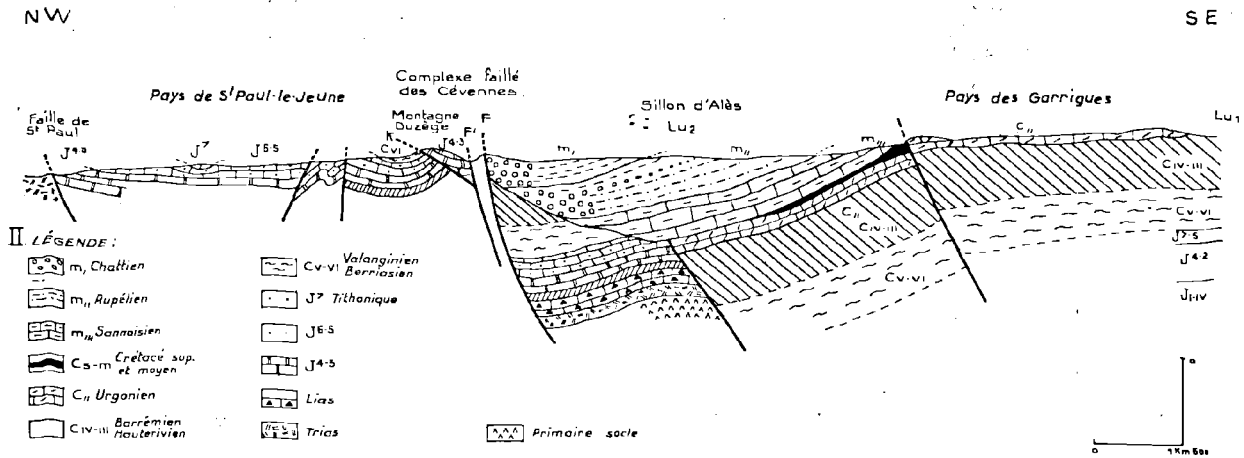


FIG. 4. — II. Coupe interprétative du sillon d'Alès et des régions limitrophes

Dans le pays situé à l'W du complexe faillé des Cévennes, on observe un grand nombre de failles, de direction générale NE-SW, intéressant des séries néocomiennes, jurassiques et triasiques. En outre, il n'y a jamais trace de sédiments oligocènes à l'W de la faille des Cévennes. La présence de ces failles serait à mettre en relation avec le phénomène de surélévation des Cévennes cristallines, se traduisant par des accidents de soele ayant pour conséquence de porter tout compartiment ouest à un point plus élevé que celui situé à l'E. Le résultat de ce mouvement ferait que, relativement, le compartiment le plus oriental paraîtrait effondré par rapport au compartiment occidental. Ces accidents NE-SW recoupant les structures dues à la tectonique pyrénéo-provençale sont sûrement postérieurs à cette dernière. Vues l'absence de termes tertiaires à l'W du complexe faillé des Cévennes dans les pays affectés par de telles failles et l'hypothèse de l'existence d'un accident effondrant de même type sous l'Oligocène du sillon d'Alès, il faudrait supposer que ces failles d'effondrement soient antérieures au dépôt des séries oligocènes et postérieures aux mouvements pyrénéo-provençaux (Eocène moyen et supérieur (Ch. Gottis, 1957).

Dans la région de St-Remèze et de La Bastide de Virac, au N de la Zone des Garrigues, les failles cassantes de direction générale NE-SW ne semblent pas affecter vers l'W les séries oligocènes. Tout au plus, les conglomérats de la base du Sannoisien intérieur ont été intéressés par cette tectonique. Il pourrait s'agir d'ailleurs d'un rejeu relativement faible de failles anté-oligocènes au moment

du grand effondrement du sillon d'Alès. Dans la région de Salavas, au N du sillon oligocène, des failles NE-SW affectant les termes du Crétacé moyen et supérieur ne semblent pas, elles aussi, intéresser les terrains rupéliens.

Dans cet ordre d'idées, le matériel oligocène trouverait son origine dans les séries occidentales surélevées par cette tectonique d'où une reprise intense de l'érosion. La conséquence directe de ces mouvements serait :

1° La mise en place de la Montagne Duzège (voir fig. 4).

Le Pays de St Paul-le-Jeune décrit un vaste synclinal d'axe E-W très redressé sur son bord est. Sur la coupe 4, fig. 3, on note l'existence d'un contact chevauchant mettant en contact le Bajocien sur le Callovo-Oxfordien d'une part, et le contact anormal de la Montagne Duzège d'autre part. Il se pourrait qu'il s'agisse là d'un seul et même accident ayant été entamé par l'érosion. Il s'agirait d'un pli faillé ayant provoqué un déplacement, de faible amplitude des masses susjacentes. La direction de ce contact anormal K : NE-SW d'une part, l'existence du pli synclinal de St Paul d'axe E-W très redressé d'autre part, prêterait à penser qu'il y a eu reprise d'un pli anticlinal relayant le pli synclinal de St Paul, par la tectonique anté-oligocène de surélévation. Les conséquences de cette reprise seraient donc :

- le redressement du bord est du synclinal de St Paul-le-Jeune, suivant une direction NE-SW :
- le contact anormal chevauchant K.

2° La formation du sillon d'Alès.

Les séries oligocènes augmentent d'épaisseur du N vers le S et d'E en W. Il semble donc qu'au cours de l'Oligocène, il y ait eu au centre du sillon d'Alès un appel vers le bas se traduisant sur son bord ouest par la formation de puissantes séries conglomératiques (Rupélien-Chattien) très riches en éléments urgonien, hauterivien supérieur et barrémien. Il faut supposer que le complexe faillé des Cévennes fonctionne dès le début de l'Oligocène, en constituant pratiquement la limite occidentale du dépôt de ces terrains. La conséquence directe de ce mouvement effondrant aurait été de créer sur le bord ouest de ce sillon un relief important, véritable falaise tectonique se détériorant au fur et à mesure de sa formation, vue la nature des termes bréchiformes rupéliens et chattiens en son voisinage immédiat.

Conclusion

La couverture sédimentaire orientale du Massif central, dans la région considérée, aurait été affectée :

1° Par les mouvements pyrénéo-provençaux se traduisant par de vastes plis ou par des plis faillés

de faible amplitude de direction E-W, la poussée s'effectuant du S vers le N.

2° Par un mouvement de surélévation l'ayant découpée en quartiers successivement relevés vers l'W le long de failles de direction NE-SW. Ce mouvement aurait eu pour conséquence, dans le cas de la Montagne Duzège, de reprendre un matériel déjà affecté par la tectonique éocène pour donner une faille chevauchante de direction NE-SW. Enfin, du fait de la surélévation, il aurait favorisé l'érosion des séries secondaires à l'W de l'emplacement actuel du sillon d'Alès. Ce mouvement ne peut être daté avec certitude. Tout ce que l'on peut en dire, c'est qu'il serait soit anté-oligocène soit anté-sannoisien inférieur et post-tectonique éocène.

3° Par un mouvement effondrant lent, vrai, peut-être subsident durant l'Oligocène, ayant individualisé le sillon tertiaire d'Alès, limité à l'W par le complexe faillé des Cévennes de direction générale NE-SW comme celle des accidents anté-oligocènes de tout type, mais les recoupant nettement. Il se pourrait que ce complexe faillé des Cévennes soit un accident anté-oligocène de surélévation s'étant individualisé par la suite en accident effondrant vrai.

BIBLIOGRAPHIE

- DENIZOT G. (1931). — Les affleurements crétaciques dans la Plaine tertiaire d'Alès. *B.S.G.F.* (5), I, p. 397-428.
- DENIZOT G. (1937). — Les affleurements crétaciques, brèches tectoniques et brèches sédimentaires de la plaine d'Alès. *B.S.G.F.* (5), VII, p. 187-202.
- COLO G. et FABER J. (1959). — Etude géologique du pays crétacé entre les Coirons et St-Remèze (Ardèche). *Rapport inédit S.N.P.A.*
- FABRE G. et CAYEUX (1901). — Notice explicative de la première édition de la feuille d'Alès, n° 209, au 1/80.000°.
- GOGUEL J. (1936). — Le bord cévenol. *C.R. Ac. Sc. Paris*, CCIII, p. 1.079.
- GOGUEL J. (1937). — Les brèches urgoniennes d'Alès (Gard). *B.S.G.F.* (5), VI, p. 219-236.
- GOGUEL J. (1938). — Quelques observations sur la faille des Cévennes. *Bull. Serv. Carte Géol. France, C.R. Coll., Campagne 1937*, XXXIX, 197, p. 164-170.
- GOGUEL J. (1952). — Traité de tectonique. Masson, Paris.
- GORTIS Ch. (1957). — Contribution à l'étude géologique du Bas-Languedoc. *Thèse*.
- PAQUET J. (1960). — Observations sur la partie septentrionale de la faille des Cévennes (Ardèche). *Ann. Soc. Géol. Nord*, LXXX, p. 81-85.
- ROMAN F. (1950). — Le Bas-Vivarais. *Géol. rég. France*, n° 1.090, Paris, Hermann et C° éditeurs.
- TERMIER P. (1923). — Les mylonites de la vallée du Rhône et leur liaison avec les déplacements tangentiels d'Alès. *B.S.G.F.* (4), XXIII, p. 515.
- TERMIER P. (1923). — Au sujet des conglomérats chattiens de la région d'Alès. *B.S.G.F.* (4), XXIII, p. 501.
- THIÉRY P. et TERMIER P. (1923). — Notice explicative de la seconde édition de la feuille d'Alès, n° 209, au 1/80.000°.
- THIÉRY P. (1919). — Nouvelles observations sur le système d'accidents géologiques appelés « Faille des Cévennes ». *C.R. Ac. Sc. Paris*, CLXVII, p. 902.
- THIÉRY P. (1919). — Sur les écaillés ou nappes de charriage de la région d'Alès. *C.R. Ac. Sc. Paris*, CLXIX, p. 143.
- THIÉRY P. (1919). — Quelques observations nouvelles sur les débris de nappe (klippes) de la région d'Alès. *Id.*, p. 583.

Crustacés bivalves (Conchostraca) de la série Daido de l'Asie Orientale dans le Trias supérieur de Madygen (Kirghizie Occidentale)

par Nestor NOVOJILOV et Victor KAPEL'KA

(Pl. XI)

Sommaire. — Description d'un ensemble de 17 espèces de Phyllopoques de l'ordre des Conchostraca du gisement de Madygen en Kirghizie Occidentale. Parmi elles, neuf espèces sont connues dans différentes formations de la Corée, du Japon, de la Chine, comme Conchostraca du groupe de Daido (Taedong en Corée), que l'on supposait appartenir à des âges différents allant du Rhétien jusqu'au Lias. T. Kobayashi, d'après l'horizon à *Pseudomonotis ochotica*, qui se trouve dans une des formations, s'est prononcé pour l'identité d'âge de tous les dépôts à Conchostraca du groupe de Daido et pour leur appartenance au Norien inférieur. Le fait qu'on ait découvert toutes les espèces de Conchostraca (à l'exception d'une seule) dans l'horizon de Madygen justifie l'hypothèse de T. Kobayashi. Outre 9 espèces connues de Madygen, on a trouvé dans le même horizon 8 nouvelles espèces de Conchostraca. Ainsi tous les Conchostraca du groupe de Daido comprennent 18 espèces réparties en 10 genres et 5 familles. L'âge géologique de tout l'ensemble est déterminé comme Norien inférieur, grâce aux découvertes faites à Madygen.

— Introduction —

Les Conchostraca ont été découverts en Kirghizie Occidentale dans le gisement de Madygen, situé à 35-45 km à l'ouest de la ville industrielle de Shurab (Tadjikistan) et à 1,5 km au Sud-Est de l'exploitation de Madygen au ravin de Sauk-Tanyl, au pied septentrional des montagnes Tokhta-Buz. Les valves de Conchostraca se trouvent en grande quantité dans les couches intercalaires d'argilites bleuâtres, verdâtres et rouges, d'une puissance globale de 30 à 40 cm, dans la partie inférieure de la coupe du Mésozoïque à 40 m au-dessus de la limite d'érosion. Les Conchostraca sont représentés par 17 espèces, réparties en 9 genres et 5 familles. Dans cet ensemble, il y a 9 espèces connues d'après des descriptions antérieures (1, 2, 3). Les unes ont été trouvées dans la formation de Kamoso, au Japon, les autres dans les formations de Gabisan (Amisan), Tongjin, Chudo (Chundong) et dans les couches de Kurori en Corée, d'autres encore dans la formation de Hutaj en Chine. Huit espèces de cet ensemble sont nouvelles. D'après la classification des Conchostraca adoptée par les auteurs du présent

article, les espèces mentionnées du Japon, de la Corée et de la Chine sont attribuées à d'autres genres (voir la description et le tableau 1). Les matériaux ont été récoltés par les auteurs (Novojilov en 1958 ; Kapel'ka en 1959) et étudiés en commun: l'introduction et la description sont faites par Kapel'ka, la conclusion est rédigée par Novojilov. La collection est conservée à l'Institut paléontologique de l'Académie des Sciences de Moscou, n° 1519. La collection contient 241 exemplaires. Une petite partie de cette collection a été remise à la Section paléontologique de la Direction géologique de l'Ouzbékic à Tashkent, une partie sera envoyée en France. Les auteurs expriment leur profonde et sincère reconnaissance à J. Roger, du Bureau de Recherches Géologiques, Géophysiques et Minières, pour la traduction du texte russe et à Madame Defretin pour sa publication.

(1) Ozawa Y. and Watanabe T., 1923.

(2) Kobayashi T., 1951, 1954.

(3) Novojilov N., 1954.

	Asa (1)	Rampo (2)	Kimpo (3)	Kenjiho (4)	Heijo (5)	Heitingshan (6)	Hsiahuayuan (7)	Matieling (8)	Madygen (9)
CYCLESTHERIIDAE :									
<i>Sphaerestheria rampoensis</i>	—	×	—	—	—	—	—	—	—
<i>S. koreana</i>	×	—	×	—	—	—	×	×	×
<i>Cyclestheria isfaraica</i> , sp. n.	—	—	×	—	—	—	—	—	×
LIOESTHERIIDAE :									
<i>Lioestheria kidoi</i>	—	—	—	—	×	—	—	—	×
<i>L. shimamurai</i>	—	—	—	×	—	—	—	×	×
<i>Pseudestheria gissarica</i> , sp. n.	—	—	—	—	—	—	—	—	×
<i>P. turkestanica</i> , sp. n.	—	—	—	—	—	—	—	—	×
<i>P. (Sphaeropsis) tanii</i>	—	—	—	—	×	—	—	—	×
<i>P. (Sphaeropsis) cycloides</i>	—	—	—	—	×	—	—	—	×
<i>P. (Tuvinopsis) asanoi</i> , sp. n.	—	—	—	—	—	—	—	—	×
GLYPTOASMUSSIIDAE :									
<i>Glyptoasmussia madygenica</i> , sp. n.	—	—	—	—	—	—	—	—	×
<i>G. khangonensis</i>	—	—	—	—	—	×	—	—	×
<i>Brachytheria tochtabuzica</i> , sp. n.	—	—	—	—	—	—	—	—	×
<i>Loxomicroglypta kirgizica</i> , sp. n.	—	—	—	—	—	—	—	—	×
<i>L. kobayashii</i> , sp. n.	—	—	—	—	—	—	—	—	×
ESTHERIINIDAE :									
<i>Estheriina kawasaki</i>	×	—	×	—	—	—	—	—	×
BAIRDESTHERIIDAE :									
<i>Liograptia tonjinensis</i>	—	—	×	—	—	—	—	—	×
<i>Sphaerograptia kusumii</i>	—	—	—	—	×	—	—	—	—

TABLEAU 1

Le tableau et les explications ont été empruntés à T. Kobayashi (1951) et complétés d'après les données de Madygen.

1) La formation Kamoso à Nikiji dans la région d'Asa dans la province de Nagato (préfecture de Yamagushi) au Japon.

2) La formation Gabisan de la série de Daido dans la région de Rampo en Corée centrale.

3) La formation Tongjin de la série de Daido de la région de Kimpo en Corée centrale.

4) La formation de Chudo de la série de Daido à Chudo dans la région de Kenzhikho en Corée du Nord.

5) La sous-section supérieure de la série de Daido dans la région de Kosan, vraisemblablement les couches de Kurori, à Kakurori en Corée.

6) Heitingshan, un petit affleurement de la couche à charbon sur le versant oriental de la

partie centrale de la grande chaîne de Khingan, approximativement à mi-chemin entre Laoyehmiao et Lichuan ou Tuchuan et un peu plus au sud du Taonan Occidental. A part les Conchostraca, on a recueilli des végétaux : *Cladophlebis*, *Sphenopteris* et *Equiselites* dans le schiste vert et le grès vaseux dans la tranchée de la voie ferrée à 700 m à l'est de Liutsengrun, entre Khejtingsantsu et Melantun, sur le versant sud de la hauteur de Heitingshan.

7) Dans le gisement de charbon de Hsiahuayuan, à l'Est de la partie Sud-Est d'Ihua entre Kalgan et Pékin, d'après Rina, se trouvent deux formations mésozoïques. La formation inférieure ou Huayuan, qui contient de la houille, est séparée de la formation supérieure ou Hutai par une discordance. La formation Hutai se compose d'un agglomérat d'andésites supérieur et une abondance de ponce, de liparites, de leurs tuffites et de schistes argileux

contenant les Conchostraca et des bois silicifiés, et des conglomérats de basaltes.

8) Schistes argileux sombres de Matinlin en Jehol (Chine).

9) Schistes argileux clairs de Madygen (région d'Osh, région de L'ajlak) en Kirghizie Occidentale.

Description

Ordre CONCHOSTRACA Sars

Famille CYCLESTHERIIDAE Sars, 1900

Genre SPHAERESTHERIA NOVOJILOV, 1954

SPHAERESTHERIA KOREANA

(OZAWA et WATANABE) 1923

Pl. XI, fig. 1 ; texte fig. 1

1923. *Estheria koreana* OZAWA and WATANABE (Partim). On two species of Estheriae from Mesozoic shale of Korea. *Japan Jour. Geol. Geogr.*, vol. II, n° 2, p. 41, Pl. V, fig. 4 a.
1951. *Estherites koreanica* KOBAYASHI. Older Mesozoic Estherites from Eastern Asia. *Jour. Fac. Sci. Univ. Tokyo*, Sec. 2, vol. VII, Pt. 10, p. 433, Pl. I, fig. 12 a.
1954. *Cyclestherioides koreanica* KOBAYASHI. Fossil Estherians and allied fossils. *Idem*, vol. IX, Pt. I, p. 62, fig. 16 h.
1954. *Sphaerestheria koreana* NOVOJILOV. Phyllopoies du Jurassique supérieur et du Crétacé de la Mongolie. *Trav. Inst. Paléont. Acad. Sci. U.R.S.S.*, t. 48, p. 46, Pl. V, fig. 11 a.

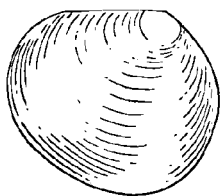


FIG. 1. — *Sphaerestheria koreana* (OZAWA et WATANABE). $\times 6$.

DIAGNOSE. — Les valves sont triangulaires-arrondies, avec un bord dorsal presque droit, développé en arrière des valves larvaires. La longueur maximale se situe au milieu de la hauteur. La hauteur antérieure est beaucoup plus importante que la hauteur postérieure. Le bord antérieur est plus rond que le bord postérieur. Les bandes de croissance sont plates, au nombre de 10 à 30. L'ornementation est alvéolaire fine.

Matériel étudié : 25 valves : $L = 1,7$ à $5,2$; $l = 1,3$ à $2,7$; $H = 1,4$ à $4,3$; $H/L = 0,80$ à $0,87$. $L =$ longueur des valves ; $l =$ longueur du bord dorsal ; $H =$ hauteur des valves.

SPHAERESTHERIA RAMPOENSIS

(KOBAYASHI) 1951

Pl. XI, fig. 2 et 3 ; texte-fig. 2

1923. *Estheria koreana* OZAWA et WATANABE. On two species of Estheriae from Mesozoic shale of Korea. *Japan Jour. Geol. Geogr.*, vol. II, n° 2, p. 41, Pl. V, fig. 4 a.
1925. *Estherites rampoensis* KOBAYASHI. Older Mesozoic Estherites from Eastern Asia. *Jour. Fac. Sci. Univ. Tokyo*, Sec. 2, vol. VII, Pt. 10, p. 435, Pl. I, fig. 12 c, 13.
1954. *Cyclestherioides rampoensis* KOBAYASHI. Fossil Estherians and allied fossils. *Idem*, vol. IX, Pt. I, p. 62, fig. 16 e.

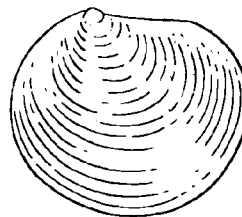


FIG. 2. — *Sphaerestheria rampoensis* (KOBAYASHI). $\times 5$

DIAGNOSE. — Les valves sont presque sphériques ; la longueur est presque égale (ou égale) à la hauteur ; le maximum de hauteur passe par le milieu du bord dorsal, qui se développe en arrière des valves larvaires et forme les $2/5$ de la longueur de la coquille. L'angle dorsal postérieur est de $150^\circ (\pm)$. Les valves larvaires sont petites. Les zones de croissance sont planes, au nombre de 10 à 35. L'ornementation est alvéolaire et fine.

Matériel étudié : 24 valves. $L = 1,8$ à $5,2$; $l = 0,8$ à $2,3$; $H = 1,6$ à $4,2$; $H/L = 0,81$ à $1,0$.

Genre CYCLESTHERIA SPENCER et HALL, 1898

CYCLESTHERIA ISPARAICA NOVOJILOV

et KAPEL'KA, sp. n.

Pl. XI, fig. 4 ; texte-fig. 3 et 4

DIAGNOSE. — Les valves sont courtes, presque ovales ou rondes. La hauteur est légèrement plus petite que la longueur ($4/5$) et passe par le milieu de la longueur. Le bord dorsal est court, développé

en arrière des valves larvaires et ne forme pas d'angle dorsal postérieur. Le bord antérieur fait saillie de presque 1/4 de la longueur des valves. Les zones de croissance sont planes, au nombre de 12 à 25. L'ornementation est réticulée fine.

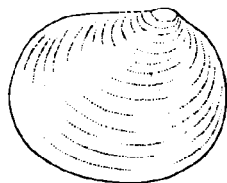


FIG. 3
Cyclestheria isfaraica
NOVOJILOV et KAPELKA,
sp. nov. $\times 9$.

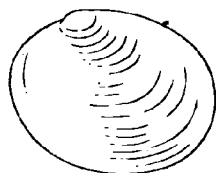


FIG. 4
Cyclestheria isfaraica (♀),
Holotype. $\times 9$.

OBSERVATION. — Dans la collection se trouvent les valves des femelles de cette espèce qui se distinguent de celles des mâles par un contour plus ou moins rond et un bord dorsal plus court.

Matériel étudié : 24 valves : 18 ♀ : L = 2,5 à 6,3 ; H = 1,9 à 5,0 ; H/L = 0,76 à 0,79 ; 6 ♂ : L = 3,5 à 4,4 ; H = 2,4 à 3,6 ; H/L = 0,68 à 0,81.

Famille LIOESTHERIIDAE RAYMOND, 1946

Genre LIOESTHERIA DEPÉRET et MAZERAN, 1912

LIOESTHERIA KIDOI (KOBAYASHI) 1951

Pl. XI, fig. 5 ; texte-fig. 5

1951. *Estherites* aff. *reticulata* KOBAYASHI. Older Mesozoic *Estherites* from eastern Asia. *Journ. Fac. Sci. Univ. Tokyo*. Sec. 2, vol. VII, Pt. 10, p. 439, Pl. I, fig. 9.

1954. *Euestheria kidoi* KOBAYASHI. Fossil *Estherians* and allied fossils. *Idem*, vol. IX, Pt. 1, p. 63.

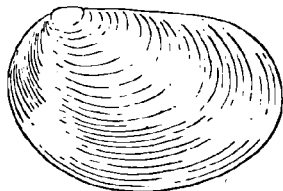


FIG. 5. — *Lioestheria kidoi* (KOBAYASHI). $\times 6$.

DIAGNOSE. — Les valves ont un contour approximativement elliptique. La longueur égale les 3/2 de la hauteur qui passe par le milieu du bord dorsal. La hauteur antérieure est légèrement plus petite que la postérieure. Le bord dorsal est déve-

loppé en arrière des valves larvaires et ne forme pas d'angle dorso-postérieur. La partie antérieure des valves déborde légèrement en avant (sur 1/7 de la longueur des valves). Les zones de croissance sont au nombre de 14 à 30. L'ornementation est réticulée fine.

Matériel étudié : 22 valves : L = 2,1 à 5,8 ; H = 1,5 à 4,0 ; H/L = 0,61 à 0,75.

LIOESTHERIA SHIMAMURAI (KOBAYASHI) 1951

Pl. XI, fig. 6 ; texte-fig. 6

1951. *Estherites shimamurai* KOBAYASHI. Older Mesozoic *Estherites* from Eastern Asia. *Journ. Fac. Sci. Univ. Tokyo*. Sec. 2, vol. VII, Pt. 10, p. 437, Pl. I, fig. 6, 14 (non fig. 7 et 8).

1954. *Eustheria shimamurai* KOBAYASHI. Fossil *Estherians* and allied fossils. *Idem*, vol. IX, Pt. 1, p. 63, fig. 16 i.

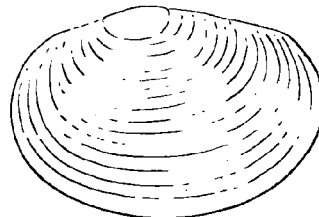


FIG. 6. — *Lioestheria shimamurai* (KOBAYASHI). $\times 13$.

DIAGNOSE. — Les valves ont un contour approximativement elliptique. La longueur égale les 3/2 de la hauteur qui passe par les valves larvaires. Le bord dorsal est presque droit, formant la moitié de la longueur de la coquille, et est développé en arrière des valves larvaires. Les bords antérieur et postérieur sont ronds mais le bord antérieur est plus grand que le postérieur. Les zones de croissance sont planes, au nombre de 10 à 30. L'ornementation est finement réticulée.

Matériel étudié : 46 valves : L = 2,6 à 7,7 ; H = 1,5 à 5,0 ; H/L = 0,58 à 0,70.

Genre PSEUDESTHERIA RAYMOND, 1946

Sous-genre TUVINOPSIS NOVOJILOV
et KAPELKA, 1959

PSEUDESTHERIA (TUVINOPSIS) ASANOI

NOVOJILOV et KAPELKA, sp. nov.

Pl. XI, fig. 7 ; texte-fig. 7

1951. *Estherites cycloides* KOBAYASHI (partim.). Older Mesozoic *Estherites* from Eastern Asia. *Journ. Fac. Sci. Univ. Tokyo*, Sec. 2, vol. VII, Pt. 10, p. 434, Pl. I, fig. 2 (non fig. 1).

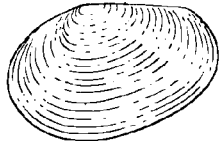


FIG. 7. — *Pseudestheria (Tuvinopsis) asanoi* NOVOJILOV et KAPELKA, sp. nov., Holotype. $\times 6$.

DIAGNOSE. — Valves à contour irrégulièrement ovale, à partie antérieure abaissée. La longueur égale les 3/2 de la hauteur qui passe par les valves larvaires. La hauteur antérieure est 1,5 fois plus grande que la postérieure. Le bord dorsal est développé en arrière des valves larvaires et dans certains cas égale la hauteur, s'il n'est pas plus petit. Les zones de croissance sont planes, au nombre de 10 à 25, avec une ornementation finement réticulée.

Matériel étudié : 19 valves : L = 2,8 à 6,0 ; l = 1,4 à 3,2 ; H = 2,0 à 4,1 ; H/L = 0,57 à 0,97.

Sous-genre PSEUDESTHERIA

s. str. RAYMOND, 1946

PSEUDESTHERIA GISSARICA NOVOJILOV

et KAPELKA, sp. nov.

Pl. XI, fig. 8 ; texte-fig. 8

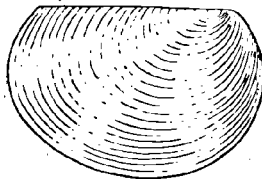


FIG. 8

Pseudestheria
s. str. *gissarica*
NOVOJILOV et KAPELKA,
sp. nov., Holotype. $\times 10$.



FIG. 9

Pseudestheria turkestanica
NOVOJILOV et KAPELKA,
sp. nov., Holotype. $\times 6$.

DIAGNOSE. — Les valves sont presque ovales. La hauteur représente 3/5 de la longueur et passe dans la première moitié des valves près du milieu du bord dorsal. La hauteur antérieure est un peu plus grande que la postérieure. Le bord dorsal est développé en arrière des valves larvaires et égal à la hauteur. L'angle dorsal postérieur est de 150° (\pm). Les zones de croissance sont planes, au nombre de 15 à 26, avec une ornementation finement réticulée.

Matériel étudié : 6 valves : L = 3,4 à 6,5 ; l = 1,5 à 3,6 ; H = 2,0 à 3,9 ; H/L = 0,60 à 0,62.

Sous-genre SPHAEROPSIS NOVOJILOV
et KAPELKA, 1959

PSEUDESTHERIA (SPHAEROPSIS) TANII

(KOBAYASHI) 1951

Pl. XI, fig. 10 ; texte-fig. 10

1951. *Estherites tanii* KOBAYASHI. Older Mesozoic Estherites from Eastern Asia. *Jour. Fac. Sci. Univ. Tokyo*. Sec. 2, vol. VII, Pt. 10, p. 437, Pl. I, fig. 5, 11, 15.

1951. *Estherites shimamurai* KOBAYASHI (partim.). *Idem*. Pl. I, fig. 7.

1954. *Euestheria tanii* KOBAYASHI. Fossil Estherites and allied fossils. *Idem*, vol. IV, Pt. 1, p. 63, fig. 16 f.

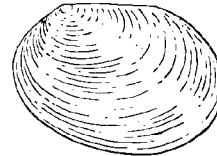


FIG. 10. — *Pseudestheria (Sphaeropsis) tanii* (KOBAYASHI). $\times 6$.

DIAGNOSE. — Valves courtes irrégulièrement ovales, avec la partie postérieure plus haute. Le bord dorsal est développé en arrière des valves larvaires et forme environ la moitié de la longueur de la coquille et plus de la moitié de sa hauteur, qui atteint son maximum près de l'extrémité du bord dorsal. L'angle postéro-dorsal est d'environ 140°. La partie antérieure est saillante sur 1/4 de toute la longueur de la coquille, tandis que la partie postérieure est un peu plus grande ; les zones de croissance sont planes, au nombre de 25 à 35, avec une ornementation finement réticulée.

Matériel étudié : 7 valves : L = 2,8 à 5,0 ; l = 1,6 à 2,2 ; H = 1,8 à 2,7 ; H/L = 0,64 à 0,54.

PSEUDESTHERIA (SPHAEROPSIS)

CYCLOIDES (KOBAYASHI) 1951

Pl. XI, fig. 11 ; texte-fig. 11

1951. *Estherites cycloides* KOBAYASHI (partim.). Older Mesozoic Estherites from Eastern Asia. *Jour. Fac. Sci. Univ. Tokyo*. Sec. 2, vol. VII, Pt. 10, p. 434, Pl. I, fig. 1 (non fig. 2).

1954. *Cyclestherioides cycloides* KOBAYASHI. *Idem*, vol. IX, Pt. 1, p. 63.



FIG. 11. — *P. (Sphaeropsis) cycloides* (KOBAYASHI). $\times 10$.

DIAGNOSE. — Les valves sont presque ovales. La longueur représente les $\frac{5}{4}$ de la hauteur qui passe par le milieu de la longueur. Le bord dorsal est développé en arrière des valves larvaires et égale approximativement la moitié de la longueur et les $\frac{2}{3}$ de la hauteur de la coquille. L'angle postéro-dorsal est d'environ 130° . Les bords antérieur et postérieur sont également saillants au-delà des extrémités du bord dorsal approximativement de $\frac{1}{5}$ de toute la longueur. Les zones de croissance sont planes, au nombre de 10 à 30, avec une ornementation finement réticulée.

Matériel étudié : 21 valves : $L = 1,9$ à $5,6$; $l = 1,0$ à $3,6$; $H = 1,3$ à $5,0$; $H/L = 0,69$ à $0,89$.

Famille GLYPTOASMUSIIDAE NOVOJILOV, 1958

Genre GLYPTOASMUSSIA NOVOJILOV
et VARENTSOV, 1958

GLYPTOASMUSSIA MADYGENICA NOVOJILOV
et KAPELKA, sp. nov.

Pl. XI, fig. 12 ; texte-fig. 12

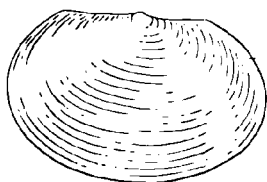


FIG. 12. — *Glyptoasmussia madygenica* NOVOJILOV
et KAPELKA, sp. nov., Holotype. $\times 6$.

DIAGNOSE. — Les valves sont ovales ; la moitié supérieure est trapézoïdale, la moitié inférieure est semi-ovale. La longueur égale les $\frac{3}{2}$ de la hauteur qui passe par les valves larvaires. Le bord dorsal est droit et développé des deux côtés des valves larvaires ; il représente les $\frac{3}{4}$ de la hauteur (ou $\frac{1}{2}$ de la longueur). La partie antérieure du bord dorsal est un peu plus grande que la postérieure. Les moitiés antérieure et postérieure des valves sont presque symétriques. Les zones de croissance

sont planes, au nombre de 17 à 30, avec une ornementation finement réticulée.

Matériel étudié : 9 valves : $L = 2,7$ à $6,0$; $l = 2,1$ à $3,6$; $H = 1,8$ à $4,2$; $H/L = 0,61$ à $0,77$.

GLYPTOASMUSSIA KHINGANENSIS

(KOBAYASHI) 1951

Pl. XI, fig. 13 ; texte-fig. 13

1951. *Estherites khinganensis* KOBAYASHI. Older Mesozoic Estherites from Eastern Asia. *Jour. Fac. Sci. Univ. Tokyo. Sec. 2*, vol. VII, Pt. 10, p. 435, Pl. I, fig. 3.

1954. *Asmussia khinganensis* KOBAYASHI. Fossil Estherites and allied fossils. *Idem*, vol. IX, Pt. 1, p. 63, fig. 16 b.

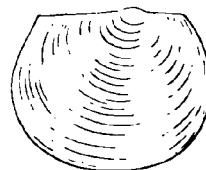


FIG. 13. — *Glyptoasmussia khinganensis*
(KOBAYASHI). $\times 9$.

DIAGNOSE. — Les valves ont un contour carré arrondi : la moitié supérieure est trapézoïdale, la partie inférieure est courte et semi-ovale. La longueur est approximativement égale aux $\frac{6}{5}$ de la hauteur qui passe par son milieu. Le bord dorsal est droit ou légèrement bombé ; il représente les $\frac{2}{3}$ de la longueur de la coquille ; sa partie antérieure est deux fois plus petite que sa partie postérieure. L'angle antéro-dorsal est de 125° , l'angle postéro-dorsal est de 120° . Les zones de croissance sont étroites, au nombre de 17 à 23, avec une ornementation finement réticulée.

Matériel étudié : 3 valves, holotype de Khingan et 2 valves de la Kirghizie. $L = 2,9$ à $6,5$; $l = 2,1$ à $5,5$; $H = 2,4$ à $6,0$; $H/L = 0,82$ à $0,90$.

Genre BRACHYSTHERIA NOVOJILOV, 1954

BRACHYSTHERIA TOCHTABUZICA

NOVOJILOV et KAPELKA, sp. nov.

Pl. XI, fig. 14 ; texte-fig. 14

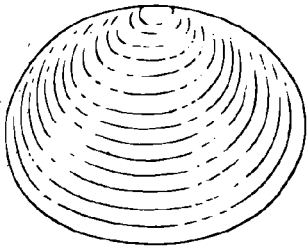


FIG. 14. — *Brachystheria tochtabuzica* NOVOJILOV et KAPELKA, sp. nov., Holotype. $\times 9$.

DIAGNOSE. — Les valves sont ovales avec un bord dorsal arrondi, développé des deux côtés des valves larvaires. La longueur des valves représente les $\frac{4}{3}$ de la hauteur qui passe par les valves larvaires. Le bord dorsal ne forme pas d'angles. Les moitiés antérieure et postérieure des valves sont symétriques. Les zones de croissance sont planes, au nombre de 16 à 34, avec une ornémentation finement réticulée.

Matériel étudié : 15 valves : $L = 2,3$ à $5,3$; $H = 2,0$ à $4,2$; $H/L = 0,70$ à $0,87$.

Genre *LOXOMICROGLYPTA* NOVOJILOV et VARENTSOV, 1956

LOXOMICROGLYPTA KIRGIZICA NOVOJILOV et KAPELKA, sp. nov.

Pl. XI, fig. 15 ; texte-fig. 15

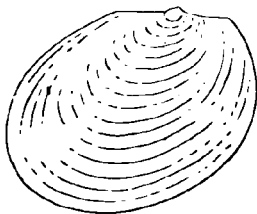


FIG. 15. — *Loxomicroglypta kirgizica* NOVOJILOV et KAPELKA, sp. nov., Holotype. $\times 9$.

DIAGNOSE. — Les valves sont hautes et obliques. La longueur dépasse légèrement la hauteur ($\frac{7}{6}$) qui passe par l'extrémité postérieure du bord dorsal. La hauteur antérieure est approximativement une fois et demie plus petite que la postérieure. Le bord dorsal égale à peu près la moitié de la hauteur et est développé également des deux côtés des valves larvaires. L'angle antéro-dorsal est de $125^\circ (\pm)$, l'angle postéro-dorsal est de $150^\circ (\pm)$.

Les zones de croissance sont planes, au nombre de 10 à 25, avec une ornémentation finement réticulée.

Matériel étudié : 5 valves : $L = 1,6$ à $3,5$; $l = 0,8$ à $1,5$; $H = 1,2$ à $2,9$; $H/L = 0,75$ à $0,92$.

LOXOMICROGLYPTA KOBAYASHII

NOVOJILOV et KAPELKA, sp. nov.

Pl. XI, fig. 16 ; texte-fig. 16

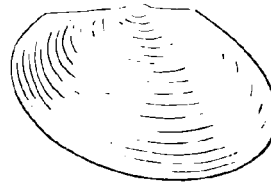


FIG. 16. — *Loxomicroglypta kobayashii* NOVOJILOV et KAPELKA, sp. nov., Holotype. $\times 9$.

DIAGNOSE. — Les valves sont obliques, allongées. La longueur est de 1,5 fois plus grande que la hauteur qui passe par les valves larvaires et le milieu de la longueur. La hauteur postérieure est de 1,5 fois plus grande que l'antérieure. Le bord dorsal est légèrement plus petit que la hauteur et 1,5 fois plus petit que la longueur ; il est développé un peu plus en avant qu'en arrière des valves larvaires. L'angle antéro-dorsal est de $135-138^\circ$; l'angle postéro-dorsal est de $138-140^\circ$. Les zones de croissance sont planes, au nombre de 21 à 24, avec une ornémentation finement réticulée.

Matériel étudié : 2 valves : $L = 3,7$; $l = 2,3$ et $2,7$; $H = 2,1$ et $2,5$; $H/L = 0,56$ et $0,67$.

Famille ESTHERIINIDAE KOBAYASHI, 1954

Nom. transl. Novojilov, 1958

(ex *Estheriinae* KOBAYASHI, 1954)

Genre ESTHERIINA JONES, 1897

ESTHERIINA KAWASAKII (OZAWA et WATANABE), 1923

Pl. XI, fig. 17 ; texte-fig. 17

1923. *Estheria kawasakii* (OZAWA et WATANABE). On two species of *Estheria* from Mesozoic shale of Korea. *Japan Jour. Geol. Geogr.*, vol. II, n° 2, p. 41, Pl. V, fig. 3 b, 4 b.

1951. *Estherites kawasakii* KOBAYASHI. Older Mesozoic Estherites from Eastern Asia, *Jour. Fac. Sci. Univ. Tokyo. Sec. 2*, vol. VII, Pt. 10, p. 436, Pl. I, fig. 12 b.

1954. *Euestheria kawasakii* KOBAYASHI. Fossil Estherians and allied fossils. *Idem*, vol. IX, Pt. 1, p. 63, fig. 12 n.
1954. *Estheriina kawasakii* NOVOJILOV. Phyllopo des du Jurassique supérieur et du Crétacé de la Mongolie. *Trav. Inst. Paléont. Acad. Sci. U.R.S.S.*, t. 48, p. 44, Pl. V, fig. 11 b.

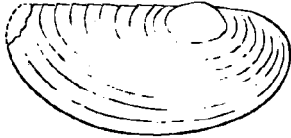


FIG. 17. — *Estheriina kawasakii* (OZAWA et WATANABE). $\times 8$.

DIAGNOSE. — Les valves sont très allongées, ovales. La hauteur est plus petite que la moitié de la longueur des valves. Le bord dorsal forme les $\frac{2}{3}$ de toute la longueur ou un peu plus. L'angle postéro-dorsal est de $135-145^\circ$, mais n'est pas nettement exprimé. La partie bombée des valves est insignifiante et difficilement distincte chez les exemplaires de Corée ; sur les exemplaires de Kirghizie, elle se voit mieux et se limite à 10 à 12 bandes de croissance, ce qui fait environ $\frac{1}{5}$ à $\frac{1}{6}$ de toute la coquille. Le nombre des bandes de croissance est 20 chez les exemplaires coréens, 9 à 12 chez les exemplaires de Kirghizie. L'ornementation finement réticulée se voit à des grossissements de 40 à 60 fois.

Matériel étudié : holotype et 2 valves de Kirghizie. L = 4,6 à 8,3 ; l = 3,0 à 5,5 ; H = 1,9 à 3,5 ; H/L = 0,39 à 0,42.

Famille BAIRDESTHERIIDAE NOVOJILOV, 1954

Genre LIOGRAPTA NOVOJILOV, 1954

LIOGRAPTA TONJINENSIS NOVOJILOV, 1954

Texte-fig. 18

1954. *Liograptia tonjinensis* NOVOJILOV. Phyllopo des du Jurassique supérieur et du Crétacé de la Mongolie. *Trav. Inst. Paléont. Acad. Sci. U.R.S.S.*, t. 48, p. 77, Pl. XIV, fig. 6.

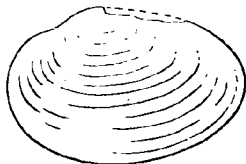


FIG. 18. — *Liograptia tonjinensis* NOVOJILOV. $\times 5$.

DIAGNOSE. — Les valves ont un contour ovoïde avec une moitié antérieure plus élevée, de sorte que le bord antérieur est plus largement arrondi que le postérieur et dépasse les valves larvaires d'un tiers de toute la longueur de la coquille. Les bandes, au nombre de 10 à 15, sont de largeurs différentes. L'ornementation est formée de stries et de côtes ; les petites côtes sont très fines, simples et séparées ; sur les bandes de croissance des stades initiaux du développement, elles sont réunies par des anastomoses et forment les mailles irrégulières qui peuvent être souvent observées chez les *Bairdestheriidae* du Jurassique supérieur. Sur les bandes de croissance des stades tardifs du développement, les extrémités des petites côtes se terminent sur les bords inférieurs des bandes de croissance par de petits nodules.

Matériel étudié : holotype et 2 valves du Kirghizie. L = 2,5 à 6,3 ; H = 2,0 à 4,1 ; H/L = 0,65 à 0,80.

Conclusion sur l'âge géologique des Conchostraca de la série de Daido

Le problème de l'âge géologique des Conchostraca de Madygen n'est pas tout à fait résolu. L'horizon contenant ces Crustacés entre dans la série des dépôts qui, du Nord au Sud, présentent la coupe suivante :

4) Complexe argilo-gréseux rouge couvert par un conglomérat du Crétacé inférieur. La puissance de la couche est d'environ 30 m.

3) Complexe argilo-gréseux gris clair avec des couches intercalaires de schistes argileux noirs et gris foncé, et des grès ferrugineux bruns. A 10 m de la limite supérieure de ce complexe se situe un horizon avec des empreintes de feuilles (3^e horizon à plantes) *Cladophlebis*, *Sagenopteris*, *Nilssonia*. La puissance du complexe est d'environ 100 m.

2) Un complexe grés-argileux, comprenant des conglomérats de petits galets bariolé avec prédominance des tons jaunes et rouges. A 40 m de sa limite supérieure se situe un horizon avec deux plantes : *Klukia* et *Laccopteris*, et à 33 m de la limite inférieure on a découvert l'horizon à Conchostraca décrit dans le présent article. La puissance du complexe est d'environ 100 m.

1) Un complexe argilo-gréseux avec des intercalations grises subordonnées. Il repose en discordance angulaire sur une surface érodée gris foncé

plus ancienne. A 1 m au-dessus de la limite d'érosion se trouve le premier horizon à végétaux avec *Clatopteris meniscioïdes* (Brong.). La puissance du complexe est d'environ 40 m.

La puissance de toute la coupe entre le conglomérat du Crétacé inférieur et la limite d'érosion est d'environ 270 m.

N. Novojilov a étudié la coupe de ce profil en 1958 et de nouveau avec V. Kapelka en 1959. D'après T.A. Sikstel (1958) et d'après l'échelle stratigraphique unifiée d'Asie Centrale (1958), cette coupe correspond au complexe à charbon du Shurab du Sud-Ouest (Shurab III d'après la nomenclature) qui, d'après la flore et d'après les insectes (*Blattodea*) appartient au Lias. Les auteurs ont également étudié la coupe dans le Shurab du Sud-Ouest. Le complexe à charbons y est limité en bas et en haut par des conglomérats grossiers. A part les plantes, les auteurs (Novojilov en 1958, Kapelka en 1959) y ont trouvé plus de 300 exemplaires d'insectes de 9 ordres : *Coleoptera*, *Blattodea*, *Heteroptera*, *Odonata*, *Glosselytrodea*, *Neuroptera*, *Orthoptera*, *Mecoptera*, *Homoptera* (détermination de O.M. Martynova). De plus, on a un petit nombre de Conchostraca qui se distinguent fortement de ceux de Madygen. La limite supérieure du complexe à charbon montre des traces nettes d'érosion. Au-dessus, jusqu'au conglomérat du Crétacé inférieur, se trouvent encore trois complexes : 4) argilo-gréseux avec des insectes (*Coleoptera*, *Blattodea*, *Homoptera*, *Orthoptera*) et des valves de Conchostraca ; 3) gréso-argileux et conglomératique avec des insectes (*Blattodea*, *Orthoptera*) et des valves de Conchostraca. Ces deux complexes sont séparés par une limite nette d'érosion ; 2) complexe rouge, gréso-argileux et gréseux, sous-jacent au conglomérat du Crétacé inférieur. Deux de ces complexes sont absents dans la coupe du profil mentionné de Madygen et on est fondé de croire que l'horizon à Conchostraca de Madygen est du Trias supérieur, tandis que le complexe avec le 3^e horizon à Végétaux représente dans ce profil la zone littorale du niveau à charbon du complexe de Shurab du Sud-Ouest.

Presque toutes les Fougères trouvées dans les trois horizons à Végétaux à Madygen existaient

aussi bien dans le Trias que dans le Jurassique. Après les travaux de T. Kobayashi (1938 a, 1938 b), l'âge déterminé d'après la flore seule ne peut pas être considéré comme certain. En Asie Centrale la succession de ces flores présente parfois des parallélismes de flores d'époques différentes en Europe. En étudiant ce problème dans son ensemble pendant plusieurs années, Kobayashi a établi l'existence d'une flore carno-noricne au Japon ayant une allure de Rhéto-Lias. Voilà pourquoi il faut être sceptique quant aux schémas unifiés établis, ou bien d'après la flore seule, ou bien d'après la flore et les Lamellibranches.

L'ensemble des Conchostraca de Madygen contient presque toutes les formes (sauf une) trouvées dans la formation Kamoso au Japon, dans les formations Gabisan, Tongjin, Chüdo, dans les couches de Kurori en Corée et dans les dépôts à charbon du Grand Khingan, ainsi qu'entre Kalgan et Pékin dans les formations Hutai en Chine. Comme l'a remarqué T. Kobayashi, l'âge de ces formations était déterminé différemment, du Norien jusqu'au Rhéto-Lias. Après avoir étudié les dépôts marins alternant avec elles, Kobayashi a émis l'hypothèse que toutes ces formations, représentant le groupe Daido de l'Asie Orientale, appartiennent au Norien inférieur.

Il est évident que les Conchostraca de ces formations réunis en Kirghizie dans le même horizon confirment l'hypothèse qu'ils se rapportent à la même époque.

Il reste à savoir si cet ensemble de Conchostraca de la Kirghizie est lui aussi du Norien inférieur ou s'il est plus tardif, à savoir du Rhétien ou du Lias inférieur.

L'âge liasique inférieur de ces Conchostraca est peu probable ; parmi leurs représentants il n'en est pas un seul qui ait été trouvé dans le complexe à charbon (Lias inférieur ?) au Sud-Ouest de Shurab, où d'ailleurs il n'y a pas non plus de formes du complexe de Madygen. D'autre part, presque toutes les formes de la série Daido existaient en Kirghizie, ce qui fait penser à un synchronisme de tous les horizons contenant ces Conchostraca au Japon, en Corée, en Chine et en Kirghizie.

*

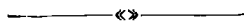
**

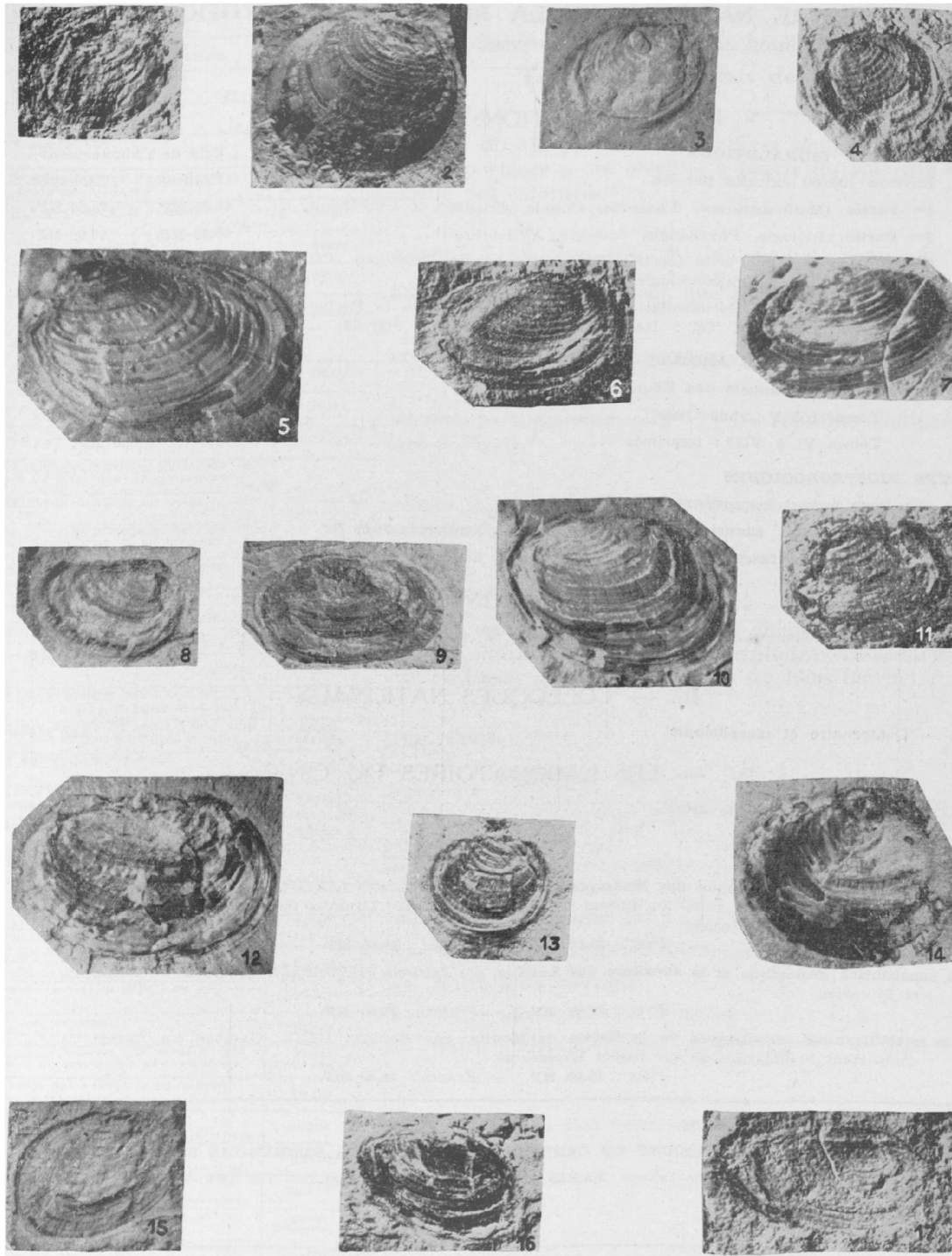
BIBLIOGRAPHIE

- KOBAYASHI T. (1951). — Older Mesozoic Estherites from Eastern Asia. *Jour. Fac. Sci. Univ. Tokyo*, Sec. 2, Vol. VII, Pt. 10, p. 431-442.
- KOBAYASHI T. (1952). — Two new triassic Estherians from Province of Nagato in West Japan. *Trans. and Proc. Palaeontol. Soc. Japan*, N.S., n° 6, p. 175-178.
- KOBAYASHI T. (1954). — Fossil Estherians and allied fossils. *Jour. Fac. Sci. Univ. Tokyo*, Sec. 2, Vol. IX, Pt. 1, p. 1-192.
- KOBAYASHI T. (1938 a). — On the Noric Age of the Nariya Flora of the Rhaeto-Liassic Aspect. *Japanese Jour. Geol. Geogr.*, Vol. XV, n° 1-2, p. 1-12.
- KOBAYASHI T. (1938 b). — Geological Age of the Mesozoic Land Floras in Western Japan discussed from the Stratigraphic Standpoint. *Idem*, Vol. XVI, n° 1-2, p. 75-103.
- NOVOJILOV N.I. (1954). — Phyllopodés du Jurassique supérieur et du Crétacé de la Mongolie. *Trav. Inst. Paléont. Acad. Sci. U.R.S.S.*, t. 48, p. 7-124.
- OZAWA Y. and WATANABE T. (1923). — On two species of Estheriae from Mesozoic shale of Korea. *Japan Jour. Geol. Geogr.*, Vol. 2, n° 2, p. 40-42.
- RAYMOND P.E. (1946). — The genera of fossil Conchostrea - and order of bivalved Crustacea. *Bull. Mus. Comp. Zool., Harvard College*, Vol. 96, n° 3, p. 217-308.

EXPLICATION DE LA PLANCHE XI

- FIG. 1 - *Sphaerestheria koreana* (OZAWA et WATANABE), n° 1519/228. × 7.
- FIG. 2 - *Sphaerestheria rampoensis* (KOBAYASHI), n° 1519/282. × 7.
- FIG. 3 - *S. rampoensis*, n° 1519/89. × 7.
- FIG. 4 - *Cyclestheria isjaraica* NOVOJILOV et KAPELKA, sp. nov., n° 1519/153. Holotype. × 7.
- FIG. 5 - *Lioestheria kidoi* (KOBAYASHI), n° 1519/39. × 7.
- FIG. 6 - *Lioestheria shimamurai* (KOBAYASHI), n° 1519/241. × 7.
- FIG. 7 - *Pseudestheria (Tuvinopsis) asanoi* NOVOJILOV et KAPELKA, sp. nov., n° 1519/30, Holotype. × 7.
- FIG. 8 - *Pseudestheria* s. str. *gissarica* NOVOJILOV et KAPELKA, sp. nov., n° 1519/105, Holotype. × 7.
- FIG. 9 - *Pseudestheria* s. str. *turkestanica* NOVOJILOV et KAPELKA, sp. nov., n° 1519/24, Holotype. × 7.
- FIG. 10 - *Pseudestheria (Sphaeropsis) tanii* (KOBAYASHI), n° 1519/56. × 7.
- FIG. 11 - *P. (Sphaeropsis) cycloides* (KOBAYASHI), n° 1519/250. × 7.
- FIG. 12 - *Glyptoasmussia madygenica* NOVOJILOV et KAPELKA, sp. nov., n° 1519/118, Holotype. × 7.
- FIG. 13 - *Glyptoasmussia khinganensis* (KOBAYASHI), n° 1519/189. × 7.
- FIG. 14 - *Brachystheria tochtabuzica* NOVOJILOV et KAPELKA, sp. nov., n° 1519/67, Holotype. × 7.
- FIG. 15 - *Loxomicroglypta kirgizica* NOVOJILOV et KAPELKA, sp. nov., n° 1519/127, Holotype. × 7.
- FIG. 16 - *Loxomicroglypta kobayashii* NOVOJILOV et KAPELKA, sp. nov., n° 1519/130, Holotype. × 7.
- FIG. 17 - *Estheriina kawasakii* (OZAWA et WATANABE), n° 1519/209. × 7.





CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

13, Quai Anatole-France, PARIS (VII^e)

I. — PUBLICATIONS PERIODIQUES

LE BULLETIN SIGNALETIQUE

Environ 100.000 extraits par an.

Prix de l'Abonnement

France Etranger

1^{re} Partie (Mathématiques, Physique, Chimie, Sciences de l'Ingénieur) 65.00 NF. 75.00 NF.

2^{me} Partie (Biologie, Physiologie, Zoologie, Agriculture) 65.00 NF. 75.00 NF.

Tirages à Part : 1^{re} Partie (Section VIII : Minéralogie, Géochimie, Pétrographie, Géologie, Paléontologie) 11.50 NF. 14 50 NF.

VENTE : Centre de Documentation du Centre National de la Recherche Scientifique, 16, rue Pierre Curie, PARIS-V^e. Tél. : DANton 87-20, C.C.P. Paris 9131/62.

GROUPE FRANÇAIS DES ARGILES

Compte rendus annuels des Réunions d'Etudes :

Tomes I à V : ronéotypés 2.50 NF. l'ex.

Tomes VI à VIII : imprimés 4.50 NF. l'ex.

NOTES BIOSPEOLOGIQUES

Un tome annuel comprenant 2 fascicules :

Abonnement annuel : France : 7.00 NF. — Etranger : 10.00 NF.

Vente par fascicule : France : 5.00 NF. — Etranger : 6.00 NF.

II. — COLLOQUES INTERNATIONAUX

LXVIII. — Les échanges de matières au cours de la genèse des roches grenues, acides et basiques 30.00 NF.

III. — COLLOQUES NATIONAUX

IV. - Quaternaire et morphologie 4.50 NF.

IV. — LES LABORATOIRES DU C.N.R.S.

Le laboratoire souterrain de Moulis 2.30 NF.

V. — OUVRAGES

Contribution à la systématique des Madréporaires fossiles, par James ALLOITEAU, Directeur de Recherches au C.N.R.S. Ouvrage relié au format 21 × 27 comprenant : 1 volume de textes de 464 pages - 1 volume de planches de 107 pages.

Prix : 45.00 NF. — Franco : 47.00 NF.

La constitution géologique et la structure des Antilles, par Jacques BUTTERLIN, 384 pages au format 21 × 27 et 24 cartes.

Prix : 27.00 NF. — Franco : 28.50 NF.

Les cristallisations excentriques de la Grotte de Moulis, par Bernard GEZE. Ouvrage au format 21 × 27 comportant 90 illustrations sur papier Kromekote.

Prix : 18.00 NF. — Franco : 19.00 NF.

RENSEIGNEMENTS et VENTE :

SERVICE DES PUBLICATIONS DU CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

13, Quai Anatole-France, PARIS (VII^e) - C.C.P. Paris 9061-11 - Tél. INV. 45-95

LOCALISATION DES EAUX			COMPOSITION CHIMIQUE DES EAUX															RAPPORTS ET TITRES																			
ORIGINE	ASSISE FAISCEAU	Profondeur absolue	Cl ⁻			SO ₄ ⁻			CO ₃ ⁻			ΣA	Ca ⁺⁺			Mg ⁺⁺			Na ⁺			K ⁺			ΣC	Numéro de l'analyse	Poids du Résidu sec en milligrammes par litre	Ca Mg	Na K	RAPPORT DES BASES	Tn	Tb	TA	TAC	TH	pH	DIVERS
			1	2	3	1	2	3	1	2	3		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3													
Fosse 4 de Nœux Eau recueillie dans une potelle à 789 m	ANZIN	-700	8890	278	48,09	257	5,35	0,72	287	5,74	0,99	289,08	300	1015	3,38	203	16,9	2,92	252,6	43,7				289,09	Be 9890	18 570	1,55	?	6,95	+42,05	Nul	20,7	150	7,2			
Fosse 7 de Nœux Sondage front bawette nord 825 Flines entre F. Bruay et F. Sains	FLINES	-510	9904	280	47,50	10	0,208	0,300	139	2,58	2,07	202,8	384	19,2	3,4	15,5	12,9	2,28	250,7	44,32				202,8	Be 9964	17 575	1,49	?	7,8	+62,1	Nul	19,9	110	7,2			
Fosse 7 de Nœux 1990 m du puits Toit de veine Romain	VICOIGNE	-400	10130	285								220	787					6 290	224					Be 10130					-55					SiO ₂ 27			
Fosse 4 de Nœux Raval puits n 4 (789,43) (environ F. Gavion)	ANZIN	-700	10607	299	47,98	300	6,35	1,03	308	6,16	0,99	311,51	457	22,85	3,68	218	18,2	2,92	270,41	43,4				311,51	Be 10607	19 640	1,26	?	6,6	-143	+51,7	Nul	30,8	205	7,1		
Siège 6 sondage 255	BRUAY ?	-350-600	10014	299	49,33	0	0		210	4,2	0,69	303,2	30	4,95				6 280	273,2	45,07				303,2	Br 10614	20 870	?	?	9,1	-129	0	21	150	H ₂ O			
Siège 3 sondage 100	BRUAY	-340	11076	312								9,4													Br 11076									47	H ₂ O		
Fosse 2 de Nœux sondage S'Augustin SW 695 à 113 m de profondeur (-743)	BRUAY Base de 6 sillons	-743	12150	342	49,60	62	1,29	0,18	79	1,58	0,23	343,3	539	26,95	3,93	29,5	3,13	6,785	294,85	42,93				343,3	Be 12150	22 720	1,25	?	6,25	-240	+128,3	Nul	7,9	140	6,2		
Siège 2 de Nœux Bure 29 à 393 m	BRUAY	-627	12250	345	50	Traces						345	490	2,45	3,55	36,35	5,20	6 500	283	41,03	45	1,15	0,166	345	Be 12250	21 480	0,65	245	4,65	-305	+122,5			305			
Siège 6 voie II de St-Louis à 591	BRUAY	-500	12313	348	44,54	Traces			2100	42	5,37	390	19	2,43				8 533	371	47,5				390	Br 12313	22 742	?	?	19,6	+115	0	210	95				
Siège 6 voie 91 de St-Louis	BRUAY		12642	355	48,77	Traces			1700	8,5	1,16	364,5	19,4	2,66				7 940	345	47,28				364,5	Br 12 642	23 376	?	?	17,6	-54,5	0	170	97				
Fosse 13 de Nœux	Vicoigne-Anzin?		13100	379	49,09	Non dosable			121	2,42	0,31	379	6,43	32,15	4,24	277	23,1	2,75	744,8	323,75	43,1				379	Be 13100	23 400	1,39	?	5,8	-276,25	+160,75	Nul	12,1	276,25		
Fosse 2 de Nœux venue d'eau 1200 L.H			14900	420		Traces						1000	50					9 000	391		40	1,025			Be 14 900	25 540	?	?	3,81	7,84	-140	+250		250			
Fosse 2 de Nœux sondage S'Augustin SW 695 prise d'eau avant l'abandon du sondage	BRUAY	-800	17300	487	49,81	Non dosable			93	1,88	0,19	487	1110	55,3	5,70	44,8	37,3	3,83	9080	394,2	40,47					Be 17 300	31050	1,49	?	4,14	-464	+277,5	Nul	9,3	464	6	
voir BE 12 150	BRUAY	-800	17300	493	49,85	0,16	0,016	70	1,4	0,14	493,6	1140	57	5,77	4,91	41	4,15	9085	395,6	40,08				493,6	Be 17 500	31 800	1,39	?	4,03	-480	+285	Nul	7		5,9		
Puits 3 bis	BRUAY		18744	528	49,72				150	3	0,28	528	49	4,84				1017	479	45,36				520	Br 18 744		?	?	11,7	-245	?	0	15	245	H ₂ O		
Fosse 3 de Vermelles sondage partant de -450 venue d'eau du voisinage de la F. Pruvost			19400	547	50	Traces						547	2300	115	10,61	168	14	1,28	9 800	418	38,20				547	Be 19 400		8,2	?	3,24	-645	+575	Nul		645	8,2	
Siège 2 de Nœux sondage sur bawette nord 597 à 132 m	Voisinage de Poisonnière	-600	19500	550		Non dosable						2620	131					10 900	475		53	1,36			Be 19 500	34 200	?	?	350	-370	+655						
Fosse 3 de Vermelles sondage partant de -450 Venue d'eau du voisinage de la F. Pruvost			20200	570		Traces						2900	145					12 450	541						Be 20 200					-145	+725			9,1			
Fosse 4 de Nœux Bawette sud Etage 800 - 714 sous Rimbant	ANZIN		21400	603	49,8	10	0,208	0,078				603,2	2405	120,25	9,51	1100	91,6	7,24	8016	39,35	33,25				603,2	Be 21 400		1,35	?	1,86	-1060	560				SiO ₂ 18	
Siège 4 venue d'eau dans les travaux de 22 et des passées du mur (Failles 130 a 114) oct. 1954	BRUAY		21655	610																					Br 21 655										Non dosable		
Fosse 1 de Bully (Sondage D 342,27) -702	BRUAY	-702	24580	692	50	Traces						692	288,5	12,94				10 200	443,5	32,02				692	Be 24 580		?	?	1,78	-124,25	Nul		1242	6,9			
Siège sud Bawette sud à l'étage 679			24680	696	49,81				140	2,8	0,196	696	88	6,32				13 984	60,8	43,65				696	Br 24 680		?	?	6,9	-440	?	0	14	440			
Fosse 4 de Nœux Bawette sud Etage 800 (à 202 m du puits 4) -700	ANZIN		25800	727		Non dosable						2870	102,5	1450	72,5										Be 25 800	43 700	1,41			+90					SiO ₂ 20		
Fosse 1 de Liévin Beurtia n°2 venue à -663 Eau provenant du banc de grès entre Nella et Marie	BRUAY Ernestine	-663	27157	765	50	0	0	0				6500	232	1517	2450	122,5	7,98	9441	410,5	26,81					LL 27157	77 090	1,9		1,16	-172,5	+1160				SiO ₂ 20		
Fosse 5 de Bully sondage B 65	ANZIN	-725	28400	800	49,84	Non dosable						872,9	2830	141,5	9,1	980	81,6	4,57	14 900	648	37,13	70	1,8	0,10	872,9	Be 28 400	50 600	1,73	360	2,9	751	+702,5	Nul		1035		
Siège 5 venue d'eau à front de la Bawette devant du siège 5 à 679	ANZIN	-620	28358	827	49,84				13,5	2,7	0,16	827	176	10,64				14 973	651	39,38				827	Br 29358		?	?	3,7	880	?	0	13,5	880			
Siège 4 sondage n°70 montage 17 de 22'	BRUAY	-425	29891	842	49,85				130	2,6	0,156	842	160	9,50				15 886	682	40,51				842	Br 29 891		?	?	4,26	-800	?	0	13	800			
Siège 2 de Nœux sondage Bure 29 à 345 m			30250	853	50	Traces			653	2600	130	7,62	914,4	76,2	4,46	14 800	645	37,79	70	1,795	0,13	853			853	Be 30 250	51 670	1,74	359	3,14	-1030	+650	Nul		1031		
Fosse 2 de Nœux			30750	865	50	Traces			865	2700	135	7,72	975,6	81,3	4,69	14 900	648	37,38	28	0,717	0,041	865			865	Be 30 750	54 000	1,67	903	3	-1080	+675	Nul		1080		
Fosse 1 de Liévin Beurtia n°9 venue à -667 Eau provenant du banc de grès au toit de Marie	BRUAY Ernestine	-667	30880	870	50	0	0	0				3 750	134	7,70	1270	63,5	3,65	15 867	672,5	38,66					LL 30 880	55 150	2,105		3,4	-987,5	+670				SiO ₂ 1		
Fosse 5 de Bully sondage 5 bis sous F. Pruvost Pression -6 kg	VICOIGNE	-1150	32900	927	50	Non dosable						927	3800	190	102,6	20,64	1,2	9,2	1300	565	30,50				927	Be 32 900		1,10	?	1,51	-1810	+950	Nul		1810	6,6	
Siège 4 Eau de fond de la taille 2 de 26' venue à 706	BRUAY	-620	34967	985																					Br 34 967									170	7,2	Non dosable	
Puits 5 bis Eau de Raval	ANZIN		37097	1045																					Br 37097												
Fosse 5 de Liévin Beurtia n°12 venue à -640 Eau provenant du grès au toit de Christiane	BRUAY Ernestine	-640	35050	1100	0	0																			LL 39050												
Siège 5 Sondage 699 à 180 m de profondeur Eau radioactive	ANZIN	-690	39090	1100	49,95	0			1,2	0,054	0,012	6300	225	10,12	2130	106,5	4,79	17710	769,7	34,63				1101,2	Br 39090	65900	2,12	?	2,32	-1655	+1119	6		1655			
Puits 5 bis Eau de Raval 25 m ³ /h	ANZIN	-700	41480	1165					900	30		5950	299	4,530	377			19550	850						Br 41 480	72 440											
Fosse 13 de Nœux	BRUAY	-750	46800	1312	48,96	Traces			50	1	0,038	1312	5250	262,5	9,97	2150	179	6,802	20000	857	32,56			1312	Be 46 800	78 200	1,46	?	1,95	2275	1312	Nul	5	880			
Fosse 5 de Bully	FLINES	-980	48800	1395	49,45	80	1,615	0,058				1392	6200	310	11,22	1800	150	5,43	21650	942	34,10				1392	Be 48 800	86 400	2,06	?	2,05	-2165	+1542	Nul		2250		
Siège 6 Bawette Levant à l'étage 851	BRUAY Ernestine	-765	48800	1375	49,91	0	0	0	55	1,1	0,09	1376	10840	580	17,9	4572	228,6	8,275		7675	27,93					Br 48 800	79 060	1,65		1,28				5,5	6,9		
Siège 7 de Nœux Eau provenant de la Bawette sud à 850 m	Ernestine	-744	49200	1385	49,95	Non dosable			70	1,4	0,05	1385	320	11,55				24495	1065	38,44				1385	Be 49 200	85 300	?	?	3,33	-1600	+1600	Nul	7	1600	6,7		

SOCIÉTÉ
GÉOLOGIQUE
DU
NORD

ANNALES

Tome LXXX

1960

1^{me} Livraison

VOLUME PUBLIÉ AVEC LE CONCOURS DU
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD
23, RUE GOSSELET
LILLE

MEMBRES DU CONSEIL

— 1960 —

<i>Président</i>	M. J. RICOUR
<i>Vice-Président</i>	M. P. DUMON
<i>Directeur</i>	M. P. PRUVOST
<i>Secrétaire</i>	M. M. WATERLOT
<i>Trésorier</i>	M. l'Abbé TIEGHEM
<i>Délégué aux publications</i>	M. J. POLVÊCHE
<i>Bibliothécaire</i>	M ^{me} S. DEFRETIN
<i>Libraire</i>	M. J. CHALARD
<i>Secrétaire adjoint</i>	M ^{lle} D. LEMAÎTRE
<i>Conseillers</i>	M. A. DUPARQUE
	M. Ch. DELATRE
	M. G. DEPAPE
	M. R. LEROUX

Colloque sur les problèmes relatifs à la nappe de la craie

et

Réunion extraordinaire de la Société géologique du Nord

Douai, le 20 mai 1960

Lille, les 21 et 22 mai 1960

Le présent fascicule de nos Annales contient à la fois le compte rendu d'un colloque consacré aux problèmes relatifs à la nappe de la craie et le compte rendu de la Réunion extraordinaire de 1960.

Le colloque, organisé en collaboration par l'Association internationale des hydrogéologues, le Bureau des recherches géologiques et minières et la Société géologique du Nord, a permis de confronter l'expérience de nombreux techniciens. Etant donné l'importance des résultats acquis, le Conseil de la Société a décidé, à titre exceptionnel, l'impression du compte rendu de ce colloque dans un fascicule de nos Annales.

Le Président : J. RICOUR.

LISTE DES PARTICIPANTS

- M. ACHTEN Albert, Directeur général technique de la Compagnie Intercommunale bruxelloise des eaux, 48, rue du Trône, Ixelles (Belgique).
- M. BALTHAZARD Jean, I.R.H.N.P.C. (1) Service des mines, rue Charles-Bourseul, Douai (Nord).
- M. BASSOMPIERRE Pierre, Ingénieur géologue au B.R.G.M. (2), 74, rue de la Fédération, Paris XV^e (Seine).
- M. BEAUMONT Claude, Directeur scientifique du B.R.G.M., 74, rue de la Fédération, Paris-XV^e (Seine).
- M. BERKALOFF Eugène, Ingénieur géologue au B.R.G.M., 74, rue de la Fédération, Paris-XV^e (Seine).
- M. DOGOMOLOV G.V., Section de Géologie géographique, Académie des sciences de l'U.R.S.S., Moscou (U.R.S.S.).
- M. BOLELLI Edmond, Ingénieur géologue à la Compagnie de prospection géophysique française (Geoprosco), 13, rue Lafayette, Paris-IX^e (Seine).
- M. CONTE Antoine, Professeur à la Faculté des sciences de Lille, 23, rue Gosselet, Lille (Nord).
- M. BOUROZ Alexis, Chef du Service géologique des H.B.N.P.C. (3), 20, rue des Minimes, Douai (Nord).
- M. BUISINE Michel, Géologue aux H.B.N.P.C., Groupe de Lens-Liévin, 56, rue du Pôle Nord, Lens (P.-de-C.).
- M. CASTANY Gilbert, Ingénieur géologue en chef, Chef du département géologie du B.R.G.M., 74, rue de la Fédération, Paris-XV^e (Seine).
- M. CHEVALLIER Célestin, Ingénieur des T.P.E., Service des mines, rue Charles-Bourseul, Douai (Nord).
- M. GALLE-CAVALLONI Henri, Technicien-géologue. I.R.H.N.P.C., Service des mines, rue Charles-Bourseul, Douai (Nord).
- M. CHALARD Jacques, Ingénieur géologue aux H.B.N.P.C., Parc Derasse, Immeuble C, Beuvrages (Nord).
- M. CHEVALLIER Paul, Ingénieur, Chef de la station élévatoire, Service municipal des eaux de Roubaix-Tourcoing, Pecquencourt (Nord).
- M. DALINVAL André, Ingénieur géologue aux H.B.N.P.C., Groupe de Douai, 186, rue de l'Egalité, Dechy (N.).
- M. DAUNESSE Claude, Ingénieur en chef des mines, Directeur de l'Ecole technique des mines, rue Charles-Bourseul, Douai (Nord).
- M. DA SILVA DUARTE Victal, Ingénieur de la banque du N.E. du Brésil, Bahia (Brésil).
- M^{me} DEFRETIN Simone, Assistante à la Faculté des sciences de Lille, 23, rue Gosselet, Lille (Nord).
- M. DELATTRE Charles, Professeur à la Faculté des sciences de Lille, 23, rue Gosselet, Lille (Nord).
- M. DELLERY Bernard, Technicien géologue, I.R.H.N.P.C., Service des mines, rue Charles-Bourseul, Douai (N).
- M. DESTOMBES Jean-Paul, Ingénieur géologue au B.R.G.M., 57, rue Charles-Laffite, Neuilly (Seine).
- M. DEZWARTE Jean-Marie, Technicien géologue, I.R.H.N.P.C., Service des mines, r. Charles-Bourseul, Douai (N).
- M. DOLLE Pierre, Ingénieur géologue aux H.B.N.P.C., rue Philibert-Robiaud, Hénin-Liétard (Pas-de-Calais).
- M. DUFORET André, Directeur général de la Société des eaux de Douai, 14, rue St-Jean, Douai (Nord).
- M. DUMAS F., Ingénieur en chef des voies navigables, 171, boulevard de la Liberté, Lille (Nord).
- M. EPINAT Walter, Ingénieur en chef du Génie rural, 32, rue Abel-Eergaigne, Arras (Pas-de-Calais).
- M. FACHINETTI Yvan, Secrétaire général de la Commission de planification économique de Bahia (Brésil)

(1) I.R.H.N.P.C. Inventaire des ressources hydrauliques des départements du Nord et du Pas-de-Calais.

(2) B.R.G.M. Bureau de recherches géologiques et minières.

(3) H.B.N.P.C. Houillères du bassin du Nord et du Pas-de-Calais.

- M. FOURMARIER Paul, Professeur à l'université de Liège, Président de l'A.I.H., 6, rue Pr Mahaim, Cointe Sclessin, Liège (Belgique).
- M. FOURNAU Michel, Directeur de la Société des eaux du Nord, 6, boulevard Papin, Lille (Nord).
- M. FRADCOURT Roger, Ingénieur principal des mines, administration des mines, 32, place du Parc, Mons (Belg.)
- M. GANTOIS Joseph, Directeur du service « Forages et sondages » de la S.A.D.E., 4, rue Gambetta, Saint-André-lez-Lille (Nord).
- M. GONET Edouard, Ingénieur des mines, sous-directeur de l'École technique des mines, rue Charles-Bourseul, Douai (Nord).
- M. GOHIER Jacques, Entrepreneur de forages, 101, boulevard Thiers, Béthune (Pas-de-Calais).
- M. GULINCK Marcel, Ingénieur géologue, Attaché au Service géologique de Belgique, 13, rue Jenner, Bruxelles.
- M. HACQUAERT Armand, Professeur à la Faculté des sciences, 43, Vaderland-straat, Gand (Belgique).
- M. INESON Jack, Doctor Principal geologist, Water department, Geological survey of Great Britain, Exhibition road, South Kensington, London S.W.7 (Grande-Bretagne).
- M. KARPOFF Roman, Docteur ès-sciences, Géologue SAFÈGES-LÈE, 45, rue de Cortambert, Paris-XVI^e (S).
- M. KIMPE Willem, Géologue principal, 88, Akerstraat, Heerlen (Pays-Bas).
- M. LEROUX Edmond, Ingénieur civil, 45, rue Félix Faure, Enghien-les-Bains (Seine-et-Oise).
- M. LEROUX René, Ingénieur, Directeur de la Société Eau et force, 219, avenue Anatole-France, Anzin (Nord).
- M. LEVY René, Ingénieur général des mines, 28, rue du Ranelach, Paris-XVI^e (Seine).
- M. LEVEQUE Paul, Ingénieur géologue I.G.N., Pavillon 19, Résidence Vatonne Yvette, Gif-sur-Yvette (S.-et-O.).
- M. LIENHARDT Georges, Ingénieur géologue au B.R.G.M., 74, rue de la Fédération, Paris-XV^e (Seine).
- M. LOAEC, Société lyonnaise des eaux de Dunkerque, rue de l'Esplanade, Dunkerque (Nord).
- M. MARLIERE René, Professeur à la Faculté polytechnique de Mons, rue de Houdain, Mons (Belgique).
- M. MASSOULIE Georges, Directeur à la Société lyonnaise des eaux et de l'éclairage, Région parisienne Nord-Ouest, 45, rue de Cortambert, Paris-XVI^e (Seine).
- M. MONTAGNE Pierre, Ingénieur chimiste au B.R.G.M., 74, rue de la Fédération, Paris-XV^e (Seine).
- M. MUNIER Christophe, 16, rue Sacrot, Saint-Mandé (Seine).
- M. PAREYN Claude, Maître de conférence à l'Université de Caen (Calvados).
- M. PATIJN, Adjoint-directeur du Bureau géologique, Heerlen (Pays-Bas).
- M. PETIT René, Ingénieur aux H.B.N.P.C., 5, avenue Emile-Roux, Liévin (Pas-de-Calais).
- M. POLVECHE Jean, Maître de conférence à la Faculté des sciences de Lille, 23, rue Gosselet, Lille (Nord).
- M. PUIBARAUD Guy, Ingénieur aux H.B.N.P.C., Groupe de Béthune, 4, rue Brasme, Bully-les-Mines (P.-de-C.).
- M. RICOUR Jean, Président de la Société géologique du Nord, Ingénieur géologue en chef au B.R.G.M., 74, rue de la Fédération, Paris-XV^e (Seine).
- M. RODIER André, Ingénieur des T.P.E., Service des mines, rue Charles-Bourseul, Douai (Nord).
- M. SANZOT Edgard, Ingénieur civil des mines, Ingénieur des eaux de la Ville de Liège, rue Saint-Etienne, Liège (Belgique).
- M. SIGAL Jacques, Ingénieur géologue à l'Institut français du pétrole, Rueil-Malmaison (Seine-et-Oise).
- M. SNEL M., Ingénieur principal divisionnaire des mines, 32, place du Parc, Mons (Belgique).
- M. STAINIER, Directeur des travaux des Charbonnages du Bois-du-Luc, Houdeng-Aimeries (Belgique).
- M. THEILLIER Paul, I.R.H.N.P.C., Service des Mines, rue Charles-Bourseul, Douai (Nord).
- M. WATERLOT Gérard, Professeur à la Faculté des sciences de Lille, 5, rue du Général Mangin, Marcq-en-Barœul (Nord).
- M. WATERLOT Michel, Assistant à la Faculté des sciences de Lille, 23, rue Gosselet, Lille (Nord).
- Le Centre belge d'étude des eaux (CEBEDEAU) était représenté par M. SANZOT.

COLLOQUE

sur les problèmes relatifs

à la nappe de la craie

SÉANCE INAUGURALE

Vendredi 22 mai à 10 heures

M. FOURMARIER, Président de l'Association internationale des hydrogéologues, ouvre la séance dans les locaux de l'École technique des mines de Douai.

Il remercie ses amis français, organisateurs du colloque et salue tout spécialement :

- M. DAUNESSE, Ingénieur en chef des mines et Directeur de l'École technique des mines de Douai.
- M. BEAUMONT, Directeur scientifique du B.R.G.M.
- M. CASTANY, Ingénieur géologue en chef au B.R.G.M.
- M. RICOUR, Ingénieur géologue en chef au B.R.G.M. et Président de la Société géologique du Nord.
- M. GONET, Directeur adjoint de l'École technique des mines de Douai.

Il insiste sur l'appui très libéral apporté par le B.R.G.M. dans l'organisation du colloque et souligne l'importance d'une collaboration internationale dans tout travail scientifique en remarquant qu'une telle collaboration est particulièrement fructueuse dans l'étude de problèmes tels que ceux que pose la nappe de la craie.

Il souhaite pour terminer la bienvenue à tous les participants.

M. BEAUMONT, Directeur scientifique du B.R.G.M., salue les participants au nom de cet organisme et présente les excuses de MM. DUHAMEAU et LAFFITTE, Directeur général et Directeur général adjoint du B.R.G.M., retenus à Paris. Il espère que le B.R.G.M. a collaboré efficacement à la réussite du colloque par l'intermédiaire de ses Ingénieurs géologues en chef, MM. CASTANY et RICOUR.

M. RICOUR, Président de la Société géologique du Nord, souhaite la bienvenue aux personnes présentes et remercie tous ceux qui l'ont aidé à organiser la réunion, tant sur le plan scientifique que matériel.

Il rappelle le but poursuivi par la Commission de la nappe de la craie de l'A.I.H. et espère que le colloque contribuera puissamment à l'avancement de nos connaissances des problèmes relatifs à cette nappe.

Il propose que le Professeur FOURMARIER veuille bien accepter la présidence du colloque, ce qui est accepté par acclamation.

Le secrétariat sera assuré par M. Michel WATERLOT et le personnel de l'I.R.H.N.P.C.

M. FOURMARIER remercie l'assistance de la confiance qui lui est faite et propose que les débats soient dirigés, pour chacun des thèmes retenus au programme de ce colloque, par deux présidents différents.

Il demande à MM. CASTANY et PATIJN de bien vouloir assumer cette charge durant la première demi-journée.

PREMIER THÈME

Etude du réservoir

ECOLE TECHNIQUE DES MINES DE DOUAI

Vendredi 20 mai 1960 (matin)

Présidents : MM. PATLIX et CASTANY

Rapporteur : M. J. POLVÊCHE

Six notes ont été consacrées à l'étude du réservoir que constitue la craie. Chacun sait que la craie a, dans notre région, été longuement étudiée par des générations de géologues ; aussi, pour ma part, n'ai-je fait que rappeler brièvement les grandes lignes de la stratigraphie du Crétacé du Nord de la France.

Les méthodes d'étude employées jusqu'à présent ne permettent pas de dégager une stratigraphie détaillée. Le faciès était souvent le seul critère utilisé pour préciser les étages, la macrofaune étant généralement rare et souvent peu caractéristique. J'ai dans cette note abordé avec mon collègue Jean MAGNÉ la description de la microfaune de la craie, travail délicat car les foraminifères sont, dans l'ensemble, assez mal conservés. Ces faunes sont en cours d'étude. J'ai abordé aussi l'étude chimique des sédiments crayeux qu'il faudra poursuivre systématiquement ; rien pratiquement n'a été fait dans ce domaine. Nous constatons donc que la craie, si commune dans nos régions, mérite d'être étudiée encore longuement.

J. MÉGNIEUX a pour sa part décrit de façon détaillée le Crétacé supérieur de l'Yonne ; ses subdivisions sont basées sur la macrofaune. Il s'est attaché plus particulièrement à étudier les caractères physiques de la craie. Son étude des diaclases est instructive et mériterait d'être étendue à tous les domaines crayeux. Il présente aussi des résultats fort intéressants relatifs à la porosité efficace, mais ces recherches purement théoriques doivent être confrontées avec le fait que la craie présente souvent un régime karstique ou semi-karstique.

M. LEVÊQUE rappelle que la craie peut être une roche plastique. Il tire de très utiles indications sur sa portance tout en attirant l'attention sur les phénomènes diagénétiques secondaires qui se produisent dans ce sédiment : la craie pouvant se recristalliser au contact du gaz carbonique.

M. MONTAGNE a pour sa part présenté un nouvel appareil qui pourra, n'en doutons pas, rendre de précieux services au cours des mesures de l'ascension capillaire.

M. INESON ramène les membres du colloque devant des problèmes plus généraux, en rappelant les difficultés qu'éprouvent les géologues, tant anglais que français, pour dater avec précision les couches crayeuses. Il signale l'intérêt que peut présenter le carottage électrique pour définir l'allure structurale du Crétacé. MM. SIGAL et DARDENNE, dans leur belle étude sur les corrélations de la craie dans le bassin de Paris, confirment les remarques d'INESON et utilisent avec bonheur cette méthode moderne. Pourtant, ils ne négligent pas d'étudier minutieusement la microfaune dont certaines espèces précisées par J. SIGAL apparaissent comme d'excellents marqueurs stratigraphiques.

Nous constatons que cette première partie du colloque nous a apporté des résultats intéressants et nous a montré que la craie, sédiment des plus banal, méritait encore des études détaillées, tant physico-chimiques que paléontologiques. Une connaissance précise de la stratigraphie et des propriétés physico-chimiques des séries crayeuses doit seule nous permettre de tirer des indications d'ordre hydrogéologique valable. La craie du Nord de la France n'a pas encore dévoilé tous ses secrets.

J. POLVÈCHE.

Sur la stratigraphie, les propriétés physiques et chimiques des craies du Nord de la France

par J. POLVÊCHE

INTRODUCTION

Il n'est pas question ici d'effectuer une étude stratigraphique détaillée des sédiments crayeux du Nord de la France. De nombreux auteurs ont étudié la craie, je ne ferai donc que rappeler rapidement les grandes subdivisions des séries crayeuses. Au cours de cet exposé, j'essaierai aussi de montrer, malgré le nombre et l'importance des travaux qui ont eu pour sujet la craie, que de nombreux problèmes n'ont pas encore été résolus.

LE CÉNOMANIEN

Le Cénomanién, rappelons-le, est transgressif dans le Nord de la France. La mer cénomaniénne s'est avancée plus loin que les mers albiennes ; elle a recouvert une grande partie de notre région. Il n'est pas question de rappeler ici les limites de la transgression cénomaniénne ; je renvoie le lecteur aux beaux travaux de MM. Gosselet, Barrois, Marlière, Pruvost qui ont étudié cette transgression. Retenons toutefois que la mer cénomaniénne n'a envahi ni les Flandres, ni la région lilloise qui sont restées émergées jusqu'au Turonien inférieur.

Comme toute série transgressive, le Cénomanién va présenter des variations de faciès rapides dans les zones proches du continent ; le but de notre étude étant d'étudier la craie en tant que réservoir, nous abandonnerons ces problèmes pour décrire les sédiments crayeux dans les secteurs où ceux-ci sont bien développés, c'est-à-dire dans le Boulonnais et l'Artois. Là, le Cénomanién repose sur l'Albien. Il débute, dans le Boulonnais par exemple, par 3 m de craie glauconieuse contenant à la base des graviers et nodules phosphatés. C'est le « Tourtia » des géologues lillois. Cette assise est tantôt rattachée

à la zone à *Pecten asper*, tantôt à la zone *A. lativittatus* de Ch. Barrois.

Au-dessus, débutant par un banc à *Plococyphia*, vient une épaisse série crayeuse que l'on subdivise habituellement en deux parties :

— la partie inférieure est constituée dans le Boulonnais par une craie argileuse relativement imperméable. A Escalles, elle atteint 50 m d'épaisseur. On y recueille : *A. mantelli*, *A. rotomagense*, *Schloenbachia varians*, *S. coupei*, *Turrilités costatus*, *Holaster subglobosus* et *Inoceramus crippsi*;

— la partie supérieure est moins argileuse. On a évalué son épaisseur à 15 m à Escalles. Ailleurs, à Lumbres par exemple, elle serait plus épaisse (40 m) tandis que les niveaux inférieurs seraient en contre-partie plus minces. *Kingenia lima*, *Rhynchonella mantelli*, *Anomia papyracea* sont les fossiles les plus courants rencontrés dans ce niveau.

L'épaisseur du Cénomanién est très variable. On en reconnaît 65 m à Escalles, 43,5 m à Lumbres, 31 m à Wizernes (on se rapproche là du continent). Dans l'Artois, donc au S, les épaisseurs sont à nouveau plus importantes : Wavrans 70 m, Villers-l'Hôpital 63 m, Barly 46 m, Milly 50 m, Beaumont-Hamel 51 m. Au N, dans le bassin houiller, le Cénomanién est bien entendu plus réduit. On en reconnaît 29 m à Lens-Liévin, 19 m seulement au puits 10 d'Oignies.

A proximité du golfe de Mons, les faciès changent ; le Cénomanién est entièrement constitué par des marnes (Douchy, St-Aybert). Si on exclue la zone E du bassin houiller influencée par l'existence du golfe de Mons, on constate dans l'ensemble que le Cénomanién supérieur est plus calcaire que le Cénomanién inférieur ; mais les variations de la teneur en argile sont faibles. Voici la composition chimique de quelques craies cénomaniennes :

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	F.F.	CO ₂ Ca
LUMBRES :							
— Craie du Cénomanién inférieur.	19,65	4,10	1,85	40,49	1,25	32,7	74,3
— Craie du Cénomanién supérieur.	6,95	2,65	0,9	49,55	0,5	39,4	89,5
VILLERS-L'HOPITAL :							
— Craie du Cénomanién inférieur.				51			
— Craie du Cénomanién supérieur.				45			
BARLY :							
— Craie du Cénomanién inférieur.		1,3	0,3	52	0	41	93
— Craie du Cénomanién supérieur.		1,2	0,6	50	0	40	89
ESCALLES :							
— Craie du Cénomanién inférieur.							90
— Craie du Cénomanién supérieur.							72 à 90

La macrofaune du Cénomanién du Nord de la France est maintenant bien connue. Il n'en est pas de même pour la microfaune qu'étudie en ce moment J. Magné. Ce dernier a montré que le Cénomanién était parfaitement caractérisé dans notre région par les *Rotalipora* et que la limite Cénomanién-Turonien pouvait nettement être précisée à l'aide de ces formes. La zone à *Actinocamax plenus* constitue un niveau de transition entre Cénomanién et Turonien; elle contient, et des formes typiquement cénomaniennes, et des formes turoniennes.

Au point de vue hydrogéologique, on peut dire, bien entendu, que le pourcentage d'éléments argileux influe nettement sur la porosité. Des premières mesures que le B.R.G.M. a effectuées, on tire les résultats suivants :

— le Cénomanién inférieur a une porosité comprise entre 22 et 27 % ;

le Cénomanién supérieur a une porosité plus élevée, de 34 à 39 %.

C'est-à-dire que le Cénomanién supérieur présente des caractéristiques voisines de la craie séno-nienne. Il était bon de signaler ce fait.

LE TURONIEN

Le Turonien est subdivisé par les géologues nordistes en trois parties, lithologiquement bien distinctes dans la région lilloise :

- le Turonien supérieur crayeux,
- le Turonien moyen marneux et crayeux,
- le Turonien inférieur à l'état de dièves.

Dans l'Artois et dans le Boulonnais, les différences pétrographiques entre ces diverses assises

s'estompent et c'est une craie plus ou moins argileuse qui constitue l'ensemble du Turonien.

Le Turonien inférieur.

Cette assise est habituellement constituée par une marne ou par une craie très marneuse qui se distingue facilement de la craie blanche cénomanienne. Le fossile caractéristique est *Inoceramus labiatus*, abondant dans les lits marneux, assez rare ou absent dans les niveaux plus crayeux.

Dans le Boulonnais, au Blanc-Nez, le Turonien inférieur se présente sous un faciès particulier, il est en effet à l'état de craie noduleuse. Son épaisseur atteint là 25 m. Les nodules ayant une composition différente de celle du ciment, L. Cayeux admet qu'il s'agit de couches remaniées. Les forages des houillères effectués dans l'Artois montrent que le Turonien inférieur est là aussi constitué par une craie plus ou moins noduleuse. Les carottes nous ont montré de très beaux nodules. On a tout lieu de croire que cette craie, si elle affleurerait, présenterait un faciès très voisin de celui de la craie du Blanc-Nez. Le faciès à nodules n'est donc pas limité à la falaise boulonnaise.

Dans le bassin houiller et dans la région lilloise, le Turonien inférieur est plus marneux. On n'observe que très rarement des bancs bien formés à l'affleurement.

Les propriétés physiques et chimiques du Turonien sont, on le conçoit, très variables. Pourtant l'épaisseur du Turonien inférieur est dans notre région relativement constante. On en signale 25 m au Blanc-Nez, 20 m à Villers-l'Hôpital, 27 m à Barly, 26 m à Milly-les-Doullens, 25 m à Beaumont-Hamel, 20 m aux mines de Dourges, 12 m à Lille où l'on se rapproche du rivage.

Voici, à titre d'exemple, l'analyse chimique moyenne d'une craie du Turonien inférieur, celle de Milly-les-Doullens :

— Insoluble : 11 ; $\text{Fe}^{2}\text{O}^3 + \text{Al}^2\text{O}^3$: 3 ;
 Fe^{2}O^3 : 1 ; CaO : 45 ; MgO : 0,5 ;
 CO^3Ca : 82 ; CO^3Mg : 1.

Au sondage de Vendin, le pourcentage de CO^3Ca varie entre 46 et 66 %. Dans la région lilloise, le Turonien inférieur de Cysoing contient entre 28 et 92 % de CO^3Ca . Il est donc assez facile de distinguer dans les logs calcimétriques le Cénomaniens du Turonien inférieur. La limite est très nette, la variation de teneur en CO^3Ca s'effectuant brusquement.

La porosité est bien entendu influencée par la richesse en éléments argileux, mais il n'existe pas de relation étroite entre ces deux facteurs. Par exemple, à Villers-l'Hôpital, une craie à 50,5 % de CaO a une porosité de 21 %, tandis qu'une craie à 47 % de CaO a une porosité de 29 %. La porosité du Turonien inférieur dans les forages de l'Artois varie entre 20 et 30 % : elle est donc voisine de celle du Cénomaniens inférieur. Nous ne possédons pas de mesure sur les séries plus marneuses de la région du Nord qui sont franchement imperméables.

Des cartes de faciès sont en cours de réalisation et permettront de mettre en évidence des faits paléogéographiques et hydrogéologiques intéressants.

La microfaune, nous l'avons vu ci-dessus, permet de bien délimiter la base du Turonien grâce à la disparition des *Rotalipora*. Il n'en est pas de même pour la limite supérieure qui est difficile à préciser avec la microfaune. J. Magné nous montrera au cours d'une prochaine note que les *Globotruncana* sont très rares dans le Turonien inférieur si on excepte *Gl. Stephani* et *imbricata*, cette dernière forme prenant naissance durant le Turonien inférieur. La présence de nombreuses formes de *Globotruncana* indique déjà le Turonien moyen.

Le Turonien moyen.

Le Turonien moyen offre des faciès plus homogènes que le Turonien inférieur. Il est généralement représenté par une alternance de marnes non litées et de lits plus calcaires, en bancs plus ou moins nets. Cette assise devient plus calcaire quand on s'éloigne du continent. Notons qu'en forage les calcaires marneux du Turonien moyen apparaissent toujours en bancs, tandis qu'à l'affleurement

les mêmes niveaux semblent plus marneux. Il faut se garder d'évaluer à l'œil la richesse en CO^3Ca d'un affleurement.

On sait que le Turonien moyen est caractérisé par une macrofaune assez riche. *Terebratulina rigida* a donné son nom à cette assise. Associés à cette térébratuline, on rencontre souvent : *Inoceramus brongnarti* et *Spondylus spinosus*. Quant à la microfaune, elle nous fournit des indications assez imprécises. Les « grandes » Rosalines apparaissent dans cette formation mais elles se rencontrent aussi dans le Turonien supérieur et dans le Coniacien. Il semble pourtant, d'après J. Magné, que *Coscinophragma irregularis* reste dans le Turonien moyen, partie supérieure.

L'épaisseur du Turonien moyen est assez constante : Escalles : 36 m ; Villers-l'Hôpital : 35 m ; Milly : 25 m ; Lens : 35 m ; Fosse St-Aybert : 30 m. Dans la région de Lille, l'épaisseur du Turonien moyen dépasse 20 m ; plus au N, elle diminue considérablement. Il semble qu'il ne soit pas possible de retenir les chiffres cités par J. Gosselet dans les « Assises crétaciques », la plupart de ceux-ci n'ayant pas été contrôlés.

Il est, on le conçoit, difficile de donner des indications précises sur les propriétés physiques et chimiques des roches constituant cette assise, les faciès variant très rapidement de haut en bas et latéralement.

Dans la région de Lille, les niveaux marneux contiennent 54 % de CO^3Ca et les lits calcaires peuvent en contenir 83 %. A Vendin, les teneurs en CO^3Ca sont comprises entre 67 et 90 %. Plus au S, dans l'Artois, le Turonien moyen est plus homogène : ce pourcentage varie entre 89 et 93 %.

Voici à titre de comparaison une analyse d'une craie du Turonien moyen de Milly-les-Doullens :

— Insoluble : 7,4 ; $\text{Fe}^{2}\text{O}^3 + \text{Al}^2\text{O}^3$: 1,8 ;
 Fe^{2}O^3 : 0,7 ; CaO : 50 ; MgO : 0,36 ;
 CO^3Ca : 89 ; CO^3Mg : 0,75.

Quant à la porosité, elle est, elle aussi, très variable. Dans les forages de l'Artois, elle est comprise entre 32 et 40 %. Le Turonien moyen est donc nettement plus poreux que le Turonien inférieur, ceci est tout à fait normal.

Il serait intéressant d'établir, grâce aux renseignements collectés par le B.R.G.M., des cartes de faciès du Turonien moyen car cette formation peut se révéler ou perméable ou imperméable. Il s'agit là d'un travail de longue haleine qui nous fournirait à coup sûr des indications fort utiles.

Le Turonien supérieur.

Le Turonien supérieur, ou zone à *Micraster leskei*, présente des faciès assez variés, mais dans l'ensemble il se distingue assez mal du Sénonien. C'est en effet, comme le Sénonien, un niveau essentiellement crayeux.

Dans le Boulonnais, il est constitué par 10 à 15 m de craie blanche à nombreux silex. Gosselet distinguait les silex du Turonien supérieur à leur patine rosée. Dans les forages de l'Artois, le Turonien supérieur se distingue très mal du Turonien moyen ; les faciès de ces deux assises sont pratiquement identiques en carotte. Briquet a pu pourtant, à l'affleurement, effectuer une étude très fine de ces niveaux. Rappelons qu'il a observé des arborisations vertes qui sont caractéristiques du Turonien supérieur ; celles-ci constituent d'excellents repères utilisés par les géologues locaux.

Dans le Cambrésis (travaux de Leriche) et dans le Nord de notre région, le Turonien supérieur est constitué par une craie grise très fossilifère, on la nomme à Lille « gris ». La roche est souvent riche en phosphate de chaux et en glauconie. Des « accidents » dans la sédimentation soulignent la partie supérieure du Turonien ; il s'agit de niveaux de craie durcie, noduleuse, parfois phosphatée, nommés Tun ou Meule. Une étude stratigraphique et pétrographique fine de ces niveaux est en cours. L'épaisseur de cette assise, très aquifère dans la région lilloise, ne dépasse pas 6 à 8 m.

Dans le golfe de Mons, le Turonien présente des faciès différents que nous n'étudierons pas ici.

La macrofaune du Turonien supérieur (ou craie de Vervins) est très riche, mais assez peu caractéristique. Le *Micraster leskei*, qui a donné son nom à cette assise, est assez fréquent. On y rencontre aussi *Holaster planus* et quelques très rares ammonites. Quant à la microfaune, dans l'état actuel des travaux de J. Magné, elle ne permet pas de délimiter nettement le Turonien supérieur. *Coscinophragma irregularis* a disparu, ainsi que *Globotruncana helvetica* et *Gl. cf. schneegansi*. La faune évolue lentement vers les associations typiquement sénoniennes ou même campaniennes.

Au point de vue chimique, la craie turonienne est très voisine de la craie sénonienne.

Voici sa composition à Vendin n° 1 :

— SiO₂ : de 0,8 à 10 ; Fe²O₃ Al²O₃ : 1,8 à 6,6 ;
CaO : 43 à 55 ; MgO : 0,4 à 0,5 ; CO²Ca :
80 à 94,5 ; (PO⁴)²Ca : 0,85 à 0,15.

Des mesures de porosité ont été effectuées dans les craies turoniennes de l'Artois ; la porosité moyenne est de 37 % ; elle descend parfois à 29 %.

Le réseau aquifère du Turonien supérieur présente les mêmes caractéristiques que celui du Sénonien. Il s'agit en fait d'un même réseau.

LE SENONIEN

Le Sénonien affleure largement dans la région du Nord. Il est constitué par une craie blanche, homogène, à silex noir. Il est difficile d'établir des subdivisions dans cette craie. On parle très souvent de la craie sénonienne et ce n'est qu'exceptionnellement que l'on dit : Coniacien, Santonien ou Campanien. Il est vrai que la macrofaune est rare et peu caractéristique. Par ailleurs, les subdivisions établies par les auteurs ne correspondent qu'exceptionnellement entre elles et il est très difficile d'utiliser dans le Nord de la France les termes définis, plus ou moins mal, dans des bassins sédimentaires différents. On peut admettre dans notre région que la craie à *Micraster cortestudinarium* (abondant à la base) et *coranguinum* (connu à la partie supérieure) représente le Coniacien-Santonien. Le Campanien, ou craie à *Belemnitella quadrata*, est mal connu dans notre région : cette assise a été rarement signalée dans le Nord (Fosse n° 3 de Dourges, par exemple).

Il faut descendre dans le S de notre région (S de la feuille de Cambrai) pour rencontrer un Campanien bien développé étudié par Gosselet et Leriche. Il recèle des banes de craie jaune, dure, à géodes de marcaissite et des niveaux de craie phosphatée qui ont été exploités. Quant à la craie à *Belemnitella mucronata* (Campanien supérieur), il faut la rechercher, elle aussi, au S de notre région, ou dans la cuve de Mons. Elle a été signalée par exemple à Barleux (feuille de Péronne).

La macrofaune ne permet pas de subdiviser la craie avec beaucoup de précision et les cartographes sont obligés de grouper sous une même teinte les sous-étages du Sénonien. La microfaune permet dès maintenant (travaux de Magné, Marie, Sigal) de distinguer nettement le Campanien du Sénonien inférieur. Dans une note ci-dessous, J. Sigal signale les formes caractéristiques du Campanien. Il faut espérer que des études microfaunistiques plus poussées permettront de distinguer dans l'avenir le Turonien supérieur des sous-étages du Sénonien inférieur. L'établissement d'une série stratigraphique fine permettra de préciser la structure des pays crayeux.

L'épaisseur du Sénonien est très irrégulière dans la région du N. L'érosion anté-tertiaire et post-tertiaire a fait disparaître une partie importante de la craie. L'établissement d'isopaches de la craie donnerait aux hydrogéologues un excellent instrument de travail.

On reconnaît 70 m de craie sénonienne à Escalles, 74 m à Wizernes sous le Landénien. Dans le Bassin houiller, sous le Tertiaire, à Dourges par exemple, le Sénonien a 56 m d'épaisseur dont 18 m de Campanien. Dans la région lilloise, sous le Tertiaire des Flandres, à Roubaix, la craie a moins de 20 m de puissance. Rappelons qu'à Tournai, la craie n'existe plus, le Landénien repose là sur le Turonien moyen.

Il n'est pas possible, dans le cadre de cette note, de donner les compositions chimiques des craies sénoniennes que nous avons étudiées. Voici, à titre d'exemple, la composition moyenne d'une craie du Sénonien inférieur provenant du sondage de Vendin :

— SiO_2 : 0,5 à 0,9 ; FeO^3 Al_2O_3 : 0,2 à 0,3 ;
CaO : 55 ; MgO : 0,6 à 0,4 ; CO_3Ca : 95 ;
 $(\text{PO}_4)^2\text{Ca}$: 0,2 ; SO_4Ca : 0,15.

Le Sénonien est toujours constitué par une craie très riche en CO_3Ca , les minéraux argileux sont très peu abondants.

La craie sénonienne, étant donnée sa composition, offre une bonne porosité. Celle-ci est généralement supérieure à 40 %. Nous ne pensons pas que ces

mesures peuvent donner des indications pratiques sur la richesse de la nappe car les possibilités aquifères de la craie dépendent essentiellement des grandes fissures qui parcourent ce sédiment, or les grandes fissures n'entrent pas en ligne de compte lors des mesures effectuées au laboratoire.

CONCLUSION

Ce rapide aperçu (1) de la stratigraphie et des propriétés physico-chimiques (2) des craies du Nord de la France n'a eu pour but que de montrer que ce sédiment étudié par des générations de géologues posait encore des problèmes aux stratigraphes, aux micropaléontologistes, aux hydrogéologues. Nous pensons que l'étude détaillée des séries érayeuses du Nord de la France à l'aide des techniques modernes apportera des résultats substantiels aux chercheurs qui n'hésiteront pas à s'y consacrer, tant dans le domaine de la recherche pure qu'appliquée.

(1) Il ne nous a pas été possible dans le cadre de cette note d'établir une liste bibliographique des ouvrages consultés, celle-ci aurait été trop longue ; les travaux les plus importants sont signalés dans ma note sur le niveau à *A. Plenus* du Boulonnais. *Ann. Soc. géol. Nord*, t. 81, p. 47.

(2) Je tiens à remercier ici vivement la direction des Houillères du B.N.P.C. et plus particulièrement M. Bouroz, ainsi que la direction du B.R.G.M. et M. Ricour qui m'ont fourni de nombreux renseignements concernant les forages et analyses effectués dans leurs Laboratoires.

Stratigraphie et caractéristiques physiques du Crétacé supérieur de l'Yonne

par Cl. MÉGNIEU

Le Crétacé supérieur est bien développé dans le département de l'Yonne, au SSE du Bassin de Paris, où une étude détaillée a pu être entreprise dans le bassin des sources de la Vanne. Nous envisagerons successivement :

- la stratigraphie ;
- les caractéristiques physiques.

Stratigraphie du Crétacé supérieur de l'Yonne

L'étude paléontologique, basée en particulier sur les Foraminifères, les caractères pétrographiques dont la forme et la structure des silex ont permis de reconnaître dans le Crétacé de l'Yonne de haut en bas :

- Sénonien
- Turonien
- Cénomanién.

CÉNOMANIEN.

Les marnes de Brienne étant rattachées à l'Albien supérieur, le Cénomanién comporte deux niveaux :

- au sommet : Craie dure à Ammonites 35 m
- à la base : Gaize 10 m

Gaize. Elle n'avait pas été signalée dans cette région. C'est une craie riche en débris et concrétions siliceuses avec fragments indéterminables de *Pecten*ides.

Craie dure à Ammonites. Banes de 0,5 à 1 m de craie dure, blanche, très riche en argiles (20 à 40 % d'insolubles) alternant avec des niveaux centimétriques ou décimétriques de marne crayeuse, grise ou blanche. Silex parsemés irrégulièrement plus gros que dans les assises supérieures. Ils ont une forme quelconque ou « en polochons », longs de 20 à 30 cm, de couleur uniforme gris blanchâtre, sans écorce différenciée.

La faune, riche, a permis aux auteurs de distinguer deux zones :

— supérieure avec : *Acanthoceras rothomagense*, *Scaphites aequalis*, *Holaster subglobosus* ;

inférieure avec : *Schlaenbachia varians*, *Acanthoceras mantelli*, *Turrilites tuberculatus*, *Pecten asper* et *Inocerames*.

TURONIEN.

Nos études nous ont conduit à regrouper les six zones paléontologiques distinguées par J. LAMBERT et A. HURE et à proposer les subdivisions suivantes :

Turonien supérieur (30 m) :

zone F à *Micraster icaunensis*.

Turonien moyen (30 m) :

zone E à *Sternotaxis planus*.

zone D à *Cardiotaxis peroni*.

Turonien inférieur (100 m) :

zone C à *Terebratulina gracilis*.

zone B à *Conulus subrotundus*.

zone A à *Actinocamax plenus*.

Le *Turonien inférieur* est représenté par une craie marneuse grise, sans silex, avec niveau marneux qui s'altère en petits débris esquilleux. Les zones A et B sont l'équivalent des dièves du Nord de la France. Au sommet, avec la zone C, la craie est plus blanche et plus compacte, fine avec quelques rares niveaux marneux très minces. La faune comporte : *Micraster leskei*, *Rhynchonella cuvieri*, *Terebratula semiglobosa*, *Spondilus spinosus*.

Le *Turonien moyen* montre avec la zone D une craie blanche marneuse à silex gris blancs, auréoles à écorce blanche et épaisse avec cœur blond. C'est la première apparition des silex dans le Turonien.

La zone E est une craie blanche à silex gris-blanc, disséminés ou répartis en cordons ou en lits. La faune renferme : *Cidaris subvesiculosa*, *Rhynchonella plicatilis*, *R. cuvieri*, *Terebratula semiglobosa*, *Spondylus spinosus*.

Le Turonien supérieur est une craie blanche, en gros blancs de 2 à 3 m, séparés par de minces lits marneux verts. Les silex sont absents ou très rares. L'attribution stratigraphique de ces couches est discutée. La faune marque des affinités sénoniennes avec *Micraster decipiens*, mais elle est caractérisée par des ammonites turoniennes : *Pachydiseus peramplus*, *Prionotropis neptus*.

SÉNONIEN.

Nos études sur le terrain ont permis d'établir, dans le Sénonien, la succession suivante, de haut en bas :

Campanien supérieur :

zone P à *Magas pumilus* (30 m)

zone N à *Galeola papillosa* (40 m)

Campanien inférieur :

zone M à *Offaster pillula* (30 m)

Santonien :

zone L à *Marsupites testudinarius* (10 m)

zone J à *Conulus albogalerus* (50 m)

Coniacien supérieur :

zone H à *Inoceramus involutus* (20 m)

Coniacien inférieur :

zone G à *Terebratula semiglobosa* (30 m)

Coniacien inférieur. La limite entre le Turonien supérieur et le Coniacien inférieur est assez nette car elle correspond au contact de deux craies d'aspect lithologique différent. A la craie en banes et sans silex du Turonien supérieur, succède la craie massive riche en silex du Coniacien inférieur. Les silex noirs de forme quelconque, parfois branchus, à écorce mince sont disposés en lits ou en cordons.

Coniacien supérieur. Cet étage est représenté par une craie grossière blanche, à prismes d'Inocerames et à silex blonds, châtain et noirs, répartis en lits ou en cordons.

Santonien. Il correspond à une craie blanche compacte à silex blonds, noirs ou châtain.

Campanien inférieur. La limite entre le Santonien et le Campanien est soulignée en certains points par l'apparition de craie jaunâtre phosphatée (exploitation de Saint-Martin du Tertre). Elle renferme des Ostrea, des dents de *Lamna* et *Offaster pillula*. Puis vient une craie blanche, fine, compacte à silex gris, châtain, auréolés à écorce blanche épaisse, peu abondants et épars.

Campanien supérieur. C'est une craie blanche, fine et compacte, à silex en lits ou en cordons réguliers de 0,30 à 0,40 m d'épaisseur.

Le Maestrichtien correspond à une lacune.

Caractéristiques physiques du Crétacé supérieur de l'Yonne

Les caractéristiques physiques des roches du Crétacé supérieur de l'Yonne étudiées sont :

- les diaclases,
- les teneurs en insolubles,
- les porosités,
- la densité.

ÉTUDE STATISTIQUE DES DIACLASES.

L'étude des diaclases présente un double intérêt : tectonique et hydrologique. Si, en effet, celles-ci sont orientées préférentiellement, elles permettent alors d'analyser la tectonique dans les masses crayeuses et elles déterminent par l'hétérogénéité qu'elles provoquent, les caractéristiques hydrogéologiques.

Méthode de relevé. Les diaclases ont été étudiées systématiquement sur toutes les carrières. La direction et l'inclinaison ont été mesurées avec la boussole sur les plus fréquentes, la précision atteinte étant respectivement de 10 et 5 grades.

Report statistique. Les mesures ont été reportées sur un diagramme stéréographique (fig. 1). Le plan de chaque diaclase est supposé passer par le centre d'une sphère à partir duquel on élève une normale à ce plan qui coupe la sphère en un point « n ». Les différents points « n » sont projetés sur un plan équatorial horizontal de la sphère selon une projection conique de centre P, P étant le pôle inférieur de la sphère, défini par l'intersection d'une verticale passant par le centre de la sphère et la calotte sphérique inférieure.

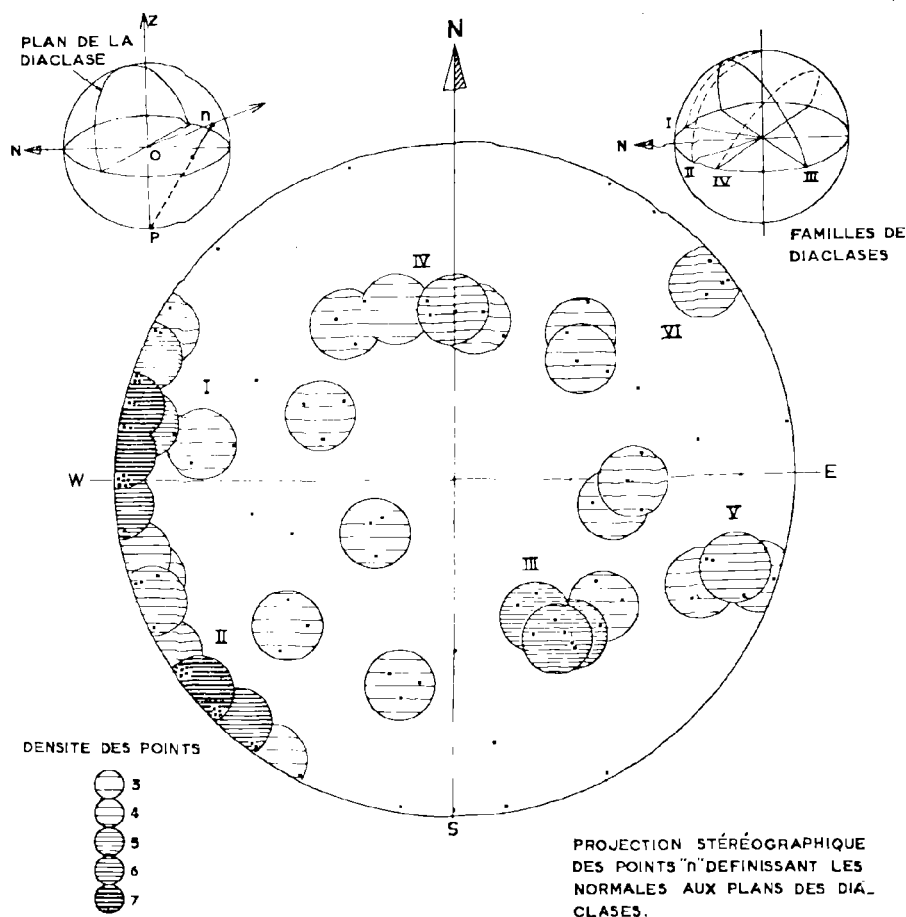


FIG. 1. — Diagramme stéréographique des relevés de diaclases.

Les différents points obtenus sur le diagramme forment des groupes que l'auteur a essayé de mettre en évidence par le tracé des cercles d'égaies densité de points. Le rayon de ces cercles correspond à une moyenne de 10 grades sur le diagramme (fig. 1).

L'examen du diagramme montre l'existence de 4 groupes de diaclases formant deux familles distinctes.

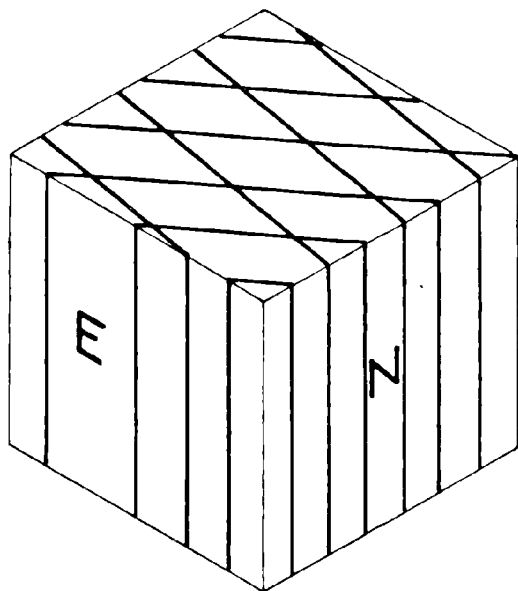
- Groupe I : Diaclases subverticales de direction 10 grades (ou N 50 grades E) ;
- Groupe II : Diaclases subverticales de direction 350 grades (ou N 50 grades W) ;
- Groupe III : Diaclases subverticales de direction 260 grades (ou S 60 grades W) et de pendage 65 grades vers le secteur SE ;

Groupe IV : Diaclases obliques de direction 100 grades (ou EW) et de pendage 60 grades vers le N.

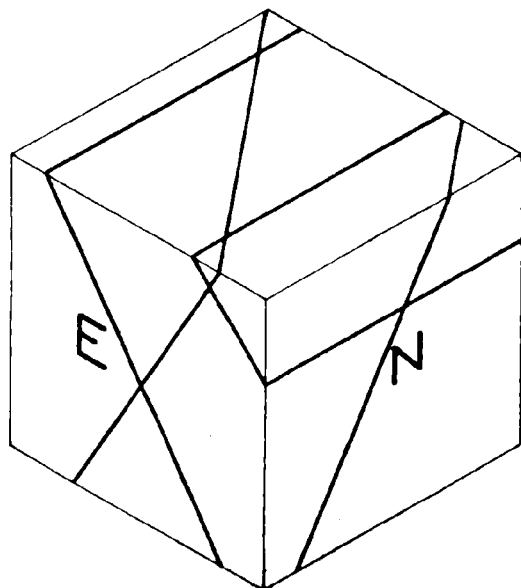
Les autres groupements V et VI ne forment pas des familles distinctes. Ce sont des diaclases subverticales qui se rattachent respectivement aux groupes I et II dont elles font partie.

1) DIACLASES SUBVERTICALES.

Les diaclases des groupes I et II forment un réseau dont la trace sur un plan horizontal a une maille losangique de 60 grades, à grand axe de N 20 grades W (fig. 2). Sur le terrain, ces diaclases se distinguent nettement des autres, non seulement par leur verticalité mais aussi par leur finesse.



Familles I et II
Diaclases subverticales



Familles III et IV
Diaclases obliques

FIG. 2. — Relevé des diaclases.
Représentation des deux principaux groupes.

Fréquentes, elles ne sont jamais ouvertes et elles forment plutôt des plans de schistosité. Dans le Cénomaniens, elles sont espacées tous les mètres ; dans le Sénonien ou le Turonien, on en trouve en moyenne une tous les 30 à 50 cm.

Par leur régularité et leur forme, elles semblent dues à des compressions résultant d'efforts horizontaux.

2) DIACLASES OBLIQUES.

Les diaclases obliques, qui constituent les groupes III et IV, dessinent sur un plan horizontal un réseau à maille losangique de 40 grades dont le grand axe est orienté S 80 grades W. C'est-à-dire que les grands axes des réseaux verticaux et obliques sont perpendiculaires entre eux. Les diaclases obliques sont souvent ouvertes ; elles peuvent se charger de silice analogue et de même couleur que celle des silex qui les entourent. Elles sont parfois remplies d'argile provenant soit de l'écrasement des niveaux marneux, soit le plus souvent d'argile rouge de décalcification, généralement stratifiée car elle provient de dépôts successifs de circulations aquifères.

Ce sont, en effet, les diaclases obliques qui jouent le rôle capital dans la circulation aquifère de la craie.

Les galeries de captage d'Armentières montrent les venues d'eau qui jaillissent uniquement de diaclases obliques qu'elles ont agrandies. Le débit moyen d'Armentières est de 20.000 m³ par jour et est fourni par 200 m de galeries recoupant une quarantaine de diaclases aquifères. En général, la fréquence des diaclases obliques, ouvertes ou non, est de une tous les deux ou trois mètres, en moyenne. Quelques observations de carrières montrent qu'elles ont été aquifères à une certaine époque. L'exploitation d'Armeau, dans le Turonien supérieur, montre des conduits karstiques dégagés dans les diaclases obliques, particulièrement importants aux points de rencontre de celles-ci avec les niveaux marneux.

Répartition géographique. Le report sur la carte topographique permet d'importantes remarques.

Les *diaclases subverticales* reportées sur la carte au 1/50.000 montrent une prédominance des directions N 30 grades E sur les N 30 grades W. L'orientation générale du grand axe du réseau de diaclase est parallèle au pendage moyen. Cette observation nous conduit à émettre l'hypothèse que cette fissuration résulte d'efforts horizontaux orientés vers le centre du Bassin de Paris.

Les *diaclasses obliques* sont, par contre, indépendantes des contraintes tectoniques. Elles peuvent avoir leur origine dans l'écrasement de la masse crayeuse sous l'effet de la charge des sédiments.

Age relatif des diaclasses. Les diaclasses sont postérieures à la sédimentation et à la formation des silex qu'elles fragmentent. Elles sont antérieures aux accidents tectoniques qui les affectent.

TENEURS EN INSOLUBLES.

Les teneurs en insolubles sont une des caractéristiques essentielles du matériau aquifère calcaire. Les résultats de 96 analyses sont donnés par le tableau suivant :

<i>Etages</i>	<i>Nombre d'échantillons</i>	<i>Moyennes en % des teneurs en insolubles</i>
Campanien supérieur ..	6	0,82
Coniacien et Santonien ..	30	0,70
Turonien supérieur	12	1,30
Turonien moyen	17	1,15
Turonien inférieur	17	2,86
Cénomaniens	2	31,05

Teneurs en insolubles des étages du Crétacé supérieur de l'Yonne.

Or, la teneur en insolubles correspond pour la quasi totalité à la proportion d'argile, la craie ne laissant, après attaque à l'acide, aucun résidu quartzueux et pratiquement pas de dépôt siliceux.

Le Sénonien, dans son ensemble, est donc représenté avec moins de 1 % d'argile par une craie très pure. Le Turonien supérieur et moyen est légèrement marneux (1,15 à 1,30 % d'argile). Le Turonien inférieur est, par contre, nettement marneux. Quant au Cénomaniens, il tranche nettement par sa teneur très élevée (31 %) et joue le rôle d'un véritable substratum imperméable de la masse crayeuse qui lui est superposée.

POROSITÉS.

Nous devons distinguer la *porosité totale* ou rapport exprimé en pourcentage du volume des vides au volume total et la *porosité efficace* qui fait intervenir le volume de l'eau gravifique au lieu de celui des vides.

Les mesures ont été effectuées au porosimètre de chantier, type I.F.P. pour la porosité totale sur

des échantillons de craie séchée à l'étuve et pour la porosité efficace sur des échantillons immergés pendant 24 heures, puis après le même temps d'égouttage en atmosphère humide. Les résultats sont donnés dans le tableau ci-dessous :

<i>Etages</i>	<i>Nombre d'échantillons</i>	<i>Porosité totale en %</i>	<i>Nombre d'échantillons</i>	<i>Porosité efficace en %</i>
Campanien inférieur ...	5	43	1	0,6
Coniacien et Santonien ..	8	40,6	1	1
Turonien supérieur ..	5	38,5	1	1
Turonien moyen	4	44	1	0,3
Turonien inférieur ...	7	37,5	1	0,5
Cénomaniens ..	2	30,5	1	0,6
Moyenne de la craie		39 %		0,66 %

Porosité totale et efficace des étages du Crétacé supérieur de l'Yonne.

L'étude critique de ces résultats montre :

— Une craie très poreuse appartenant aux niveaux du Sénonien et du Turonien moyen ;

— Une craie de porosité normale pour les niveaux du Turonien supérieur et du Turonien inférieur ;

— Enfin, une craie faiblement poreuse pour le Cénomaniens.

Quand on examine l'ensemble de la porosité totale de la craie, on constate qu'elle est très élevée, avec 39 % en moyenne.

Cette porosité totale ne semble pas en accord avec les observations sur les variations du niveau piézométrique des puits. En effet, considérons un puits situé sur le sommet topographique d'une colline coïncidant, par ailleurs, avec le sommet de la nappe à cet endroit. Les variations annuelles seraient égales au rapport des précipitations sur

$$\frac{P}{1000 \text{ mm}} = 2,500 \text{ mm, en supposant que toute l'eau}$$

s'infiltré. Or, les variations de niveau de tels puits

sont souvent 10 fois plus grandes, alors que seule une faible partie de l'eau tombée s'infiltré.

La détermination de la *porosité efficace* effective à l'échelle de l'échantillon au laboratoire peut prêter à critique car elle élimine le rôle de la fissuration et des cavités. C'est pourquoi elle a été contrôlée par une méthode qui intéresse toute la masse de craie constituant la roche magasin de l'horizon aquifère. L'étude des variations du niveau piézométrique de la nappe a donné une valeur moyenne de 2 % pour la porosité efficace.

DENSITÉ.

Les résultats des mesures de densité sur des échantillons séchés à l'étuve sont donnés par le tableau ci-dessous :

<i>Etages</i>	<i>Nombre d'échantillons</i>	<i>Densité moyenne</i>
Campanien supérieur ..	5	1,6
Coniacien et Santonien .	8	1,6
Turonien supérieur	5	1,69
Turonien moyen	4	1,55
Turonien inférieur	7	1,74
Cénomanién	2	2,07

Densité des craies des différents étages du Crétacé supérieur de l'Yonne.

Nous observons un classement analogue aux porosités totales ; Sénonien et Turonien moyen représentés par des craies légères, Turonien supérieur et inférieur par des craies moyennes, Cénomanién par une craie franchement dense (fig. 3).

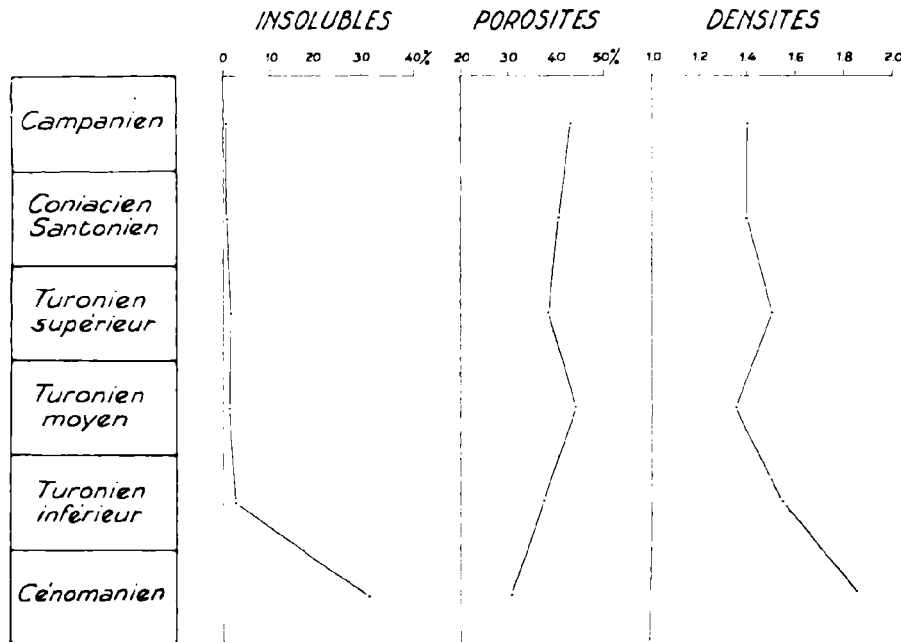


FIG. 3. — Insolubles, porosités, densités de la craie.

*
**

M. PATIJN remercie M. CASTANY et demande s'il y a quelques questions à poser sur sa communication.

M. POLVÊCHE s'étonne que dans l'étude du bassin de la Vanne, une place prépondérante ait été faite à l'étude de la macrofaune par rapport à celle de la microfaune. L'étude d'un ou deux fossiles de grande taille, qui le plus souvent sont des fossiles de faciès comme les Inocerames, lui semble moins convaincante que l'étude de l'ensemble d'une microfaune.

M. CASTANY remarque que le problème ne s'est posé que pour le Turonien inférieur.

M. BOLELLI souligne que l'étude du bassin de la Vanne fournit des résultats précis et a permis d'attirer l'attention sur le rapport qu'il peut y avoir entre les mesures de laboratoire et celles qui sont exécutées sur le terrain. Une comparaison analogue a pu être faite au Maroc sur un bassin de 40 km². Alors que les porosités totales mesurées au laboratoire sur un matériel de grès calcaires étaient de l'ordre de 29 à 30 %, le volume d'eau utilisable, mesuré sur le terrain, n'était que de l'ordre de 5 à 7 %. Cet écart entre la porosité totale et la porosité efficace est énorme mais du même ordre de grandeur que ceux qui ressortent de l'étude de M. MÉGNIEN.

M. LÉVÊQUE cite un autre exemple d'une étude faite au Maroc dans un bassin versant de 60 km² environ, composé de calcaires durs et compacts où la porosité n'est constituée que par des diaclases, en l'absence de tout karst. Le percement d'un souterrain de 10 km de long, à 150 m en dessous du niveau piézométrique, a permis de calculer que la porosité efficace du réseau de diaclase était comprise entre 0,7 et 1,2 %.

M. INESON signale que les valeurs de la porosité obtenues dans la Craie en Angleterre sont approximativement les mêmes que celles qui viennent d'être citées. La porosité décroît en outre de la partie supérieure de la craie à la partie inférieure.

M. RICOUR fait remarquer que les Anglais pensent que la diminution de porosités vers la profondeur serait due à la compaction. GOSSELET a depuis longtemps déjà signalé, dans le Nord de la France, une diminution de la porosité de la craie en profondeur. M. BONTE a étudié récemment (*Annales de la Soc. Géol. du Nord*, 1958, p. 183) ce phénomène sans toutefois l'expliquer par la compaction. La limite de perméabilité de la craie étant voisine de la cote 0, M. BONTE estime simplement qu'au-dessus de ce niveau aucune circulation n'a pu se produire et, de ce fait, la perméabilité y est pratiquement nulle.

M. PATIJN remercie M. CASTANY et donne la parole à M. LÉVÊQUE.

—————«»—————

Remarques sur quelques anomalies géotechniques de la craie

par P. LÉVÊQUE (1)

Les caractéristiques géotechniques de la craie constituent un sujet qui sort quelque peu de la ligne générale de ce colloque axé sur les « problèmes de la nappe de la craie ». Toutefois, certaines particularités pétrographiques et chimiques de ce matériau expliquent en partie des anomalies apparentes de son comportement dans la nature.

Ainsi, la *craie plastique* est bien connue des ingénieurs du Bassin parisien et du Nord. A quelques rares exceptions près, ils ne se risquent guère à fonder directement des masses lourdes et fragiles sur un tel terrain. Ailleurs, on connaît des *manifestations karstiques* dans la craie. Cl. MÉGNIEUX (1960) notamment, en décrit en détail dans la région des sources de la Vanne, dans l'Yonne. Au contact de l'eau, la craie est plastique sur quelques centimètres d'épaisseur.

Plasticité et résistance mécanique du type voûte — dans le cas du karst — sont deux aspects a priori contradictoires que nous allons tenter d'expliquer.

I. — SIMILITUDES ET DIFFÉRENCES EN LABORATOIRE ET EN AFFLEUREMENTS

« La craie, dit L. CAYEUX, est une vase à Foraminifères et à Coccolithes, essentiellement calcaire ».

En fait, on connaît des craies argileuses contenant 15 à 20 % ou plus d'insolubles dans l'acide dilué, ces derniers constitués en majeure partie de minéraux argileux. Nous ne parlerons pas de ces matériaux dont la plasticité éventuelle s'explique aisément.

Les craies à peu près pures, contenant 99 % de calcaire, ne sont pas rares et c'est sur de tels échantillons en provenance de RANGIPORT, dans la région de MANTES, que nous avons fait nos principaux essais. Les échantillons ont été prélevés soit dans des affleurements où figuraient des masses plastiques, soit dans des carottes de sondages ayant ren-

contré et traversé de telles masses à plus de 15 m de profondeur.

Les pourcentages en insolubles étaient de 0,3 à 0,7 %.

Ces échantillons ont donné des limites d'Atterberg comprises entre les chiffres suivants :

- *Limite de plasticité* : 13 à 16,5 %.
- *Limite de liquidité* : 18 à 24 %.
- *Indice de plasticité* : 5 à 7,5 %.

Ces derniers chiffres ne sont pas particuliers à la craie de Mantes et des résultats très voisins ont été enregistrés couramment dans divers laboratoires de mécanique des sols.

Done, la craie, matériau sans argile, réagit comme un matériau typiquement argileux, du moins dans le domaine des limites d'Atterberg.

Les chiffres ci-dessus représentent à peu près ce que l'on pourrait attendre d'un limon argileux contenant 15 à 20 % de minéraux argileux, montmorillonitiques par exemple. La densité est, en moyenne, de 1,5 à 1,6 et la porosité peut varier dans d'assez grandes limites, mais on observe souvent des valeurs comprises entre 40 et 50 %.

De telles valeurs sont à mettre en regard avec une argile silteuse, moyennement plastique, ayant un indice de plasticité de 20 % et une limite de liquidité de 30 %.

Si, dans le cas de l'argile, les grains étaient sphériques, de dimension uniforme et en contact, l'arrangement qui donnerait entre ces sphères le maximum de vides, en laisserait 92 % du volume des sphères. Le poids d'eau par rapport au poids

$$\text{des grains solides serait alors de } \frac{0,92}{2,7} = 34 \%$$

(2,7 étant le poids spécifique moyen du matériau argileux). Or, les limites de liquidité sont, bien souvent, supérieures à 34, d'où une forme non sphérique des grains, ce que l'on sait déjà.

(1) Ingénieur-géologue I.G.N.

Dans le cas de la craie, la limite de liquidité est, sur une vingtaine d'analyses environ, de 25 à 27 %, donc largement inférieure à la porosité. Les grains ne sont donc pas aplatis et, de plus, la craie ne manifeste pas de gonflement (1). Le phénomène d'adsorption d'eau dans la craie est donc d'une nature différente de celui de l'argile. Or, la craie se consolide (2) comme les matériaux argileux. La « consolidation par dessiccation » est également bien connue dans la craie, comme dans les argiles.

Les réactions en grand de la craie montrent un parallélisme aussi curieux.

Les affleurements crayeux présentent des analogies morphologiques étroites avec les régions marneuses : reliefs en général assez mous, notamment, mais en profondeur cette similitude disparaît car la craie donne lieu à des karsts, sujet trop bien connu pour s'y étendre ici.

Or, une galerie karstique, quelle que soit son origine, voire même sa forme, fait intervenir des contraintes qui sont incompatibles avec le caractère *fluent* d'un matériau — cas des argiles — car la galerie se refermerait si ce matériau ne possédait pas, à long terme, un module d'élasticité non négligeable (3).

II. — LA CRAIE, MATÉRIAU DE FONDATION

Les constructeurs soucieux d'établir des systèmes de fondation stables dans la craie, avec des tolérances de tassement minimes, font souvent appel aux faisceaux de pieux forés ou battus.

Les pieux battus sont les plus couramment utilisés. Or, il est fréquent de constater que les pieux s'enfoncent très facilement dans des masses de craie plastique et leur charge portante, calculée d'après des formules statiques ou dynamiques, apparaît, aussitôt après le battage, comme assez faible, d'où l'augmentation du nombre de pieux ou des prolongations de battage, dans l'espoir se rencontrer quelque horizon crayeux plus résistant.

(1) Dans les limites de précision déjà assez poussées des appareils courants de laboratoires.

(2) Au sens de K.V. TERZAGHI, c'est-à-dire qu'elle réagit à une charge, en expulsant de l'eau intergranulaire.

(3) On connaît toutefois de rares cas de cavités dans des matériaux argileux. Une consolidation très poussée ou une cohésion élevée peuvent être la cause de ces anomalies.

Aussi, les constructeurs voient parfois disparaître dans le terrain des mètres cubes de béton sous l'une de ses formes le plus coûteuses.

Il semble qu'un peu de patience suffirait à calmer certaines craintes. En effet, dans de nombreux cas, le rebattage effectué un à deux mois après le battage initial, met en évidence des portances nettement supérieures à celles constatées aussitôt après l'enfoncement du pieu.

Ainsi, à la Centrale des Ansercuilles (1), des pieux de 0,40 × 0,40 utilisés pour les fondations de certaines parties de l'usine, ont fait l'objet d'essais systématiques dont le tableau ci-dessous donne les principaux résultats :

Pieux de 0,40 x 0,40 Longueur et fichage	Portance en tonnes d'après la Formule des Hollandais	Portance réelle après un mois (en tonnes)
20 m dont 8 dans la craie	90	126 (3 ^m d'enfoncem.)
20 m dont 8 dans la craie	35	120 (3,5 ^m d'enfonc.)
16 m dont 4 dans la craie	25	90

Une telle augmentation de caractéristiques des pieux mérite que l'on s'y attarde et que l'on tente d'en rechercher les causes, ou tout au moins d'émettre quelques hypothèses.

Remarquons auparavant que ce phénomène est, dans l'ensemble, assez général, mais l'augmentation de portance est loin d'atteindre de pareilles proportions. L'explication de ce phénomène pourrait être recherchée, à notre avis, dans une modification minime mais suffisante, de l'état physique du matériau. En effet, l'introduction d'un certain volume de béton dans la craie a pour effet de créer, à proximité du pieu, une rupture du matériau, l'établissement brusque d'un gradient de pression de l'eau interstitielle (2) et une augmentation sensible de la densité.

Les deux premiers effets facilitent l'enfoncement du pieu, le troisième aurait tendance à le

(1) Renseignements aimablement fournis par MÉCASOL.

(2) ou « pore-pressure » des Anglo-saxons.

freiner. La création d'une « gaine » de craie à forte pression d'eau interstitielle paraît toutefois prédominante car cette eau joue le rôle de lubrifiant.

Une fois le pieu en place, le gradient de pression tend à s'abaisser avec une vitesse qui dépend de la perméabilité « en petit » du matériau. Or, cette perméabilité en petit est relativement faible, surtout dans une craie plastique, et les résultats d'expériences semblent montrer qu'une période d'un mois est nécessaire pour atteindre ce résultat.

Mais il doit intervenir d'autres effets. La recristallisation du « feutrage » de la craie doit également jouer un rôle. Cette recristallisation, qui est éminemment fonction de l'équilibre $\text{CO}_2 - (\text{CO}_3\text{H})_2\text{Ca} - \text{CO}_3\text{Ca}$ dans l'eau de constitution, doit être facilitée

par l'augmentation de pression et donc de densité, créée par l'introduction du pieu.

L'influence du CO_2 dans l'équilibre a pu être matérialisée lors de la formation de grumeaux crayeux à cristallisation hétérogène et assez lâche, dans une pâte assez fluide de craie malaxée avec de l'eau de gisement, après barbotage d'anhydride carbonique.

Cette dernière expérience pourrait donner lieu à des essais plus poussés et en manière de conclusion, il n'est pas interdit d'envisager des traitements localisés de craie plastique, par des injections à base de CO_2 , pour tenter, par exemple, d'accélérer la recristallisation de la craie à proximité des pieux.

*
**

M. PATLIN remercie M. LÉVÊQUE et demande s'il y a quelques questions à poser.

M. GANTOIS s'étonne qu'il y ait de la craie plastique aux Ansereuilles car, selon lui, s'il s'agissait de craie plastique, elle ne serait pas aquifère.

M. LÉVÊQUE n'est pas de son avis. Il y a dans la craie très souvent, et dans la région de Mantes notamment, des nodules de craie nettement plastique entourés par de la craie diaclasée. Cette craie plastique qui ne serait pas apparue au cours des sondages au trépan à sec, a pu apparaître au laboratoire dans des carottes intactes. Ces particularités, qui ont été constatées sur des échantillons provenant des Ansereuilles, nous paraissent naturelles car elles correspondent tout à fait à ce qui a été observé dans la vallée de la Seine.

M. PATLIN demande à M. MONTAGNE de faire son exposé.

— « —

Présentation d'un appareil pour mesurer l'ascension capillaire dans les calcaires

par P. MONTAGNE (1)

L'ascension capillaire de l'eau dans les calcaires se mesure commodément en remplaçant l'eau par la colonne de mercure équivalente. Sur la demande de M. RICOUR, un appareil a été étudié ; il permet d'effectuer cette mesure sur un échantillon de calcaire présentant une surface grossièrement aplanie d'environ 8×8 cm et dont la masse ne dépasse pas 1 kilo (1) (les carottes de sondage de diamètre 88/90 mm sont normalement utilisables). Le problème à résoudre était de trouver le moyen de délimiter facilement une cavité fermée très étanche comportant d'une part une face à peu près plane formée du calcaire à étudier et d'autre part un dispositif de mesure de pression facile à mettre en œuvre.

Description.

La chambre étanche C est formée d'un court cylindre de verre d'environ 60 mm de diamètre ; la partie qui s'adapte à l'échantillon de calcaire est terminée par une section plane perpendiculaire à l'axe du cylindre ; de l'autre côté, le cylindre est fermé par un robinet r_1 à voie de 3 à 4 mm, suffisant pour permettre le passage de bulles d'air. Ce robinet débouche d'autre part sur une chambre plus petite c comportant un robinet latéral r_3 suivi d'un rodage R_3 sur lequel un tube mesureur T (de 20 ou 50 cm³ et gradué en 1/10 ou 1/2 cm³) peut s'adapter facilement ; celui-ci servira au remplissage de l'appareil ; à l'extrémité opposée à r_1 se trouve un rodage R_2 auquel viendra se fixer le manomètre M terminé à la partie inférieure par une ampoule A servant de réservoir à mercure ; la chambre C comporte un appendice a qui permet, en isolant la petite quantité de mercure utilisée au moment du remplissage, de dégager entièrement la surface de l'échantillon ouverte à l'absorption (voir : Montage).

(1) Conseiller scientifique auprès du B.R.G.M.

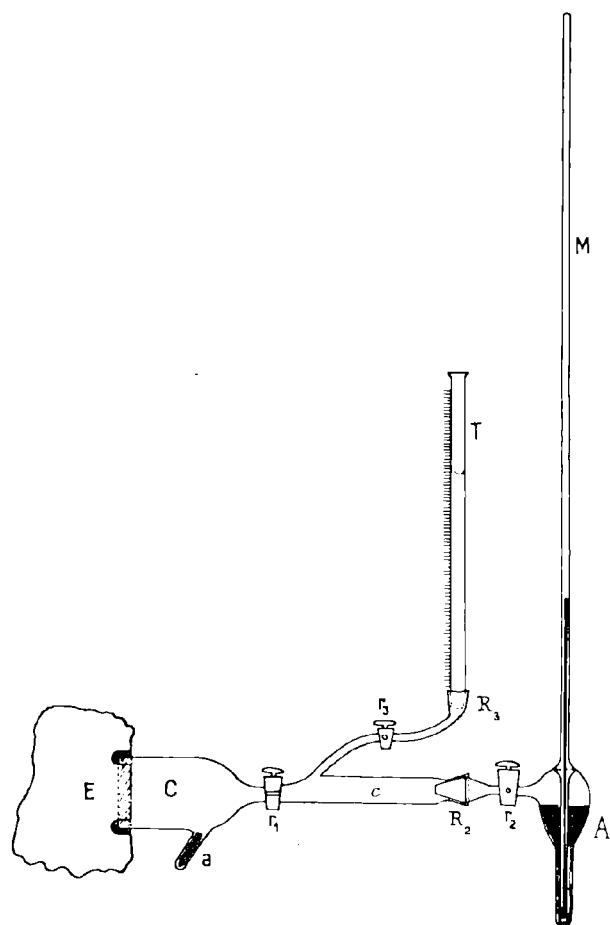
(2) Des essais seront faits en vue de réduire la valeur de la quantité de craie nécessaire pour obtenir des mesures correctes, sans cependant entacher d'erreurs les mesures.

Les robinets et les rodages sont légèrement enduits de graisse à robinets, pour assurer à la fois une bonne étanchéité de l'ensemble et un fonctionnement facile des robinets.

Le manomètre M est d'abord rempli de mercure, en prenant les précautions habituelle en pareil cas : évacuation soignée pendant que le tube T est chauffé avec la flamme éclairante du gaz. Une fois ce remplissage terminé, on remplit d'eau distillée récemment bouillie la partie supérieure de l'ampoule, jusqu'au robinet r_2 ; les variations de température ne risquent pas de faire éclater l'appareil tenu vertical puisque la chambre barométrique offre un espace à l'expansion des liquides.

L'échantillon E est creusé d'une rainure d'environ 10 mm de profondeur, avec une couronne diamantée (type BX) actionnée à la main. Pour assurer un bon contact du mastic fusible qui remplira cette rainure, celle-ci et la partie de la surface de l'échantillon entourant immédiatement la rainure vers l'extérieur sont badigeonnées de solution diluée de gélatine — colorée, pour être mieux aperçue, par une matière colorante quelconque — et l'ensemble est mis à sécher. On chauffe ensuite avec une petite flamme de gaz la rainure avant d'y couler le mastic de Golaz qui assurera la fixation de l'appareil (la partie de la chambre C qui sera emprisonnée dans le mastic est chauffée, elle aussi, pour assurer un contact parfait du verre et du mastic).

Il est nécessaire de disposer, en plus de l'appareil décrit, d'un dispositif d'évacuation : pompe à palette et pompe à vapeur de mercure ; comme le dispositif à évacuer fournira d'assez grandes quantités de vapeur d'eau, il est désirable que la pompe à palette puisse fonctionner en présence d'eau : ce qui écarte, nécessairement, toute autre utilisation pour cette pompe, qu'on doit choisir parmi les appareils déjà « bons à tout faire » du laboratoire. La canalisation qui joindra l'appareil au dispositif de pompage comportera le rodage indispensable pour s'adapter sur R_2 .



Montage.

L'échantillon ayant donc été fixé par du mastic à la chambre C, on verse quelques gouttes d'eau sur la surface de l'échantillon, et celui-ci ayant été mis à plat (cette eau a pour but d'obturer les pores de la face de calcaire enfermée dans C et d'arrêter les bulles d'air quand on fera le vide en C) on en recouvre la surface de mercure pour l'isoler complètement de l'eau qui sera ensuite versée pour remplir C. Cette eau, très récemment bouillie et refroidie, doit être le plus possible exempte d'air. On met en place la canalisation mobile reliant le rodage R₂ au groupe de pompage, et on évacue les bulles qui se forment sur les parois, en facilitant au besoin leur départ par un léger chauffage extérieur de la paroi de G, de l'air étant adsorbé par le verre.

En répétant plusieurs fois pompage et chauffage de l'appareil, on arrive à faire disparaître toute trace notable d'air sur les parois de G et on obtient une chambre remplie d'eau désaérée ; fermant alors r₁, on déconnecte l'appareil plein d'eau (r₃ fermé) du groupe de pompage et on adapte en R₂ le manomètre M lui aussi rempli d'eau désaérée.

En redressant l'échantillon pour mettre horizontal l'axe de la chambre et loger le mercure dans l'ampoule a, on peut commencer les mesures d'absorption de l'eau ; si le tube mesureur T est mis en place et r₃ ouvert, on peut mesurer la vitesse d'absorption sous la pression normale ; si le robinet r₃ est fermé et que le manomètre soit en place, robinet r₂ ouvert, la mesure de la dépression dans la colonne M permet de suivre l'absorption sous pression décroissante.

Mesures.

Le robinet r₃ restant fermé, on peut tracer la courbe de la diminution de la pression dans la chambre en fonction du temps. On observe, pour les calcaires à grain fin, une diminution régulière de la pression jusqu'à l'apparition de bulles de vapeur d'eau dans la chambre C, ce qui correspond à une pression intérieure de quelques millimètres de mercure seulement.

Cette vitesse d'absorption paraît au premier abord indépendante de la pression : ceci laisserait penser que la hauteur de rétention de l'eau dépasserait largement 10 m : cependant, aucune mesure ne peut être faite au delà de 10 m d'eau. Des mesures précises sont prévues pour tâcher d'éclaircir la question.

En ce qui concerne l'ordre à suivre dans les mesures sur échantillons volumineux, il est avantageux de mesurer d'abord l'absorption sur eau désaérée (pour obtenir la pression limite la plus basse que peut fournir le calcaire avant de mesurer l'absorption sous la pression normale car celle-ci se fait nécessairement sur une eau en contact avec l'air et ayant donc dissous plus ou moins d'air).

Des essais d'absorption exécutés avec un calcaire grossier ont montré également une descente de la colonne mercurielle ; mais assez rapidement, des bulles d'air ont pénétré dans la chambre, stabilisant ainsi le mercure à une valeur inférieure de quelques centimètres seulement à la position habituelle : la chambre n'étant plus étanche, les mesures n'ont plus de sens.

L'expérimentation va être poursuivie sur les échantillons remis par M. RICOUR.

* * *

M. PATJN remercie M. MONTAGNE et passe la parole à M. INESON.

Contribution à la discussion sur l'« Etude du réservoir »

par Jack INESON (1)

Mes collègues et moi-même, à la Section hydrogéologique du Service géologique de Grande-Bretagne, étudions l'hydrologie des nappes souterraines en Angleterre et au Pays de Galles. Nous disposons d'un grand nombre de données qui ont été recueillies au cours des cent dernières années.

Les problèmes posés par l'étude de la Craie sont essentiellement les mêmes dans le Sud et l'Est de l'Angleterre que dans le Nord de la France. Cependant, dans le Nord de l'Angleterre, la craie est légèrement différente du point de vue lithologique. Les principes généraux de l'hydrologie souterraine peuvent s'appliquer à l'étude de la nappe de la craie malgré son caractère strict de système fissuré.

Nos principaux problèmes en ce qui concerne la craie sont :

- 1° l'analyse des données fondamentales ;
- 2° l'évaluation des disponibilités en eau souterraine et de l'effet de prélèvements nouveaux ;
- 3° un travail de recherche lié à une compréhension plus complète des conditions hydrogéologiques et des venues d'eau souterraine dans la nappe de la craie.

Les problèmes sont donc communs à tous les hydrogéologues qui étudient la craie en Angleterre et en France.

Il n'est pas possible, pendant le présent colloque, d'exposer notre travail dans le détail, mais j'espère être capable, au cours des séances, de donner quelques indications sur les méthodes que nous utilisons et quelques-uns des résultats que nous avons obtenus ; dans la mesure où ils se rapportent aux présents débats.

En Angleterre, tous les forages d'alimentation en eau réalisés dans la nappe de la craie sont

exécutés au trépan au câble et il n'est pas possible d'étudier la roche intacte. Les échantillons de craie obtenus par cette méthode étant souvent peu satisfaisants, l'identification des couches traversées par le forage est très difficile. En conséquence, les corrélations entre les divers ouvrages sont souvent sujettes à caution.

Pour résoudre ce problème, on a utilisé le carottage électrique, surtout dans les forages emplis d'eau claire. On a pu mettre en évidence des couches dont les résistivités sont assez caractéristiques pour qu'elles puissent être identifiées dans d'autres forages. Ces couches se rencontrent dans le Cénomaniens et le Turonien, et il paraît probable que de semblables couches repères existent dans le Sénonien.

La corrélation de tels horizons fut d'abord confirmée localement en des endroits où plusieurs ouvrages avaient été réalisés. Les mesures, accomplies dans des ouvrages emplis d'eau, ont été étendues le long des affleurements et sous la couverture des formations tertiaires sus-jacentes. Il apparut bientôt qu'on pouvait identifier certains horizons nettement définis qui s'étendent sur de vastes étendues dans le bassin de Londres. Pour une raison de commodité, on désigna ces « horizons repères » par des lettres dans l'ordre alphabétique.

Par exemple, dans deux puits distants de 26 km, la couche « D » représente les Marnes à *Actinocamax plenus* au sommet du Cénomaniens. Les couches « E » et « F » se trouvent dans l'horizon de la « Melbourn Rock », à la base du Turonien. Il est probable que la couche « J » représente une marne au sommet de la zone à *Terebratulina lata* et que les couches supérieures dont la résistivité est élevée sont situées dans la zone à *Holaster planus*. Ces couches sont particulièrement nettes dans les profils électriques de la craie.

La méthode a été appliquée avec succès dans le Sud et l'Est de l'Angleterre, Kent compris. Dans

(1) Service géologique de Grande-Bretagne. Section hydrogéologique.

le Nord-Est de l'Angleterre, la corrélation entre les forages est encore possible mais les caractéristiques des couches sont différentes.

L'allure structurale de certains horizons de la craie a été définie à partir de logs électriques sur des surfaces restreintes. On entreprend actuellement de les étendre à des zones plus vastes. L'intérêt particulier de la méthode réside en ce qu'elle permet de compléter un log électrique en l'espace de quelques heures, tant dans les nouveaux forages que dans les anciens. Lorsqu'on réalise un ouvrage jusqu'à un horizon défini, il est relativement facile

d'exécuter le carottage électrique entre les passes de forage pour s'assurer que l'horizon aquifère défini est complètement traversé. L'appareil actuellement en usage est constamment transportable et a été conçu de façon que les mesures de résistivité électrique apparente puissent être prises avec différentes dispositions des électrodes et avec une distance variable entre celles-ci. On utilise un câble à conducteurs multiples.

Les résultats préliminaires de cette recherche ont déjà été publiés (D.A. GRAY, *Bull. geol. Survey Great Britain*, n° 15, pp. 85-89).

*
**

M. PATIGN demande si des prospections géophysiques de surface ont été essayées.

M. INESON répond par l'affirmative mais précise que les résultats n'ont pas été satisfaisants sur le plan de l'hydrogéologie. Elles peuvent par contre mettre des structures en évidence.

M. RICOUR souligne l'intérêt des renseignements fournis par M. INESON : « En France, nous sommes gênés par le gros diamètre (600 mm) des forages de la craie. Un matériel électrique léger est peu efficace dans de tels ouvrages et le déplacement d'un matériel lourd est trop coûteux par rapport au prix de revient total du forage. Il serait intéressant de connaître le matériel employé par le Geological Survey ».

M. INESON répond que le même appareillage a été utilisé dans des ouvrages de diamètre différent. Les résultats changent en valeur absolue mais restent comparables. Il est d'ailleurs possible d'adapter l'appareillage en faisant varier l'espacement des électrodes. Les mesures sont toujours faites lorsque l'ouvrage est plein d'eau. Lorsqu'il est rempli par de la boue, le résultat est mauvais.

M. SIGAL signale que dans les forages de reconnaissance de la région parisienne, réalisés par PETROREP, les corrélations dans la craie jusqu'au Cénomaniens ont été réalisées d'une façon satisfaisante à la fois par carottage électrique et micropaléontologie.

M. PATIGN déclare close la première séance du colloque.

—————«»—————

Corrélations dans la craie du Bassin de Paris Périmètre de Dammartin-en-Goële

par J. SIGAL (1) et M. DARDENNE (2)

(Pl. XIII, XIV et XIV^{bis})

Introduction.

L'étude du Crétacé supérieur du Bassin de Paris peut apporter des informations à caractères économiques concernant : l'hydrogéologie et la recherche à faible profondeur de structures pouvant, à certains niveaux plus anciens, constituer des pièges à hydrocarbures. Ces travaux ne sont possibles qu'en fonction de corrélations valables dans la masse de la craie sénonienne ; les repères utilisés doivent, par conséquent, avoir l'extension géographique la plus grande possible.

Les géologues des différentes disciplines se heurtent à ce problème délicat.

La micropaléontologie, sur cuttings, est soumise aux difficultés de prélèvements et les corrélations électriques des termes les plus récents se fondent souvent sur la présence de bancs de silex qui ne présentent pas toujours la constance stratigraphique désirable.

Nous avons essayé de mettre en parallèle ces deux techniques dans le périmètre de Dammartin-en-Goële de la Société Pétrorep. Les différents marqueurs électriques, repérés stratigraphiquement par des renseignements ponctuels dus à la microfaune, sont suivis sur deux coupes, sensiblement orientées NE - SW et NW - SE.

Nous remercions respectueusement les Directions générales de Pétrorep et de l'Institut français du pétrole qui ont bien voulu permettre cette publication.

Les tableaux de corrélation ne sont que la synthèse des travaux de toute l'équipe des géologues de Pétrorep, qui à ce titre participent pour une

grande part à ce travail, qu'ils en soient amicalement remerciés ici.

I. — Corrélations par marqueurs électriques.

Les limites d'étages, Turonien - Cénomanién, Cénomanién - Gault et Gault - Sables Verts, qui mettent en contact des formations de faciès différents, peuvent évidemment se suivre très facilement sur les carottages électriques. De plus, l'étude de J. Sigal précise paléontologiquement le contact Turonien - Cénomanién.

Par contre, le contact Sénonien - Turonien s'avère beaucoup plus ambigu et ici l'utilisation d'un marqueur constant dans la zone supposée du contact est nécessaire. Les corrélations qui suivent sont exposées à titre d'exemples de la méthode.

A) COUPE NW - SE (voir plan de position).

Partant de l'axe de l'anticlinal du Bray, plus précisément du sondage de Fosses n° 1, elle s'oriente SE jusqu'à Meaux, puis à partir du sondage MB 1 oblique plein Est jusqu'à MB 6.

Au-dessus du contact Sénonien - Turonien, il est possible dans la partie occidentale de suivre quatre marqueurs constants : A.B.C.D. Le repère le plus récent — D — semble disparaître à l'Est entre MT 1 et MB 6, mais il est relayé à partir de VY 1 par E qui lui n'existe pas plus à l'Ouest.

Il est d'ailleurs évident que dans les intervalles entre ces corrélations, d'autres niveaux peuvent être suivis avec plus ou moins d'extension latérale.

B) COUPE NE - SW.

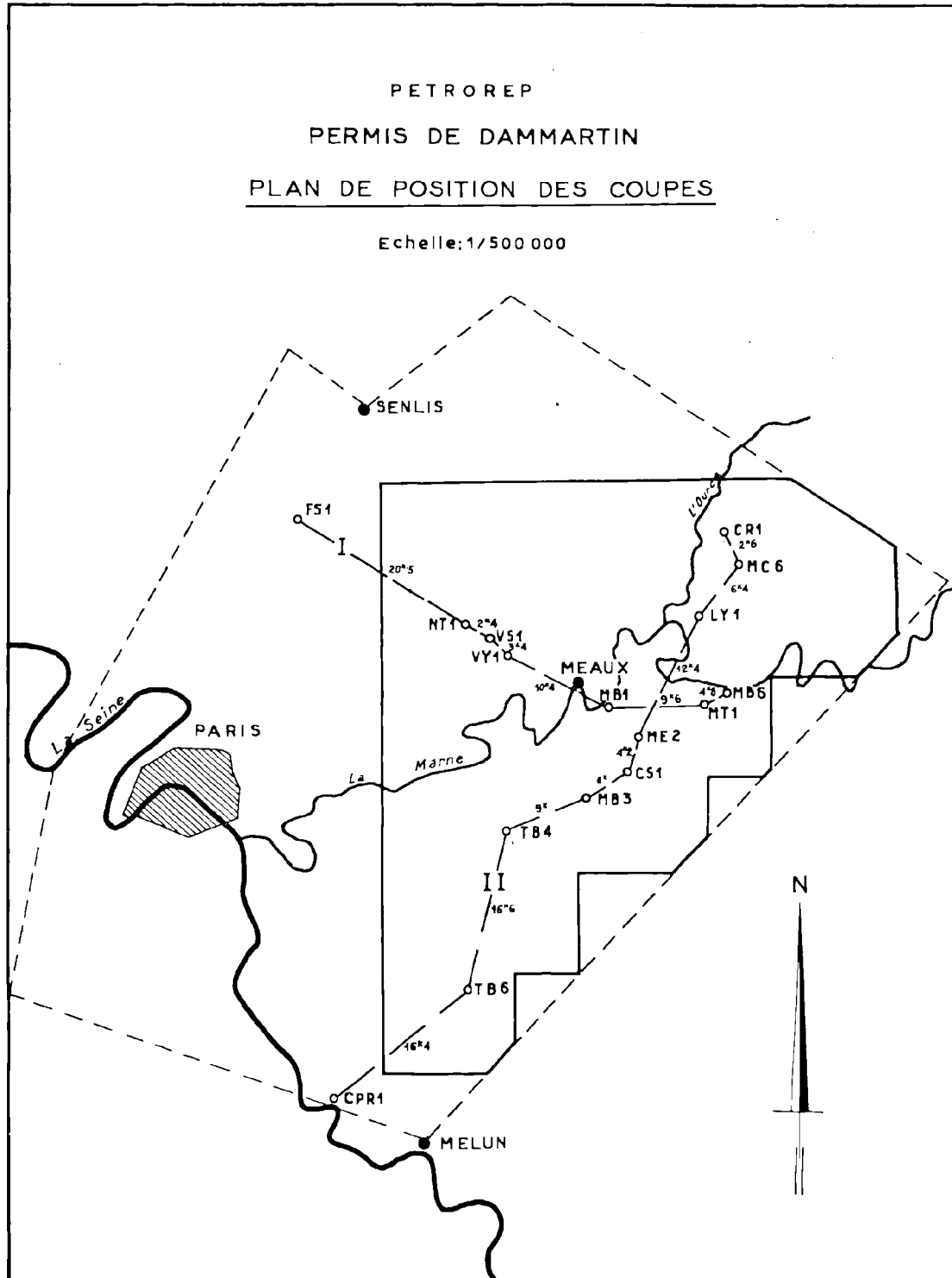
Le repère A, situé immédiatement sur le contact Sénonien - Turonien, se retrouve dans toute la

(1) Institut Français du Pétrole, Rueil-Malmaison (Seine-et-Oise).

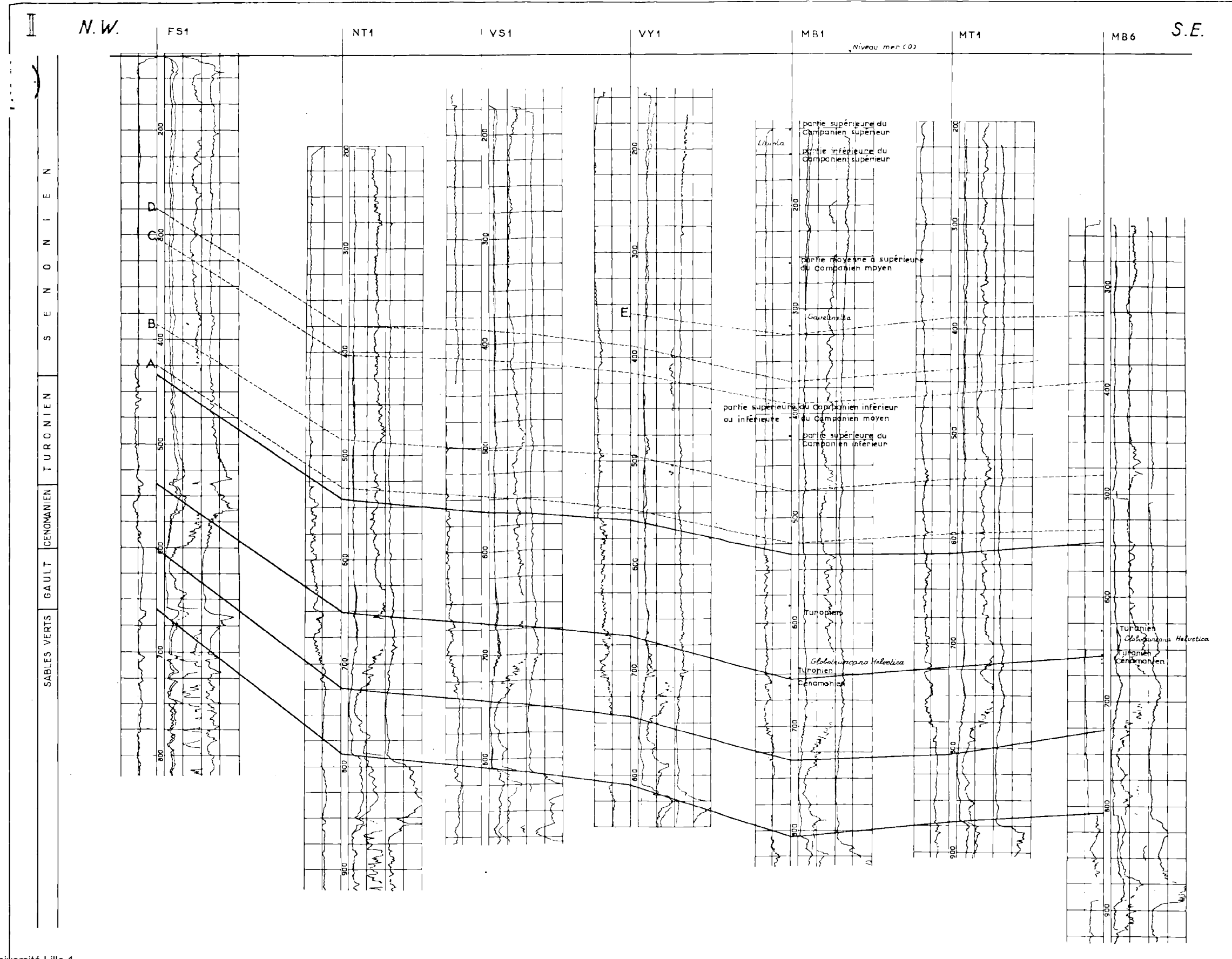
(2) Société PETROREP, Nanteuil-les-Meaux (Seine-et-Marne).

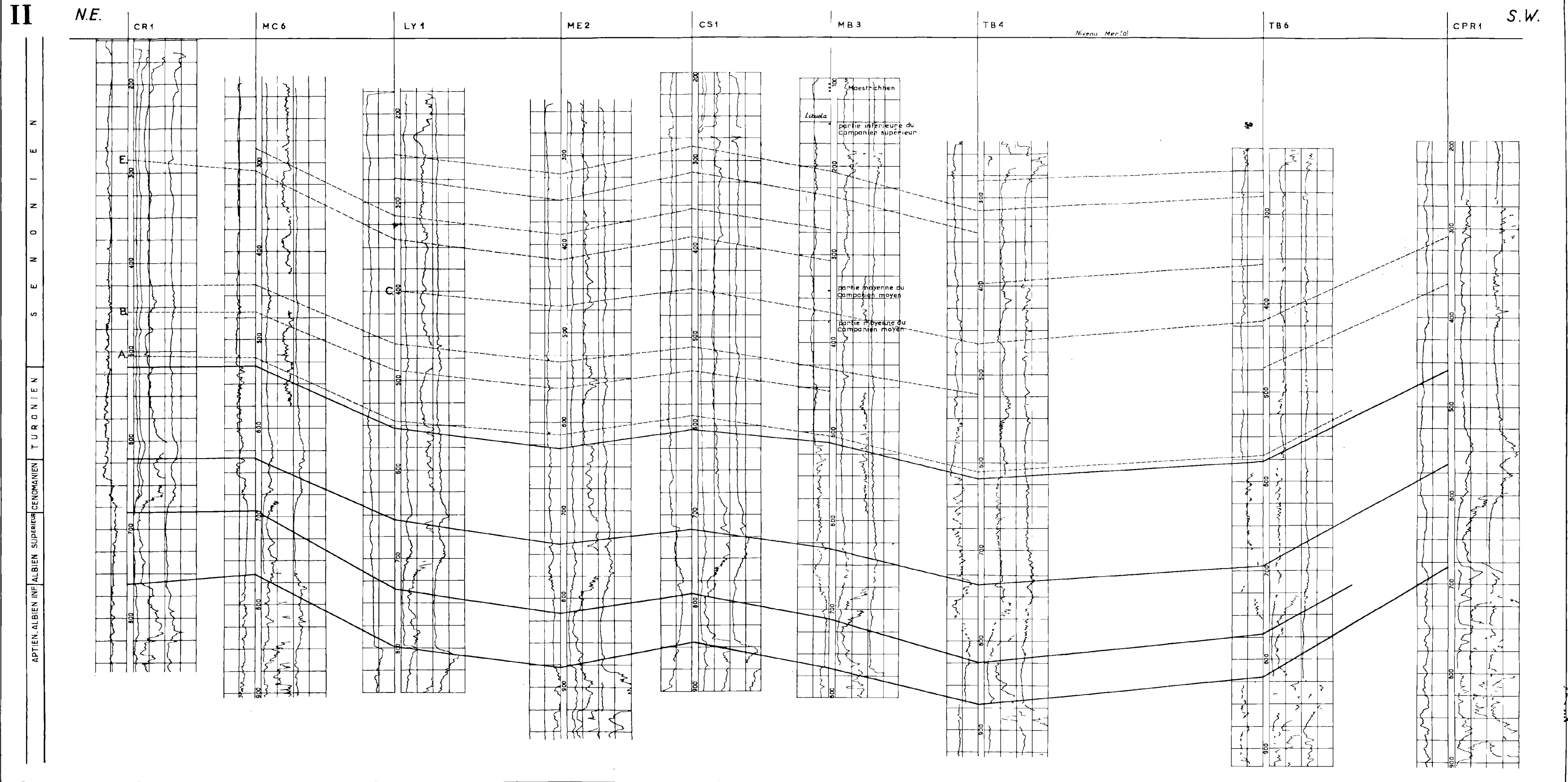
PETROREP
PERMIS DE DAMMARTIN
PLAN DE POSITION DES COUPES

Echelle: 1/500 000



A 1466





coupe, sauf dans le sondage CPR 1, au Sud. La zone centrale, entre MC 6 et TB 4, s'avère riche en corrélations possibles, le niveau D paraissant toutefois difficile à repérer. Au Nord, seul A.B.E. passent sans ambiguïté, alors que l'extrémité Sud ne se raccorde que par deux niveaux particuliers.

II. — Corrélations micropaléontologiques et calage des repères.

L'intervention des données de la micropaléontologie relève de deux points de vue : établissement de données ponctuelles chronologiques, recherche de formes ou d'associations-repères.

L'application dans le cas des sondages au Portlandien dans ce qui devait être le champ pétrolier de Coulommès a été envisagée différemment ; dans les 2-3 premiers forages : pouvoir localiser l'endroit où l'on se trouvait à une profondeur donnée, en attendant que les enregistrements électriques soient en nombre suffisant pour établir des corrélations valables ; dans tous les forages : pouvoir prévoir, avant que les logs électriques soient enregistrés, l'entrée dans le Cénomaniens et déjà orienter éventuellement vers de nouveaux emplacements de core-drills. Cette application de la méthode était techniquement limitée par le fait que seuls des cuttings étaient à la disposition du micropaléontologiste.

a) LES DONNÉES CHRONOLOGIQUES PONCTUELLES.

Le nombre des espèces à retenir, dans cette optique, dans la craie est peu élevé : certes les associations sont riches, mais leur relai est trop progressif ; considérant alors les espèces dont la variation serait susceptible de répondre à l'objectif envisagé, l'on se trouve assez vite limité : les formes pélagiques, les *Globotruncana* en particulier (à une exception près, ou parfois par une estimation quelque peu subjective de leur degré d'évolution) n'offrent pas, dans les faciès de la Craie, les mêmes ressources que dans les faciès mésogéens ; il a semblé, à l'expérience, que le mieux était de s'adresser au genre *Bolivinoïdes*, genre dont la variabilité a été analysée en grand détail dans la Craie allemande (1).

1) HILTERMANN H. et KOCH W. — Taxonomie and Vertikalverbreitung von Bolivinoïdes. Arten in Senon Nordwertdeutschlands. *Geol.* 1b, 64, 1960.

Les principales indications données par les espèces de ce genre, en particulier *Bolivinoïdes decorata decorata*, ont été portées (« partie moyenne du Campanien moyen » par exemple) sur les logs des trois forages intéressés par les deux profils (seuls en effet, les sondages MB 1 à 6 avaient été, en leur temps, étudiés). Il ne faut cependant pas être victime d'une précision à première vue très grande, ces indications correspondent à la date fournie en réalité en des points où l'abondance et la signification des formes rencontrées avaient été jugées suffisantes. Elles suggèrent qu'en suivant de tels forages, et en étudiant les cuttings de manière systématique, l'on est en droit d'attendre quelque précision.

b) LES FORMES OU ASSOCIATIONS-REPÈRES.

Nous avons bien entendu cherché à retrouver de tels éléments parmi ceux dont nous connaissons la valeur par d'autres études où une valeur pouvait être attendue à l'échelle locale.

C'est ainsi que l'apparition (dans le sens du forage) de *Lituola nautiloidea* a pu nous servir ; c'est une espèce connue plus haut, mais, dans ces forages, elle n'existait pas dans les premiers mètres de craie rencontrés et son apparition se localisait apparemment dans la partie moyennée du Campanien supérieur, alors qu'au-dessus se trouvait représentée la partie supérieure du même Campanien et même, comme on va le voir, sans doute du Maestrichtien.

Plus bas, nous nous sommes attachés à rechercher une espèce non décrite du genre *Gavelinella* (dénommée 104) ; elle est « annoncée » (dans le sens du forage) par des formes moins coniques et moins ornées ; la zone où elle se rencontre typique s'étale, ainsi qu'on a pu le voir sur les forages corrélés ensuite électriquement, sur une trentaine de mètres, dans la partie moyenne du Campanien moyen.

Au bas de la Craie, l'espèce mésogéenne, *Globotruncana helvetica*, caractéristique du Turonien moyen à Coniacien bas, se rencontre, autant que nous le sachions, dans le Bassin de Paris au bas de sa biozone totale théorique. Elle a été reconnue dans plusieurs forages.

Les associations ou les changements d'associations peuvent acquérir une valeur. C'est ainsi qu'en un forage (MB 3) les premiers mètres de la Craie

ont donné une association différente et qui représente probablement du Maestrichtien (1). Il est vraisemblable que le repérage de la limite entre cette association et l'association sous-jacente pourrait avoir quelque valeur; dans les quelques autres forages étudiés, nous ne l'avons pas rencontrée, peut-être par manque de cuttings (MB 4), peut-être aussi parce que ce niveau le plus supérieur n'existe que dans des hauts du paléorelief qui a été enterré par les déblais de la craie et les formations à *Microcodium* du Tertiaire inférieur.

Tout en bas de la formation intéressée par le présent Congrès, la limite Turonien - Cénomaniens correspond sans doute exactement ou à peu de choses près à un changement de faune manifeste. Toujours est-il que dans tous les forages nous voyons au bas du « Turonien » (étage déjà lui-même très particulier par la rareté de la microfaune comparativement au Sénonien) apparaître une variété de la *Gavelinella aumalensis* au milieu de Globigérines de grande taille, puis ces espèces se poursuivent mais accompagnées de formes telles que *Rotalipora turonica*, *Gavelinella* sp. (à crête périombilicale), *Arenobulimina* sp. (à structure interne); dans les différents forages étudiés, nous avons pu jalonné ce relai à quelques (4 à 8) mètres près.

Il n'est pas exclu enfin que des *données quantitatives* puissent apporter des précisions utiles. C'est ainsi par exemple que nous avons pu caractériser la base du Turonien par une courbe de maximum de fréquence des « Fissurines », apparues timidement d'abord vers la base extrême du Sénonien (comme l'ont montré quelques clabs). Mais il est à peu près hors de doute que de telles données quantitatives (et les fissurines en particulier) ont des chances de ne présenter une valeur qu'à une échelle locale. Il nous a semblé que l'on aurait aussi pu faire appel à la variation de la fréquence des rhomboédres de dolomie.

e) CONCLUSION.

Le but à atteindre (qui obligeait à une recherche de repères haut-placés dans la Craie afin de

renseigner sur les prévisions de forage le plus tôt possible après l'entrée dans celle-ci), le fait qu'une seule personne avait à suivre des forages qui pénétraient rapidement dans cette formation, la disponibilité de seuls cuttings, inciteront le lecteur à pardonner un aspect un peu squelettique de l'étude exécutée dans le cadre de la Craie de Coulommès. Mais les éléments exposés ci-dessus, certes peu nombreux, ne sont qu'une partie des possibilités qu'offre une étude détaillée de la Craie.

On peut ajouter que, si ces datations sont valables, on aboutit, géologiquement parlant, à la mise en évidence d'un reste de Maestrichtien probable, d'un Campanien très épais, puissant de plus de 300 mètres (car du Campanien existe encore dans les 120 mètres qui correspondent à l'Emschérien, Granulaten et Quadraten-Senon allemands), d'un Turonien épais relativement d'au moins 120 mètres.

III. — Conclusions sur les méthodes.

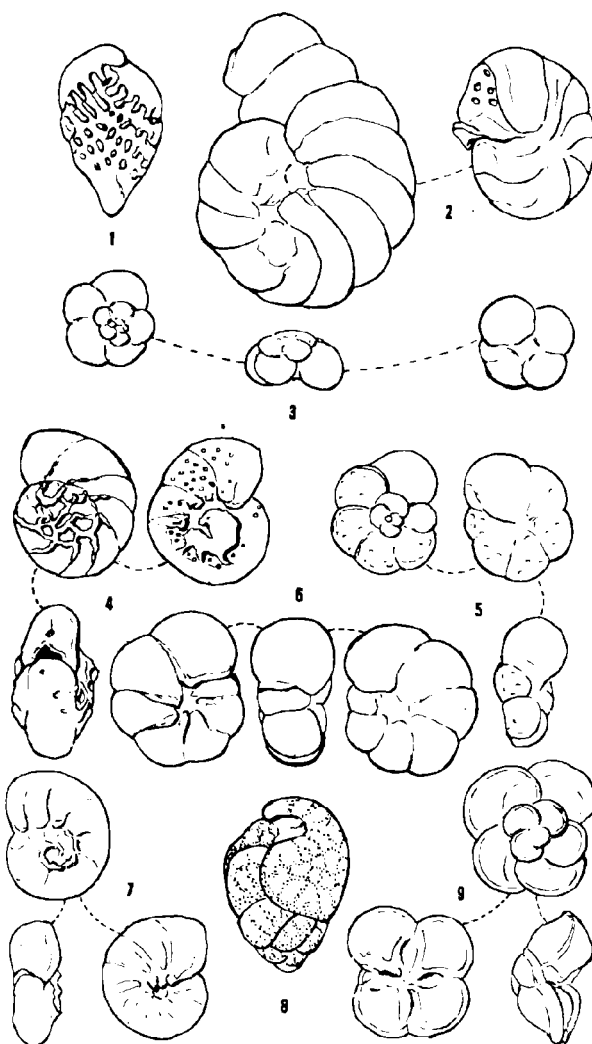
Comme toujours, la nécessité de superposer les méthodes s'impose. Les coupures d'étages fondées sur les seules données du carottage électrique peuvent conduire à une interprétation stratigraphique erronée. Les variations de P.S. ou de résistivité ne doivent être utilisées que pour rattacher des forages n'ayant pu fournir d'arguments paléontologiques à d'autres puits où les repères électriques sont valablement « calés ».

Par contre, l'extension des marqueurs électriques compense les lacunes micropaléontologiques. En effet, il n'existe pas, à notre connaissance, pour la micropaléontologie de la Craie de « vrais repères » (c'est-à-dire de repères répondant à la grande précision demandée pour l'établissement des corrélations et des cartes structurales qui en découlent) qui gardent leur valeur sur des surfaces suffisamment étendues.

Mais des études de premier détail doivent permettre de trouver des repères à l'échelle du champ, et des études de grands détails doivent permettre d'établir des relais de proche en proche.

Une stratigraphie détaillée nécessaire aux besoins économiques ne peut être que le fruit de la collaboration d'un grand nombre de chercheurs qui garderont présente à la mémoire, la fable de l'aveugle ou du paralytique.

(1) Divers auteurs. — Les Foraminifères et le Crétacé supérieur français. Mise au point et données nouvelles. (84^e Congrès des Sociétés Savantes, Dijon, 1959, en particulier Partie VI, p. 646-647).



LEGENDE DE LA PLANCHE

- | | |
|--|---|
| 1. <i>Bolivinoïdes decorata decorata</i> (JONES); forage Pétrorep MB 2, 176 m; $\times 50$. | 6. <i>Gavelinella aumalensis</i> SIGAL. var.; St-Parre-aux-Tertres, Est de Troyes; $\times 50$. |
| 2. <i>Lituola nautiloïdea</i> (Lmk); Meudon; $\times 17$. | 7. <i>Gavelinella</i> « à crête périombilicale »; forage Charbonnages Milly-lès-Doullens, 86 m; $\times 40$. |
| 3. « grosse » Globigérine; forage Pétrorep MB 4, 749 m; $\times 55$. | 8. <i>Arenobulimina</i> « à structure interne »; Mont Arrelet, près St-Florentin; $\times 27$. |
| 4. <i>Gavelinella 104</i> n. sp.; forage Pétrorep MB 5, 391 m; $\times 50$. | 9. <i>Rotalipora turonica</i> BROTZEN; forage Charbonnages Milly-lès-Doullens, 86 m; $\times 55$. |
| 5. <i>Globotruncana helvetica</i> BOLLÉ; forage Pétrorep MB 6, 632 m; $\times 70$. | |

DEUXIÈME THÈME

Dynamique de la nappe

ECOLE TECHNIQUE DES MINES DE DOUAI

Vendredi 20 mai 1960 (après-midi)

Présidents : MM. MARLIÈRE et INESON

Rapporteur : M. G. WATERLOT

La dynamique de la nappe aquifère de la craie a été examinée dans six notes qui traitent de sujets différents mais dont les conclusions montrent que les faits relatés présentent un intérêt général.

Une fois de plus, les zones riches en eau souterraine sont mises en évidence. La note de M. R. KARPOFF (Dynamique de la nappe de la craie à Aubergenville (S.-et-O.), en aval de Paris) indique que, sous les alluvions de la Seine, la craie renferme une nappe puissante dans sa partie supérieure où la roche est bien mieux diaclasée qu'en profondeur. On retrouve la même idée en ce qui concerne le Nord de la France (note de MM. E. LEROUX, J. RICOUR, G. WATERLOT : La surface piézométrique de la nappe de la craie du Nord de la France ; ses variations naturelles et artificielles. Les diverses zones de perméabilité).

Dans la région en aval de Paris (note de M. KARPOFF), la craie est surtout perméable là où elle a été dégagée par l'érosion de sa couverture tertiaire ; sous les plateaux, elle n'est guère diaclasée et se trouve ainsi être pauvre en eau souterraine. Elle est aquifère dans l'axe et au voisinage de l'axe des vallées qui sont des lieux privilégiés pour l'obtention d'eau souterraine. Une conclusion semblable ressort de la note de M. Claude MÉGNIEUX (Caractères hydrologiques de la craie de l'Yonne) et de celle de MM. E. LEROUX, J. RICOUR et G. WATERLOT sur la nappe de la craie du Nord de la France, pour laquelle l'établissement d'une carte avec courbes piézométriques indique les secteurs particulièrement bien alimentés en eau : en bordure des vallées (région de Lille avec la Haute-Deûle) et à la lisière des terrains tertiaires (régions de Saint-Omer et de Douai-Valenciennes).

Alors que l'on parle beaucoup des abaissements du niveau des nappes aquifères, il était intéressant d'en étudier les variations. Celles-ci sont de deux types : naturelles et artificielles. Les variations naturelles peuvent être saisonnières ; le relèvement de la nappe s'opère en février-mars dans le Bassin de Mons (note de M. R. MARLIÈRE : Quelques aspects de la circulation de l'eau dans la craie du Bassin de Mons) et un peu plus tard dans le Nord de la France avec maximum en mai tandis que le minimum s'observe vers le mois de décembre (note de MM. E. LEROUX, J. RICOUR, G. WATERLOT). En outre, les variations peuvent être cycliques et s'étendre sur un groupe d'années (même note). Malgré ces diverses fluctuations, le niveau moyen de la nappe de la craie reste inchangé depuis le début du siècle aussi bien dans le nord du Bassin de Mons, peu sollicité (note de M. R. MARLIÈRE), que dans les régions agricoles et non industrielles du Nord de la France (note de MM. E. LEROUX et autres).

Les variations artificielles sont dues à des influences extérieures qui peuvent avoir d'importantes conséquences sur le niveau de la nappe. Le déhouillement des terrains sous-jacents à la craie peut avoir une action sur la nappe dont le fléchissement atteint une valeur de l'ordre de 5 m dans la zone est du Bassin de Mons (note de M. R. MARLIÈRE). D'une façon plus générale, ce sont surtout les pompages industriels qui entraînent un abaissement des plans d'eau ; celui-ci atteint près de 4 m dans la zone sud du Bassin de Mons (note de M. R. MARLIÈRE). Du fait que les pompages sont nettement excessifs dans certaines régions, l'abaissement devient permanent dans les zones industrielles du Nord de la France (note de MM. E. LEROUX, J. RICOUR, G. WATERLOT) et même continu dans certaines parties de la Grande-Bretagne (note de M. J. INESON : Observations sur l'interprétation de la dynamique de l'écoulement de l'eau souterraine dans la craie d'Angleterre). Par suite de cette surexploitation, la réalisation des forages en Grande-Bretagne est soumise à une autorisation préalable, comme dans certaines régions françaises dont le Nord de la France, et on étudie même la réalimentation de la nappe de la craie.

L'examen des niveaux d'eau et de leurs fluctuations permet actuellement de localiser les courants d'eau souterraine et de déterminer les zones critiques où la nappe est surexploitée.

Une dernière influence, au contraire bénéfique, est signalée par M. KARPOFF dans la nappe de la craie en bordure de la Seine. Normalement, la nappe s'écoule en direction de la Seine qui la draine, ce qui est le cas général des nappes souterraines en bordure des rivières. Mais lors des crues du fleuve, l'inverse se produit et la Seine alimente la nappe, tout au moins dans les zones situées à son voisinage.

En ce qui concerne la quantité d'eau météorique qui arrive à s'infiltrer dans le sol et à atteindre la nappe aquifère, on adopte souvent des chiffres conventionnels. L'étude de la nappe de la craie de l'Yonne permet à M. Cl. MÉGNIEUX de présenter des valeurs plus précises. En se basant sur les résultats de six années consécutives, il considère que l'infiltration moyenne annuelle de l'eau de pluie dans la nappe de la craie est de 15 % pour un ruissellement de 17,5 % et une évapotranspiration de 67,5 %.

La question de l'effet de l'acidification des forages est envisagée par M. BERKALOFF qui est d'avis que cet effet ne se maintient pas intégralement au cours des années mais diminue peu à peu, le débit des ouvrages restant toutefois supérieur à ce qu'il était avant l'acidification. L'idée est discutée par les membres présents au colloque qui admettent que l'effet est toujours bénéfique quoique naturellement proportionnel à la perméabilité naturelle du réservoir.

On a l'habitude de parler de « nappe » aquifère de la craie alors que la perméabilité est due aux fissures et que l'on devrait considérer qu'il s'agit plutôt d'un véritable « réseau » aquifère. En étudiant la dynamique de l'écoulement de l'eau souterraine dans la craie d'Angleterre, M. INESON montre que, si l'on considère un secteur restreint et surtout lorsque la nappe est captive, la craie agit souvent comme un milieu poreux, homogène, et cela malgré la nature fissurée de la roche. Le régime est alors celui d'une nappe plutôt que celui d'un réseau aquifère. L'observation est moins nette en régime libre.

Au contraire, lorsque la craie fissurée est particulièrement résistante, un régime de karst peut s'établir et il peut alors exister, à la fois un régime de réseau karstique en profondeur, dans une craie marneuse, et un régime de nappe superposée dans une craie supérieure, moins compacte, fissurée mais sans karst (note de M. Cl. MÉGNIEUX). Les importants conduits et cavités karstiques occasionnent un écoulement turbulent axé sur les vallées qui sont donc comme toujours des zones de circulation préférentielle. En période hivernale, le karst peut être noyé et on n'observe plus que la nappe générale dont la surface piézométrique, bien caractérisée, est plus élevée que le karst. Au contraire, en période estivale, la surface piézométrique est moins élevée que le sommet du karst et la nappe peut donner l'impression de disparaître du fait que tout l'écoulement se produit par le système karstique qui joue le rôle de drain alors que la nappe elle-même joue le rôle de régulateur.

La circulation de l'eau est, de ce fait, plus rapide que dans les cas ordinaires et se traduit par une plus faible attaque du sédiment crayeux encaissant, si bien que le titre hydrotimétrique est exceptionnellement peu élevé (20 à 23° seulement).

Cette observation de M. Cl. MÉGNIEUX peut alors conduire à l'observation courante que l'on peut faire en Picardie : celle des « rideaux » qui dessinent un curieux aspect de marches d'escaliers disposées sur les flancs des vallées et vallons secs et descendant vers l'axe des vallées et vallons. Si la craie du sous-sol ne présente pas la résistance de celle de l'Yonne étudiée par M. Cl. MÉGNIEUX, on imagine aisément la rupture du système karstique lorsque les cavités deviennent trop importantes ; un tassement de la roche devient alors inévitable et, comme les cavités karstiques se tiennent dans la zone axiale des vallées, ce tassement se traduit à la surface du sol par la production des rideaux sur les flancs immédiats de ces vallées. Il n'en reste pas moins que la craie est alors très fragmentée et c'est pourquoi les débits obtenus dans les vallées et vallons secs à rideaux sont souvent importants. A part cette dernière réflexion du rapporteur, toutes les idées passées en revue ci-dessus sont exposées dans les six notes suivantes.

Gérard WATERLOT.

Quelques aspects de la circulation de l'eau dans la craie du Bassin de Mons (Belgique)

par René MARLIÈRE (1)

(Pl. XV)

Afin d'éviter les redites, je me réfère en premier lieu à une note détaillée, publiée par le *Centre belge d'étude des eaux* à la suite d'une communication que j'ai présentée à Mons en avril 1959 : « Les grandes nappes aquifères en Hainaut » (CEBEDEAU, bulletin mensuel, n° 102-103, pp. 164-173).

Sommairement, j'indiquerai pourtant les caractéristiques du système aquifère examiné, avant d'exposer les résultats d'une étude partielle.

✱

Dans l'ensemble du Bassin de Mons, le *réservoir* de la « nappe des craies » est formé par une suite complexe de calcaires grenus ou de craies plus ou moins grossières (Calcaire de Mons, Tuffeau de Cibly, Tuffeau de Saint-Symphorien, Craie phosphatée) (2) en gîtes assez localisés, — et de craies blanches du type habituel. La puissance globale n'excède pas 350 m en une même verticale. La perméabilité hydraulique résulte essentiellement de la fracturation, et le fond du réservoir tient en un piège de perméabilité (par défaut de fracturation en profondeur) plutôt qu'à une assise imperméable distincte des craies.

L'alimentation s'effectue directement ou par l'intermédiaire de sables quaternaires et landéniens, à la bordure nord du bassin, à la bordure sud, et surtout dans les régions relevées axialement, à l'Est de Mons. La surface d'alimentation est estimée à 196 km².

La nappe, essentiellement hétérogène, est libre dans une superficie de 196 km², captive sous les

sables argileux de la base du Landénien sur une étendue de 134 km². Elle est donc utilisable, au total, sur 196 + 134 = 330 km², ce qui permet de définir un *rapport de dispersion* de $\frac{330}{196} = 168\%$, rapport très favorable par comparaison aux régions avoisinantes.

En outre, nous avons mis en évidence un synclinal tertiaire accentué, transversal au bassin, grâce auquel le toit imperméable descend à la cote — 120 et forme ainsi une authentique « vanne » placée en travers de l'écoulement des eaux de la craie vers Valenciennes et le Bassin de Paris. *La structure géologique est typiquement déterminante des conditions hydrologiques exceptionnellement favorables*, ce qui n'écarte évidemment pas la notion d'une limite des ressources utilisables.

A ce propos, par un calcul fort approximatif, nous avons pu estimer les ressources de régime à 25 millions de m³/an (1).

Cela dit, je m'attacherai maintenant à des résultats détaillés acquis par l'étude d'une région crayeuse située à l'ENE de Mons.

✱

Durant trois années consécutives, de 1947 à 1950, j'ai effectué périodiquement des mesures très précises du niveau hydrostatique dans un grand nombre de puits de la *région d'Oboury*, la plupart d'entre eux s'alimentant à la nappe de la craie.

(1) Doyen de la Faculté polytechnique de Mons.

(2) Ces termes sont définis, entre autres, dans le Lexique stratigraphique international. Vol. I Europe, fasc. 4 a ; VI - Crétacé. C.N.R.S., Paris.

(1) On trouvera, dans ma note de 1959, les distinctions nécessaires entre *ressources de régime*, *ressources critiques*, *réserves séculaires*.

Géologie et nature du réservoir hydrologique

Dans le périmètre étudié, le sous-sol est essentiellement crayeux, entièrement constitué par les craies blanches dites de Saint-Vaast, de Trivières, d'Obourg. Au nord de la zone d'affleurement des craies, viennent des calcaires crayeux silicifiés en Meulière (Saint-Denis) et des sables verts (« Verts ») appartenant au Turonien. Au sud, des sables landéniens couvrent la craie de façon continue ; toutefois le Calcaire grenu de Mons (Montien) s'interpose entre le Landénien et le Sénonien dans l'extrême sud.

En fait, la nappe des craies est ici entièrement libre ; elle se relie aux niveaux aériens de la vallée de l'Obréchoël (NS) et de la plaine alluviale de la Haine (EW). Les dénivellations du sol sont, au maximum, de l'ordre de 45 m.

L'alimentation se fait par infiltration directe ou encore par l'intermédiaire de sables quaternaires et landéniens, très peu épais, en lambeaux discontinus ; de profondes poches de dissolution, envahies par les sables, soulignent parfaitement la nature perméable de la couverture. Vers l'E, c'est-à-dire à l'amont, la situation est analogue et, par conséquent, l'alimentation régionale ne fait que s'ajouter à une circulation générale et axiale, d'E en W.

La consommation industrielle a pour siège la zone axiale, à Obourg (Usine Fabela notamment), à Havré (Union chimique) ; pourtant, la région étudiée conserve un caractère rural net.

Signalons encore que les affaissements miniers n'ont jamais affecté la région, sauf dans le coin sud-est, sous les influences aujourd'hui éteintes du siège d'Havré.

Mesures effectuées de 1947 à 1950

Tous les puits accessibles ont été recherchés et inventoriés. Sur chacun d'eux, un repère a été choisi (margelle, taque en fer ou en béton...). Ces points marqués ont été englobés dans un réseau de nivellement, par un géomètre, et reliés à un point fixe d'altitude connue. Dans le tableau annexe, la cote « du sol » donne l'altitude des différents repères.

Les mesures de profondeur ont été effectuées par moi-même, à l'aide d'un ruban d'arpenteur de 40 m, inextensible, pourvu d'une lampe à flotteur. J'estime que l'erreur inhérente au système est de

l'ordre de 1 cm, et en tous cas inférieure à 2 cm. Les valeurs reproduites au tableau annexe expriment donc des *altitudes vraies* (à l'erreur près).

Les relevés ont eu lieu à l'intervalle d'un mois de septembre 1947 à septembre 1948, et tous les trois mois ensuite jusqu'à septembre 1950. Parmi les 80 puits périodiquement visités, 46 seulement pénètrent dans la nappe des craies ; tous sont des puits domestiques pratiquement inutilisés. Nous n'avons pas retenu les puits susceptibles d'être alimentés à la fois par les craies et par les alluvions des fonds de vallées.

Présentation des résultats numériques

Toute fastidieuse est l'énumération des mesures. Le vrai problème est de mettre en évidence les résultats de caractère régional, sinon d'application plus générale. Nous utilisons ici un plan de situation et un tableau des valeurs numériques.

Le PLAN indique la position des puits ; en outre, il exprime graphiquement les amplitudes maximales des variations enregistrées au cours des 3 années, par différence entre le point le plus haut connu et le point le plus bas, quelle que soit l'année ou les années de la période 1947-1950. Les cercles *pleins* correspondent à des écarts réels et observés. Les *cercles clairs* marquent les puits qui se sont trouvés asséchés ; dans ce cas, l'amplitude réelle de la variation est inconnue, et ne peut s'exprimer que par une valeur minimale.

Dans le TABLEAU, la cote de l'eau, pour chaque puits où elle a pu être mesurée, est transcrite : en *caractères grêles* lorsque la valeur est égale ou inférieure à celle de la lecture précédente (il y a donc fléchissement, en général) ; en *caractères gras* lorsque la valeur est supérieure à la précédente (ce qui traduit un relèvement). Toutefois, lorsque la variation n'est pas supérieure à 1 cm (ordre d'erreur) nous admettons que la variation est nulle ou qu'elle se fait dans le même sens que pour les puits voisins.

Les pluies enregistrées dans la région sont exprimées selon l'Institut royal météorologique, tantôt par 3 décades (2 décades antérieures, plus la décade au cours de laquelle la mesure du puits a eu lieu), tantôt par mois, tantôt par 3 mois ; de cette sorte, les chiffres indiquent, pour chaque colonne, les hauteurs pluviométriques dans les décades précédentes, dans les mois précédents, dans le trimestre précédent.

Puits	Cotes du sol	1 ^{ère} année												2 ^{ème} année				3 ^{ème} année				
		5 et 8 9.47	7 et 9 10.47	3 et 4 11.47	8 et 9 12.47	13 et 16 1.48	16 et 17 2.48	16 et 18 3.48	19 et 20 4.48	19 5.48	17 6.48	19 7.48	12 8.48	17 9.48	18 12.48	18 3.49	1 7.49	19 9.49	27 12.49	21 3.50	15 6.50	13 9.50
Nord																						
34	51,82	42,25	41,95	41,81	41,65	41,62	42,43	42,61	42,49	42,33	42,18	42,09	42,23	42,13	41,73	41,90	41,66	41,36	sec	41,32	41,29	sec
35	55,05	44,91	44,45	44,14	43,86	44,01	45,97	46,31	46,12	45,75	45,36	45,14	45,51	45,28	44,44	44,46	44,33	43,68	43,25	44,16	44,35	43,86
36	56,43	46,88	46,68	46,64	46,56	46,57	47,21	47,30	47,19	47,09	47,00	46,99	47,07	47,03	46,78	46,86	46,77	46,58	46,39	46,65	46,72	46,65
38	76,77	43,88	43,44	43,12	42,94	42,71	43,23	44,68	44,37	44,07	43,88	44,18	44,22	44,09	43,77	42,90	42,94	42,52	41,92	41,93	42,72	42,66
39	77,41	43,12	43, -	42,96	43,03	43,17	43,39	43,75	43,51	43,33	43,15	43,29	43,35	43,21	43,04	43,07	42,99	42,89	42,96	43,07	43,04	43,10
29	64,85	37,58	37,42	37,26	37,19	37,39	38,32	38,45	38,26	38,06	37,85	37,97	37,97	37,85	37,50	37,54	37,36	37,04	36,95	37,45	37,40	37,37
31	67,19	41,06	40,99	40,81	40,81	41,03	41,77	41,83	41,67	41,50	41,31	41,50	41,44	41,33	41,04	41,09	40,89	40,64	sec	41,05	40,94	40,96
32	47,37	38,13	38,03	37,88	37,82	38,13	38,87	38,95	38,78	38,58	38,40	38,57	38,53	38,42	38,10	38,15	37,97	37,70	37,67	38,12	38,03	38,03
27	64,71	37,39	37,33	37,33	37,30	37,51	38,24	38,25	38,08	37,86	37,65	38,06	37,91	37,71	37,48	37,49	37,29	sec	sec	37,48	sec	sale
23	56,86	37,18	37,16	37,15	37,16	37,51	37,84	37,79	37,66	37,55	37,42	37,76	37,60	37,50	37,40	37,41	37,17	36,97	37,12	37,45	37,24	37,34
24	67,60	37,80	37,70	37,60	37,59	37,89	38,50	38,55	38,39	38,23	38,06	38,30	38,21	38,09	37,87	37,90	37,68	37,41	37,46	37,87	37,75	37,78
25	68,27	37,60	37,53	37,44	37,44	37,83	38,32	38,33	38,18	38,01	37,86	38,17	38,03	37,92	37,73	37,75	37,50	37,26	37,33	37,72	37,57	37,64
26	68,53	37,64	37,59	37,55	37,58	37,77	38,39	38,41	38,26	38,07	37,90	38,22	38,09	37,95	37,74	37,76	37,51	37,51	sec	37,73	37,53	37,63
16	49,19	36,96	36,97	36,98	37,01	37,26	37,47	37,36	37,28	37,24	37,14	37,44	37,30	37,24	37,19	37,21	-	-	-	-	-	-
33b	51,63	38,08	38,06	38,05	38,10	38,10	38,15	38,10	38,10	38,10	38,07	38,15	38,11	38,09	38,03	38,09	37,99	37,91	37,96	38,12	38,00	38,08
10	60,04	38,23	38,20	38,19	38,25	38,23	38,30	38,26	38,25	38,22	38,22	38,30	38,26	38,23	38,17	38,22	38,12	38,04	38,09	38,26	38,14	38,22
11	58,24	38,14	38,14	38,16	38,21	38,16	38,18	38,16	38,18	38,17	38,13	38,22	38,17	38,16	38,09	38,16	38,06	38,00	38,05	38,20	38,09	38,17
12	59,58	38,14	38,12	38,12	38,17	38,14	38,18	38,16	38,16	38,12	38,12	38,21	38,17	38,15	38,08	38,15	38,04	37,98	-	-	-	-
13	59,53	38,17	38,10	38,11	38,16	38,14	38,17	38,14	38,15	38,15	38,11	38,19	38,15	38,13	38,08	38,14	38,03	37,97	38,02	38,17	38,06	38,13
14	58,01	38,11	38,07	38,08	38,13	38,11	38,14	38,11	38,11	38,10	38,09	38,17	38,12	38,11	38,04	38,11	38,01	37,93	37,98	38,14	38,01	38,11
2	48,12	37,99	38,01	38,09	38,12	38,05	38,05	38,02	38,07	38,05	38,02	38,09	38,06	38,06	37,98	38,00	37,96	37,94	38,00	38,11	-	-
4	61,46	38,36	38,32	38,32	38,36	38,38	38,41	38,40	38,32	38,37	38,34	38,44	38,37	38,34	38,28	38,31	38,21	-	-	-	-	-
5	55,94	38,38	38,41	38,39	38,43	38,45	38,46	38,46	38,39	38,43	38,39	38,50	38,43	38,40	38,33	38,39	-	-	-	-	-	-
6	55,61	38,51	38,50	38,51	38,54	38,55	38,58	38,57	38,51	38,55	38,51	38,61	38,55	38,52	38,45	38,50	38,41	38,31	38,36	38,52	38,40	38,47
8	51,69	39,77	39,74	39,74	39,78	39,87	39,91	39,86	39,80	39,80	39,74	39,93	39,81	39,72	39,65	39,65	39,51	-	-	-	-	-
Est																						
63	77,51	43,97	43,73	43,59	43,46	43,43	43,98	44,13	44,04	43,90	43,75	43,75	43,79	43,70	43,36	43,45	43,11	43,02	sec	43,11	sec	43,11
65	75,55	42,75	42,59	42,51	42,50	42,57	42,77	42,83	42,78	42,73	42,60	42,74	42,60	42,53	42,29	42,28	42,05	41,85	sec	41,90	sec	sec
66	64,39	42,44	42,34	42,26	42,26	42,33	42,49	42,53	42,48	42,44	42,31	42,44	42,32	42,24	42,02	42,02	41,80	41,65	sec	-	-	-
67	57,54	44,80	44,75	44,74	44,55	44,61	44,57	44,60	44,48	44,42	44,38	44,61	44,42	44,33	44,16	44,15	sec	sec	sec	44,28	sec	sec
68	50,96	40,67	40,61	40,59	40,61	40,73	40,80	40,74	40,70	40,67	40,60	40,78	40,67	40,56	40,46	40,46	40,30	40,06	40,09	40,33	40,12	40,21
73	53,25	38,09	38,01	37,98	37,99	38,05	38,10	38,04	37,99	37,97	37,89	38,06	37,99	37,86	37,73	37,70	sec	sec	sec	37,75	sec	sec
74	53,62	40,02	39,91	39,88	39,88	39,96	40,02	39,99	39,91	39,90	39,84	39,99	39,92	39,79	39,65	39,67	39,54	-	-	-	-	-
Sud																						
70	48,32	38,12	38,08	38,06	38,08	38,20	38,24	38,19	38,15	38,15	38,04	38,24	38,16	38,07	37,95	38,00	37,90	37,70	37,80	38,04	37,87	37,90
71	59,90	37,95	37,90	37,91	37,90	38,00	38,06	38,00	37,97	37,98	37,85	38,06	38,00	37,90	37,77	37,82	37,70	sec	37,61	37,87	36,91	37,73
72	59,08	37,70	37,65	37,64	37,63	37,76	37,80	37,75	37,69	37,71	37,59	37,80	37,75	37,63	37,50	37,56	37,42	37,37	sec	37,59	37,42	37,52
76	59,38	36,04	36,18	36,16	36,14	36,30	36,29	36,26	36,16	36,24	36,06	36,26	36,20	36,25	36,16	36,15	35,79	35,75	35,99	36,21	36,08	35,98
77	58,96	36,16	35,99	35,93	35,79	35,89	35,76	36,05	35,91	35,74	35,71	36,15	36,04	35,97	35,94	36,10	35,75	35,66	35,72	35,93	35,93	35,86
Pluies (mm)																						
par décades		0_0 12	8_16 8	10_11 43	20_12 9	18_50 51_58	27_34 7	0_23	6_50 2	27_29 7	38_28 35	43_67 47	4_39 16	9_30 16								
par mois		12	33	65	42	178	68	23	58	63	102	158	60	56	21_55 46	47_14 56	29_67 43	32_66 39	28_88 56	51_102 20	31_77 63	95_52 130
par 3 mois				110	140	285	288	269	149	144	223	323	320	274	122	118	140	138	173	174	171	278

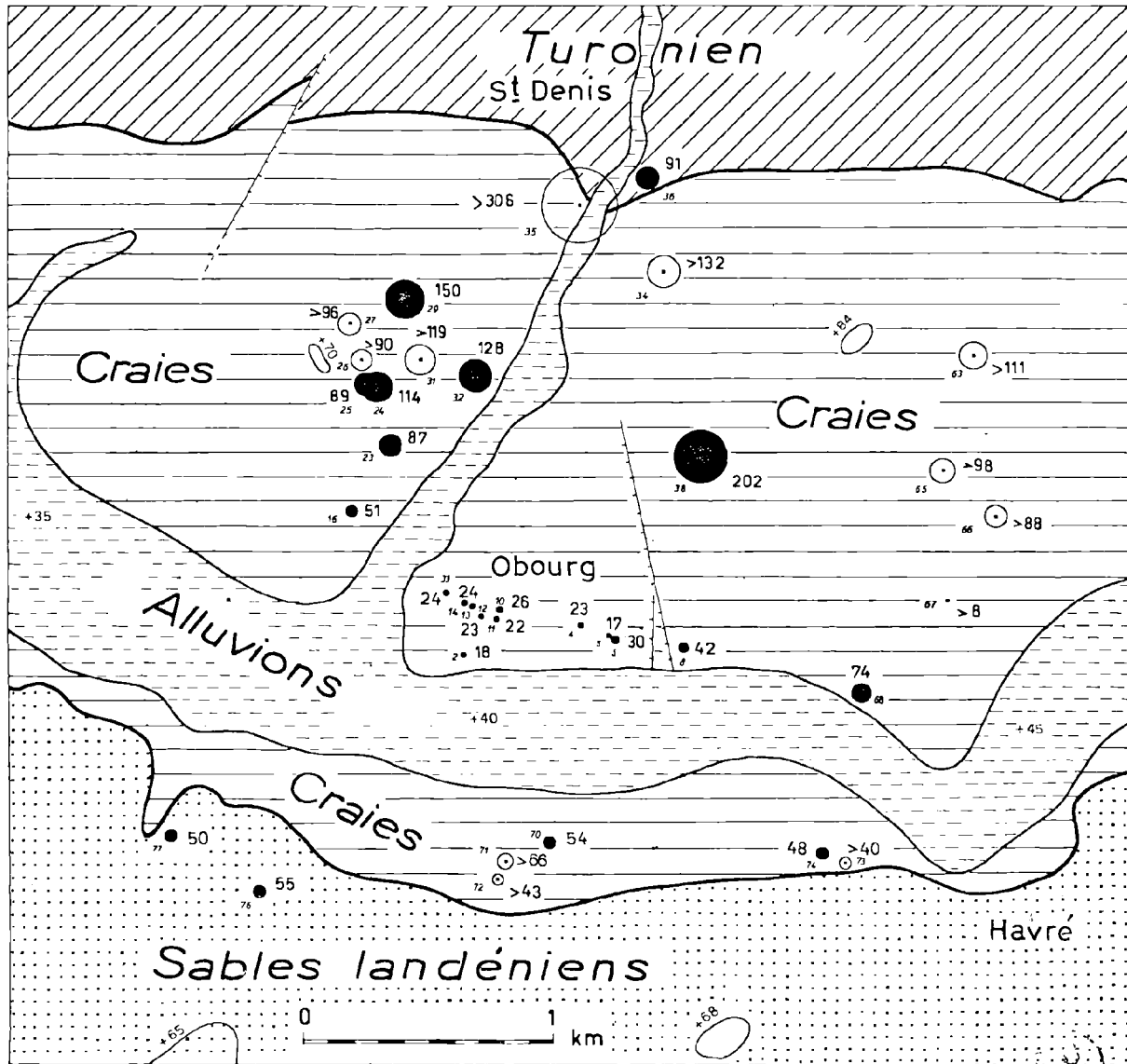


FIGURE 1. — Esquisse cartographique et plan de situation des puits.

Les cercles sont proportionnels aux variations saisonnières : *cercles pleins* pour les valeurs vraies ; *cercles clairs* pour les valeurs minimales, le puits s'étant trouvé à sec à un moment.

Les chiffres en *italique* donnent le numéro de référence ; les valeurs en chiffres *droits* expriment l'amplitude saisonnière maximale.

Indications complémentaires dans le texte.

Commentaires

Une situation hydrologique n'est pas connue après 3 années consécutives, tant il est délicat d'interpréter les faits puisqu'ils résultent d'une multitude de facteurs, naturels ou non. La nappe de la craie se présente encore, à Obourg, dans des conditions assez favorables ; le seul grand consommateur industriel abaisse le niveau aux environs de la cote + 32, soit à 3 m sous le niveau piézo-

métrique ; à part ce cas, le régime hydrologique reste soumis, semble-t-il, à des faits naturels saisonniers.

1. Epinglons quelques considérations qui résultent directement des mesures effectuées :

a) dans chacun des trois secteurs découpés par les vallées, les *dénivellations* peuvent atteindre les valeurs ci-après, considérées de puits à puits :

Puits n°	Dénivellations		Distance	Pente	
	de la nappe	du sol		de la nappe	du sol
38 à 8	4 m 82	25 m 08	770 m	6,2 %	32,5 %
38 à 2	6 m 66	28 m 65	1230 m	5,3 %	23,3 %
29 à 16	1 m 09	15 m 66	860 m	1,3 %	18,2 %
63 à 18	3 m 39	26 m 55	1430 m	2,4 %	18,6 %

b) les *variations saisonnières* les plus fortes dépassent une amplitude de 3 m dans la partie périphérique de la nappe (puits n° 35) et atteignent fréquemment 1 à 2 m à l'écart des zones de drainage ; elles sont nettement plus faibles (17 à 50 cm) à l'aval hydrologique, ce qui est, somme toute, assez orthodoxe.

c) le *relèvement saisonnier* est enregistré en février-mars des années 1948, 1949 et 1950 ; le fait est habituel dans le bassin. A noter qu'il s'est marqué en dépit d'un notable déficit des pluies au cours de la même période triennale.

d) il est *exceptionnel* de noter un sensible relèvement en *juillet 1948*, mais le fait est d'autant plus instructif : en dépit des précipitations relativement favorables (38-28 et 35 mm par décades) tous les puits fléchissaient jusqu'au 17 juin 1948 ; *ce sont les pluies tombées entre le 17 juin et le 19 juillet qui semblent avoir causé le relèvement général* ; sans doute peut-on considérer que les pluies antérieures au 17 juin ont été en majeure partie absorbées par l'évaporation et par l'état de siccité

du sol ; ces besoins étant satisfaits, les pluies de juillet ont été bénéfiques pour la nappe.

Ces dernières considérations sembleraient indiquer **le mécanisme de réalimentation de la nappe en période hivernale ou même estivale** (juillet 1948) : *un mois pour satisfaire la rétention dans la zone préalablement desséchée ; un mois encore pour l'infiltration gravifique.*

2. A l'heure où chacun se préoccupe des problèmes de l'eau et de l'état des nappes, il est évidemment indiqué de comparer l'état 1947-1950 à un état 1907. Cela nous est permis grâce à une belle étude autrefois publiée par Maurice ROBERT (1909). On doit en utiliser les résultats numériques avec une certaine tolérance, car l'auteur disposait uniquement de la carte topographique (altitudes plus ou moins certaines) et il a effectué les lectures à une seule époque ; pourtant, à une mesure de septembre 1907, nous pouvons comparer les valeurs de septembre 1947, 1948, 1949, pour les puits communs aux deux relevés.

DANS LA ZONE NORD, on a :

Référence nob.	Robert			Marlière			Ecart
	N°	Date	Cote	1947	1948	1949	
10	847	23-12-1907	38,35	38,25	38,17	38,09	-- 0,10 à -- 0,26
11	848	»	38,60	38,21	38,09	38,05	-- 0,39 à -- 0,55
16	831	3-9-1907	37,85	36,96	37,24	—	-- 0,61 à -- 0,89
32	836	»	39,16	38,13	38,42	37,70	-- 0,74 à -- 1,46
36	845	»	46,88	46,88	47,03	46,58	-- 0,35 à -- 0,10
38	853	»	43,95	43,88	44,09	42,52	-- 0,14 à -- 1,43

L'indétermination relative à la cote du sol étant de l'ordre de 0 m 50 dans les relevés de M. Robert, *il n'apparaît pas que la nappe ait subi un fléchissement notable* dans la période 1907 à 1950, et, en tout cas, *les écarts y sont de l'ordre de grandeur de la variation saisonnière.*

Référence nob.	Robert			Marlière			Ecart
	N°	Date	Cote	1947	1948	1949	
65	865	4-9-1907	46,57	42,73	42,60	Sec	— 3,84 et plus
66	866	»	47,15	42,44	42,24	Sec	— 4,71 et plus

Ici, le fléchissement est très net et important ; peut-être faut-il l'attribuer en partie à l'affaissement de la zone de drainage (vallée de la Haine) sous l'influence des débouillements de Thieu et Havré.

DANS LA ZONE EST, alimentée sur les territoires d'Havré, Ville-sur-Haine, Thieu, beaucoup de puits sont remblayés ou secs ; deux puits sont communs aux relevés de 1907 et aux nôtres ; ce sont :

LA ZONE SUB, de structure géologique un peu plus complexe par le recouvrement landénien et la présence de calcaires montiens, accuse également un fléchissement important, supérieur aux variations saisonnières. On a, pour deux puits communs :

Référence nob.	Robert			Marlière			Ecart
	N°	Date	Cote	1947	1948	1949	
76	828	24-8-1908	38,18	—	36,24	35,77	— 1,94 à — 2,41
77	827	»	39,40	—	36,04	35,70	— 3,36 à — 3,70

Les puits industriels d'Obourg et, dans une moindre mesure peut-être, les pompes profondes des carrières souterraines de Saint-Symphorien ont une influence sur cette région, je crois.

3. Enfin, me permettrai-je quelques considérations qui touchent directement à *la protection des nappes aquifères* et à *nos possibilités d'information hydrologique.*

Au cours des relevés, j'ai pu visiter 46 puits en 1947 ; mais 9 d'entre eux (soit 20 %) ont été remblayés ou rendus inaccessibles en 3 ans.

a) Ainsi, graduellement et au moment où les pays s'occupent de l'inventaire des ressources souterraines, les points d'observation sont éliminés le plus souvent sans aucune raison valable. N'y a-t-il vraiment aucune mesure à prendre pour sauver

de l'anéantissement les puits qui subsistent encore et se font de plus en plus rares ?

b) Les particuliers se livrent souvent à des remblayages inconsidérés, à l'aide de matériaux et d'immondices de toutes natures et transforment ainsi les puits en *poubelles* de la ferme ou du quartier. Qu'en est-il de la « protection » des eaux souterraines ?

c) Après un temps, on achève le remplissage avec de la terre, puis on rase tout équipement de surface ; passe encore si l'on plante un arbre, ou si l'on couvre d'une solide dalle de béton ; en tout cas, après quelques années, on oublie totalement qu'il ait jamais existé un puits. N'est-ce pas un danger ?

Sous divers aspects, il est d'intérêt public, je pense, que l'on se penche sur ces questions.

*
**

M. CASTANY signale que des études récentes ont montré que la perméabilité varie largement, parfois du simple au double, en fonction de la saturation des terrains. La vitesse de circulation est plus rapide dans un terrain saturé que dans un terrain qui ne l'est pas. Deux facteurs interviennent : la consommation d'eau et la vitesse de circulation.

M. LÉVÊQUE remarque qu'on ne peut tenir compte uniquement du volume des précipitations et qu'il faut prendre en considération leur fréquence. Ainsi, en période estivale, à quantités égales de volumes tombés, lorsqu'une pluie est répartie en petites averses, l'évaporation est telle que l'eau tombée ne profite nullement à la craie ; au contraire, quand les précipitations sont plus concentrées dans le temps, elles peuvent alimenter la nappe, sans parler des pluies d'orage où le ruissellement entre en jeu. En Afrique du Nord, il peut arriver que, dans des terrains sableux ou légèrement argileux, des précipitations assez importantes n'influencent pas la nappe si ces pluies sont réparties, par exemple, toutes les quatre ou cinq heures. Entre chaque période de précipitation, la terre a le temps de sécher et la pluie qui arrive de nouveau ne sert qu'à humidifier partiellement le sol avant d'être elle-même évaporée.

M. E. LEROUX souligne le décalage qui semble exister entre le moment où la nappe de la craie du bassin de Mons et celle du Nord de la France atteignent leur maximum piézométrique annuel : février-mars pour le bassin de Mons, avril-mai pour la France. Aucune explication valable n'est avancée pour expliquer ce fait.

M. DUMAS demande à M. MARLIÈRE l'importance de l'écoulement qui se fait, dans la nappe de la craie, dans le sens Belgique-France.

M. MARLIÈRE répond à cette question en fournissant les statistiques suivantes :

L'alimentation de la craie se fait dans le bassin de Mons, sur 196 km². Cette nappe est utilisée directement dans la zone d'alimentation mais aussi dans la région où elle est captive : 134 km². Elle est donc utilisée sur un total de 330 km². Si l'on calcule le « rapport de dispersion », c'est-à-dire le rapport de la surface d'exploitation de la nappe à la surface d'alimentation, nous trouvons pour le bassin de Mons $330/196 = 168\%$. Ce rapport est beaucoup plus faible que ceux que l'on peut établir pour la nappe de la craie en France ou celle du Calcaire carbonifère. La situation est donc très favorable pour la Belgique et, de plus, le barrage tectonique dont il a été question tout à l'heure oblige une grande partie de l'eau de la craie à remonter vers la surface avant de franchir la frontière. Cette eau qui se perd dans les sables tertiaires et quaternaires est perdue pour la nappe de la craie.

M. SANZOT demande si les bilans de M. MARLIÈRE ont été établis par rapport à la pluviométrie générale de la Belgique ou par rapport à celle du Hainaut qui est un peu différente.

M. MARLIÈRE répond que ce sont les statistiques régionales qui ont été utilisées. Ces statistiques font d'ailleurs ressortir un fait très intéressant : des nappes parfois voisines sont alimentées par des régions qui ne subissent pas les mêmes variations météorologiques. Il est donc intéressant qu'une société distributrice puise ses eaux non pas dans une seule et même nappe mais dans deux nappes différentes qui peuvent ne pas connaître les mêmes difficultés au même moment.

M. RICOUR estime que les rapports de dispersion établis par M. MARLIÈRE pour le Nord de la France (1) sont trop pessimistes par suite d'une sous-estimation de la surface des zones d'infiltration. En effet, seules ont été retenues comme zones d'infiltration celles où, selon la carte géologique,

(1) R. MARLIÈRE. — Les grandes nappes aquifères en Hainaut. CEBEDEAU, bull. mensuel, n° 102-103, pp. 164-173.

la craie affleure directement. Les récents travaux du B.R.G.M. ont montré que l'infiltration se faisait aussi dans les zones couvertes de limons, c'est-à-dire sur la totalité de la zone anticlinale de l'Artois. Les bilans qui ont été effectués dans le bassin houiller du Nord de la France montrent que l'équilibre entre les prélèvements effectués dans la nappe et la réalimentation est souvent précaire. Or ces bilans admettent une infiltration égale à 40 % des précipitations et une zone d'infiltration large. En réduisant cette dernière, comme le fait M. MARLIÈRE, on aboutirait à des bilans catastrophiques et la nappe de la craie ne serait plus exploitable depuis longtemps.

M. BONTE signale que dans des régions où la nappe n'est pas exploitée intensément il n'a pas constaté d'abaissement du niveau piézométrique durant les 25 dernières années.

M. INESON remercie M. MARLIÈRE et donne la parole à M. WATERLOT qui présente un travail synthétique réalisé par lui-même et le B.R.M.M. (Inventaire des ressources hydrauliques des départements du Nord et du Pas-de-Calais).



La surface piézométrique de la nappe de la craie du Nord de la France, ses variations naturelles et artificielles. Les diverses zones de perméabilité.

par Edmond LEROUX, Jean RICOUR, Gérard WATERLOT

(Pl. XVI et XVII)

Le présent travail a été réalisé dans le cadre de l'Inventaire des ressources hydrauliques des départements du Nord et du Pas-de-Calais, service du B.R.G.M. décentralisé, avec la collaboration de M. LIENHARDT, Ingénieur géologue, et de MM. DEZWARTE et DELLERY, techniciens-géologues au B.R.G.M.

Nous rappellerons tout d'abord que la majeure partie de la nappe de la craie du Nord de la France est contenue dans un réservoir unique, constitué par la craie grise du Turonien supérieur et la craie blanche du Sénonien. Le Turonien moyen, formé essentiellement de marnes bleues imperméables, renferme, dans certains secteurs (notamment dans la région de Valenciennes) quelques bancs de craie aquifère dont les caractères hydrauliques, encore mal définis, sont certainement voisins de ceux de la nappe supérieure (1).

De même, dans la région la plus occidentale, vers le Boulonnais, le Cénomaniens se développe, change de faciès, et contient également une nappe encore mal connue.

1. — La surface piézométrique de la nappe de la craie

La carte de la Pl. XVI représente les isopièzes de la nappe. Les zones dépourvues de craie, l'Avesnois à l'Est et le Boulonnais à l'Ouest, correspondent à des limites d'érosion et non à des limites de sédimentation.

L'examen des courbes isopiézométriques appelle les quelques remarques suivantes :

(1) Voir p. 199, Communication de M. POLVÊCHE.

11. - RÉGIONS DE DOUAI - ARRAS - CAMBRAI - VALENCIENNES.

La surface de la nappe de la craie y forme une demi-cuvette dont le diamètre correspond à l'axe Douai-Valenciennes. Si l'on admet que l'écoulement souterrain se fait selon une direction perpendiculaire à ces courbes, nous voyons que les filets aquifères, dans le Sud du département du Nord et dans le Sud-Est du Pas-de-Calais, convergent vers la région Douai-Valenciennes où la nappe se met en charge. Ce fait explique la richesse aquifère exceptionnelle de cette région.

Au Nord-Ouest d'Arras, la faille de Marqueffles forme un véritable barrage, que l'eau contourne par le Sud-Est, ce qui a pour effet d'augmenter encore le volume du flux qui converge vers Douai.

Remarquons encore que la surface piézométrique forme une sorte de plateau, au Nord et au Nord-Ouest de Cambrai, c'est-à-dire dans l'Ostrevant. Cette zone est caractérisée par une faible perméabilité du réservoir. Au Sud de celle-ci, le fort gradient de la surface de la nappe calque celui de la surface topographique qui, d'ailleurs, est proche d'une surface structurale. Au Nord, le fort gradient est dû au fait que les terrains du Crétacé plongent brusquement à la faveur d'une flexure (peut-être même faillée en certains endroits) sous les terrains tertiaires où la nappe se met en charge.

Les dépressions constatées sous le recouvrement tertiaire (courbes -20 et $+10$) sont dues à des phénomènes artificiels, à des exploitations locales intenses.

12. - RÉGION DE LILLE.

La région lilloise est marquée par un important décalage, vers le Nord, de la courbe $+10$. Cette anomalie met en relief une zone de forte perméabilité sous la vallée de la Deûle qui s'étend vers

Lille dans la direction SW-NE. C'est dans cette vallée que la majeure partie de l'eau qui alimente la région lilloise est prélevée.

13. - RÉGION DE SAINT-OMER.

Nous retrouvons ici, en bordure du recouvrement tertiaire, un fort gradient de la surface de la nappe, identique, quoique plus accusé encore, à celui qui existe au Nord de l'axe Douai-Valenciennes. Ce fort gradient correspond à une flexure importante des terrains crétacés qui s'enfoncent brusquement sous leur couverture tertiaire.

La zone est très riche en eau, elle alimente notamment l'agglomération dunkerquoise.

14. - RÉGION CENTRALE DU PAS-DE-CALAIS.

Nous possédons à l'heure actuelle trop peu de renseignements sur cette région pour tenter d'y tracer des isopièzes. Nous savons toutefois que l'allure générale de ces courbes doit y être assez différente de celle qu'elles présentent dans le reste de la région du Nord puisqu'ici l'écoulement s'y fait à la fois vers le Nord-Est et vers le Sud-Ouest. En effet, la vallée de la Canche constitue un drain vers lequel s'écoule une partie de la nappe de la craie.

2. — Variation du niveau piézométrique

Des observations méthodiques effectuées sur le niveau de la nappe depuis la fin du siècle dernier ainsi que des mesures réalisées depuis 1956, font connaître d'une manière assez approfondie les variations du niveau de la nappe de la craie. Nous décrirons ces variations en distinguant celles qui sont dues à des phénomènes naturels de celles qui sont dues à des causes artificielles.

21. - VARIATIONS NATURELLES.

Parmi les variations naturelles, nous distinguons les fluctuations saisonnières réparties sur l'ensemble d'une année et celles présentant un caractère cyclique qui se répartissent sur un groupe d'années.

211. - Variations saisonnières.

Le graphique de la fig. 1 représente les variations piézométriques de la nappe de la craie dans le puits de la gare d'Achiet (Pas-de-Calais) (1) durant les

(1) Nous remercions vivement la S.N.C.F. (Région Nord - Service Voies et Bâtiments) d'avoir bien voulu nous communiquer ces renseignements.

années 1937-38-39-40 et 41. Nous y voyons que l'amplitude maximale observée a été voisine de 5,50 m. Les nappes passent par un maximum qui se produit en général entre mars et mai. Le minimum se situe à la fin de l'année, il est parfois légèrement avancé (novembre) ou reculé (janvier).

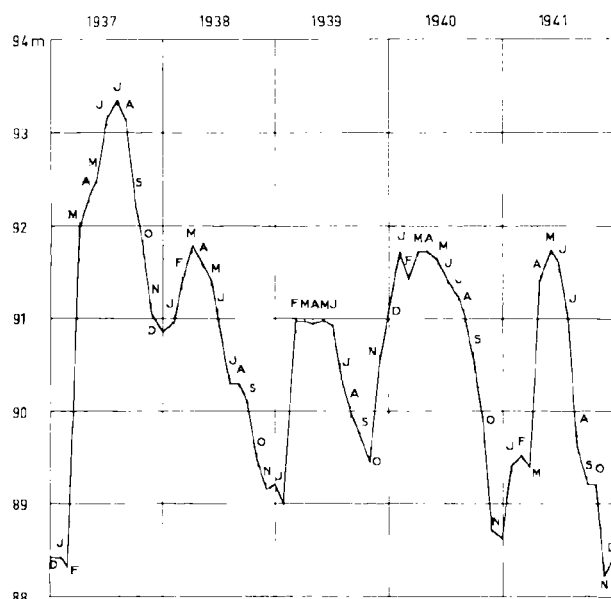


FIG. 1. — Variations piézométriques de la nappe de la craie constatées dans le puits de la gare d'Achiet (Pas-de-Calais) de 1937 à 1941. (D'après les archives de la S.N.C.F.).

L'allure de ces courbes s'explique facilement par deux phénomènes naturels qui se superposent :

— la pluie abondante d'automne, la pluie ou la neige d'hiver rechargent progressivement la nappe qui atteint ainsi un maximum au début du printemps.

— le démarrage de la végétation au printemps augmente considérablement la valeur de l'évapotranspiration et diminue de ce fait le pourcentage de l'eau atmosphérique qui peut percoler vers la nappe.

Les variations saisonnières du puits d'Achiet peuvent être considérées comme absolument typiques pour toute la nappe de la craie dans le Nord de la France.

L'amplitude des variations saisonnières varie énormément d'un point à un autre. Elle est très faible dans les vallées où les perméabilités sont

importantes et peut atteindre 15 et même 20 m sur la bordure de certains plateaux où la perméabilité est faible.

212. - *Variations cycliques.*

Le graphique de la fig. 2 montre les variations piézométriques de la nappe de la craie à Achiet entre 1901 et 1960. Deux considérations s'imposent immédiatement : d'une part, le niveau en 1960 est sensiblement voisin de celui de 1901 ; d'autre part, des variations importantes ont été constatées, leur amplitude a atteint 12 m entre 1903 et 1910.

Il semble impossible à l'heure actuelle de dégager la loi qui régit ces variations. Elles sont de toute évidence en liaison avec les variations climatiques et plus particulièrement avec la pluviométrie. Il faut remarquer à cet égard que les années réputées sèches ne précèdent pas obligatoirement une période d'étiage de la nappe. En effet, nous avons vu que durant la période de végétation l'évapotranspiration réduit énormément, voire même complètement, la quantité d'eau qui peut percoler vers les nappes. Ce seront donc essentiellement les pluies d'automne et d'hiver qui auront une répercussion sur le niveau des nappes. Certaines années réputées pluvieuses

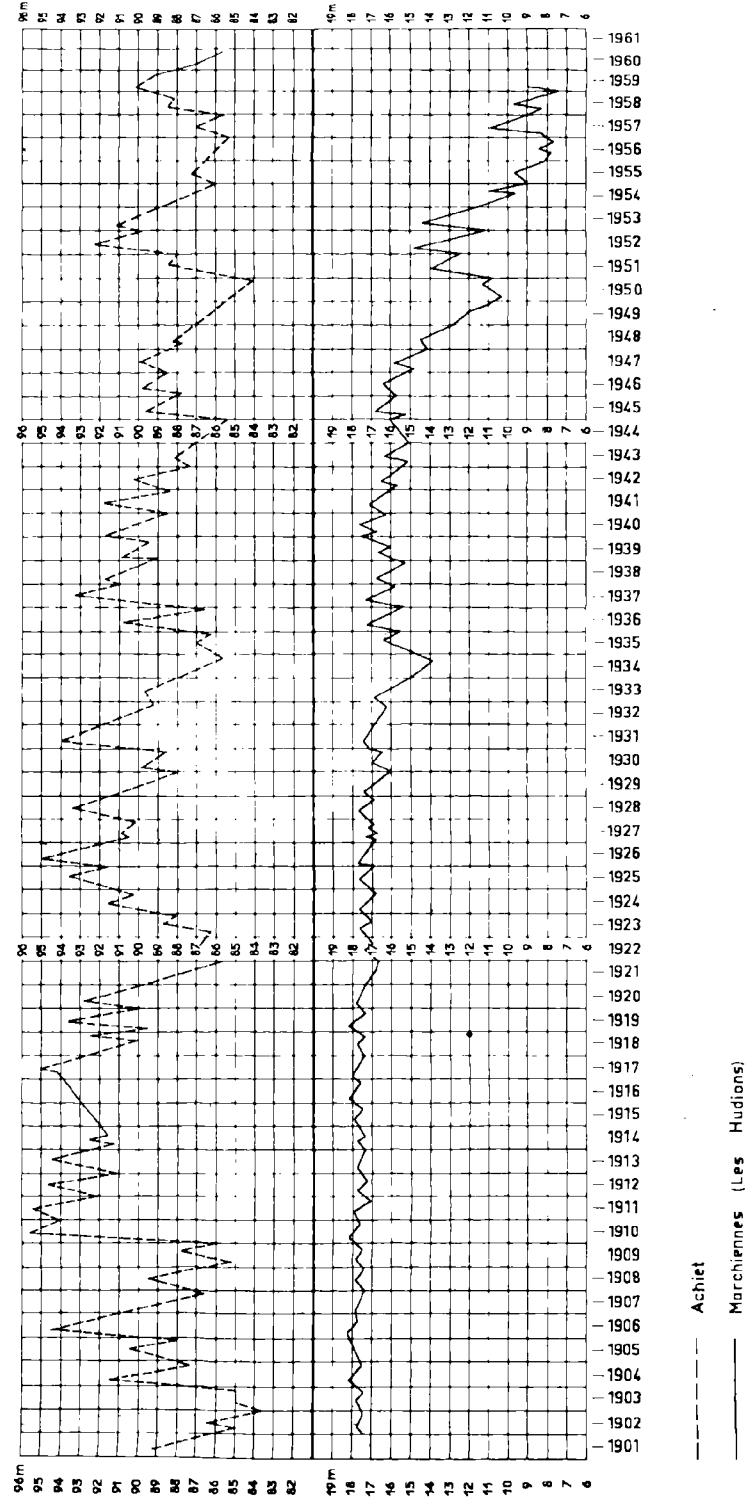


Fig. 2. — Variations du niveau piézométrique de la nappe de la craie observées au puits d'Achiet (S.N.C.F.) et au forage de Marchiennes (Les Hudions) depuis le début du siècle.

parce que les précipitations ont été nombreuses en été n'auront de ce fait aucune répercussion sur la nappe et inversement.

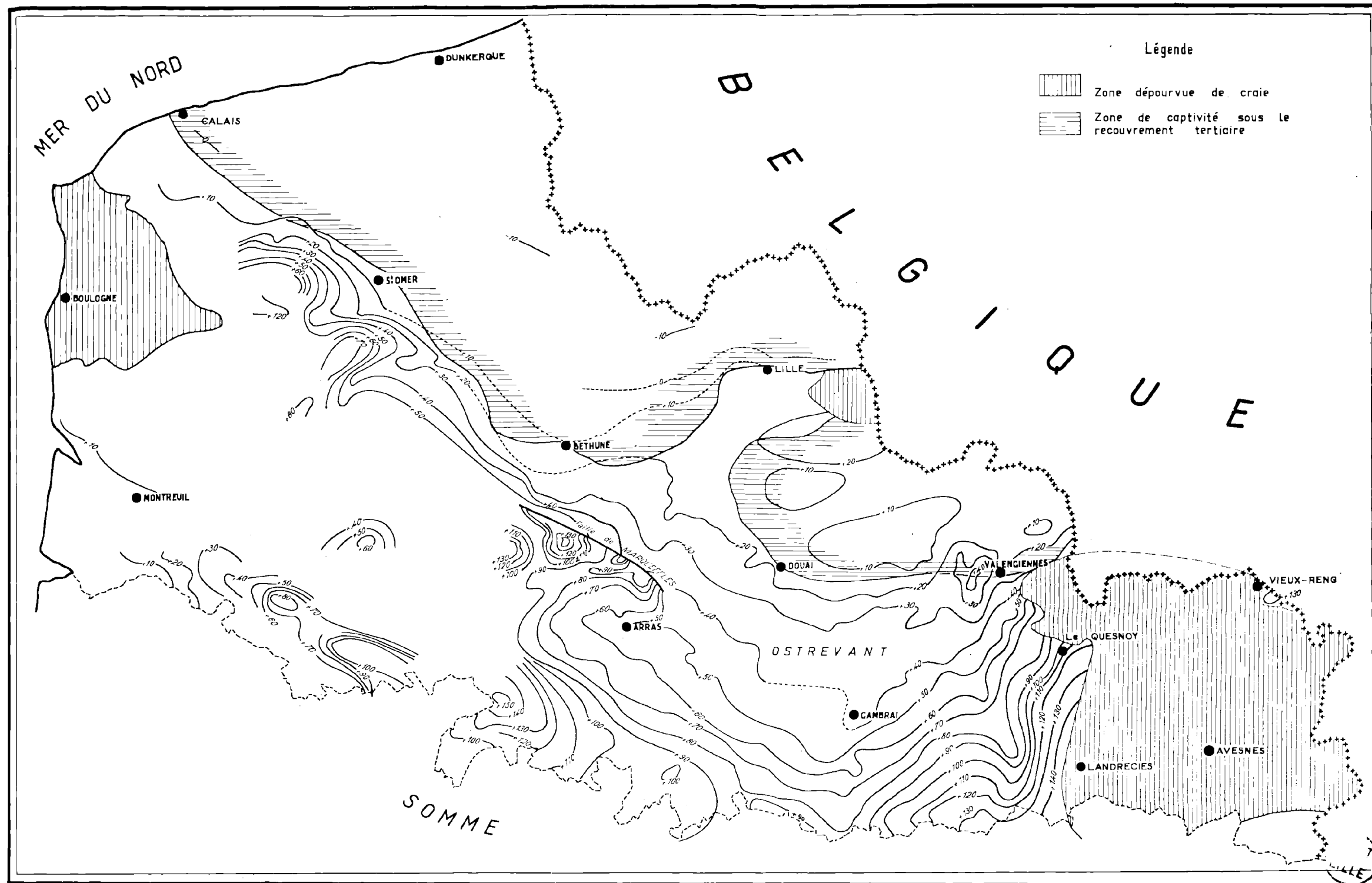
L'examen du graphique de la fig. 2 permet d'affirmer que, depuis le début du siècle, en dehors de variations positives ou négatives saisonnières, le niveau de la nappe de la craie est resté sensiblement égal à ce qu'il est aujourd'hui. Rappelons que ce puits est situé dans une zone agricole où la nappe n'est que très faiblement exploitée.

22. - VARIATIONS ARTIFICIELLES.

Le cycle de ces variations peut être multiple : journalier, hebdomadaire, saisonnier, annuel. Certains abaissements peuvent devenir permanents.

221. - *Variations journalières.*

Aux environs immédiats des forages exploités, le niveau piézométrique de la nappe de la craie subit des variations journalières. Les graphiques



Courbes isopièzométriques de la nappe de la craie dans les départements du Nord et du Pas-de-Calais

de la fig. 3 que nous devons au Service des Eaux des villes de Roubaix et Tourcoing, représentent les variations observées sur 5 forages situés dans la région de Marchiennes (Nord) à la fin de décembre 1957 et dans les premiers jours de 1958.

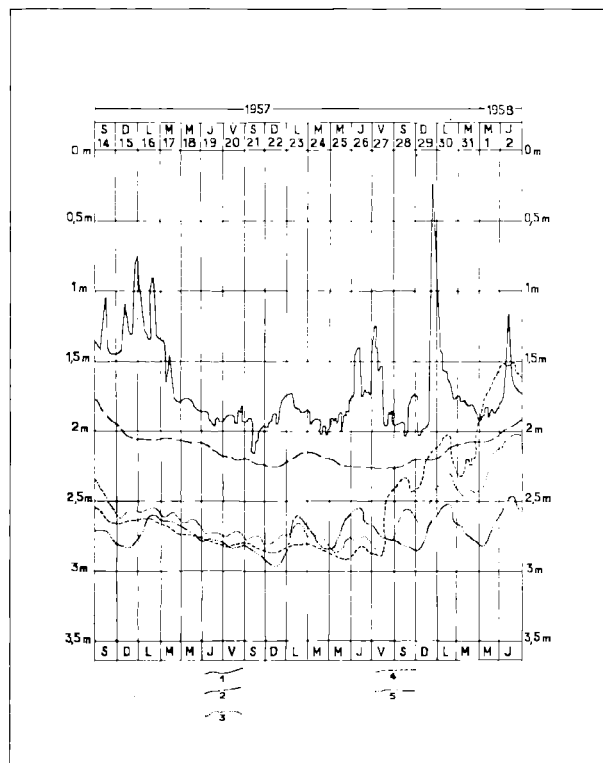


FIG. 3. Variations journalières du niveau de la nappe de la craie observées dans divers forages du Nord de la France à la fin de l'année 1957 et au début de 1958.
1 - Forage 1 de Pecquencourt. 2 - Forage du Faux Vivier.
3 - Forage des Hudions. 4 - Forage d'Erre (S.I.D.E.N.).
5 - Forage F 2 d'Anhiers.

Le graphique relatif au forage des Hudions montre nettement des variations journalières dues ici aux fluctuations des pompages industriels. Les variations observées sont d'amplitude assez faible mais il faut remarquer que le forage des Hudions est situé à 1.500 m des forages les plus proches.

222. - Variations hebdomadaires.

Sur le même graphique de la fig. 3, l'influence des arrêts hebdomadaires de l'industrie aussi bien que des arrêts exceptionnels dus aux fêtes de Noël et du Nouvel An sont nettement visibles.

223. - Variations saisonnières ou annuelles.

La mise en route de certaines industries saisonnières comme les conserveries ou les sucreries peuvent occasionner des baisses importantes du niveau des nappes bien que ces phénomènes soient assez localisés. De même, en sens inverse, l'arrêt de l'industrie pendant les congés payés provoque dans certaines zones des remontées importantes du niveau de la nappe.

224. - Abaissements permanents.

Sur le graphique de la fig. 2, nous avons reporté, en même temps que la courbe piézométrique du forage d'Achiet, celle du forage des Hudions qui est situé près de Marchiennes (Nord). Nous voyons que si les deux niveaux ont connu, depuis le début du siècle, des fluctuations comparables, celui des Hudions a tendance à s'effondrer depuis quelques années. Il devient plus sensible aux baisses saisonnières et, par contre, moins sensible aux remontées. C'est ainsi qu'au forage des Hudions aucune remontée n'a été constatée au début de 1960 alors qu'un relèvement net a été observé à Achiet.

Cet abaissement est dû sans aucun doute à une surexploitation locale de la nappe.

23. - CONCLUSIONS.

L'ensemble des constatations qui viennent d'être faites, quant aux variations naturelles ou artificielles de la nappe, montrent bien tout le soin qu'il faut prendre, lorsque l'on compare des niveaux piézométriques, de voir si ces niveaux ont été mesurés dans les mêmes circonstances. Ce serait une erreur de comparer un niveau d'été à un niveau d'hiver ou à un niveau pris, dans les régions industrielles, au lendemain d'une fête ou pendant la mise en marche d'une industrie saisonnière.

L'observation des fluctuations des niveaux piézométriques permet de déceler les zones où la nappe est surexploitée. Toutefois, avant d'établir des conclusions, il est indispensable de s'assurer que les valeurs mesurées sont bien comparables.

3. — Zones de perméabilité

Il a été maintes fois démontré que la perméabilité de la craie variait aussi bien verticalement que latéralement au sein de la masse crayeuse. GOSSELET avait bien observé, au cours du creusement des puits de mines, que la perméabilité diminuait avec la profondeur et qu'au delà d'une certaine cote,

voisine du 0 absolu dans la région de Douai, la craie n'était que très peu perméable (1). Les diagrammes de GOSSELET, que nous reproduisons ci-dessous (fig. 4) sont tout à fait significatifs à cet égard. Les observations de GOSSELET ont été maintes fois renouvelées depuis sur des forages et encore

tout récemment. Cette remarque est intéressante sur le plan de la géologie appliquée car elle montre que, dans la majorité des cas, au delà d'une certaine profondeur, il est inutile d'approfondir un forage, le débit maximum qu'il peut fournir étant atteint dans les couches supérieures de la formation.

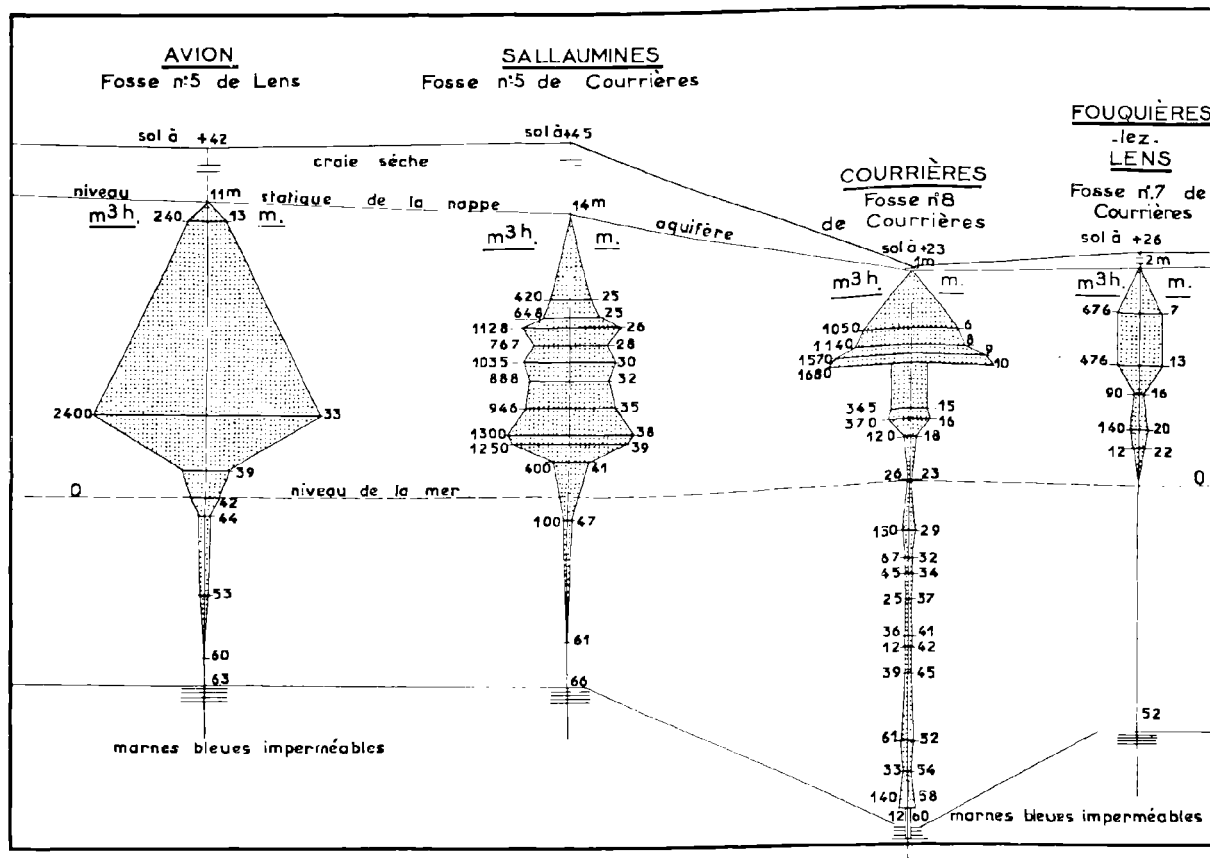


FIG. 4. -- Variations du débit de la nappe de la craie dans divers puits de mine lors de leur creusement (d'après J. GOSSELET).

31. - VARIATIONS LATÉRALES.

Il nous est encore impossible de présenter une véritable carte des débits spécifiques de la nappe de la craie. La carte ci-jointe (Pl. XVII) indique toutefois les diverses zones de perméabilité de la

craie. Le document, établi parfois à l'aide de données assez fragmentaires, notamment en ce qui concerne les zones agricoles du Pas-de-Calais, est assez complet par contre pour le Nord. La valeur des diverses zones est estimée d'après le débit que l'on peut attendre d'un forage réalisé dans chacune d'elles, selon les normes régionales, c'est-à-dire avec un diamètre de captage de 500 mm. L'examen de la carte de la fig. 6 montre nettement que les perméabilités sont fortes dans deux cas géographiquement et géologiquement bien précis :

(1) GOSSELET J., 1904. — Les assises crétaciques et tertiaires dans les fosses et les sondages du Nord de la France, fasc. I (Douai), atlas, pl. I et II ; *Etudes des gîtes minéraux de la France*.

a) *Vallées* : Dans la plupart des vallées, les perméabilités sont élevées. Tel est le cas de celle de l'Escaut, de la Sensée, de la Deûle et de celles des fleuves côtiers de l'Authie et de la Canche. Ces fortes perméabilités sont attribuables en général aux phénomènes péri-glaciaires qui ont fragmenté la craie d'une façon préférentielle dans les vallées. Il est certain, de même, que les écoulements sous-alluviaux ont tendance à augmenter les vides des diaclases de la craie par suite des phénomènes de dissolution qu'ils provoquent.

b) *Lisière des terrains tertiaires, de la pointe occidentale des Flandres à la région de Valenciennes* (Comparer les Pl. XVI et XVII). La craie y est très riche en eau; le phénomène peut s'expliquer ici soit par l'existence d'une flexure (à la faveur de laquelle la craie s'enfonce brutalement sous le Tertiaire) qui aurait fragmenté la craie, soit par le fait que la nappe, rencontrant dans sa progression normale vers le Nord-Est des terrains compactés par la surpression due aux terrains tertiaires, ne peut s'infiltrer au delà. Les effets de ces deux causes s'ajoutent même probablement et créent à

travers la couverture tertiaire des remontées d'eau dites « artésiennes ».

Par contre, sous les plateaux, les perméabilités de la craie sont moindres et certaines zones comme celle située entre la vallée de la Scarpe et la vallée de la Sensée peuvent être considérées comme pratiquement imperméables. Des puits qui y ont été exécutés n'ont donné que des débits très faibles malgré un développement de galeries très important.

4. — Conclusions

Les connaissances acquises depuis plus d'un demi-siècle sur les niveaux piézométriques de la nappe de la craie et leurs fluctuations permettent de localiser les principaux courants suivant lesquels cette nappe s'écoule. Elles permettent également de déceler les zones de la nappe qui sont surexploitées.

La délimitation des zones de forte perméabilité permet de suggérer un programme naturel d'exploitation de la nappe, tant sur le plan de l'eau industrielle que de l'eau potable.

*
**

A une question de M. GULINK, M. G. WATERLOT précise que le forage des Hudions est situé dans une zone où la nappe est captive. L'abaissement de 13 m qui y a été constaté traduit uniquement l'importance des pompages industriels situés à l'amont.

M. HACQUAERT remarque que les nappes captives réagissent beaucoup plus vite que celles qui ne le sont pas.

M. PUIBARAUD demande s'il est possible d'évaluer le pourcentage d'eau contenue dans les 20 à 25 m de craie qui existent encore sous le niveau piézométrique.

M. RICOUR répond que ce pourcentage varie énormément d'un point à un autre mais qu'il est impossible à l'heure actuelle de donner des chiffres précis.

M. ACHTEN déclare qu'il ne partage pas du tout l'opinion générale quant à l'importance attribuée à la mesure des niveaux piézométriques. Selon lui, l'abaissement des niveaux piézométriques n'a aucune signification quant à l'appauvrissement des nappes aquifères.

D'une longue discussion à laquelle prennent part MM. LÉVÊQUE, BOUROZ, G. WATERLOT et RICOUR, il ressort que le point de vue de M. ACHTEN est tout à fait défendable tant que l'abaissement est localisé autour d'un point de pompage, lorsque les propriétés physiques du réservoir sont constantes et lorsque l'épaisseur de la nappe est importante. Dans le cas du Nord de la France, le

phénomène d'abaissement est régional, la perméabilité du réservoir décroît vers la profondeur et le substratum imperméable n'est qu'à une vingtaine de mètres sous le niveau piézométrique. L'abaissement constaté ne signifie pas un appauvrissement de la nappe mais une surexploitation de celle-ci.

M. MARLIÈRE, Président de séance, conclut :

« Je tiens à faire remarquer plusieurs points :

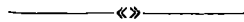
1° M. ACHTEN nous parle de *rabattements* infligés à la nappe, mais pas des fluctuations du niveau piézométrique ; il y a là une différence fondamentale.

2° M. ACHTEN concède que le débit Q d'un ouvrage est fractionné en débits $\frac{Q}{2}$ puis $\frac{Q}{4}$, ...ce qui implique évidemment une perte pour chaque ouvrage.

3° Enfin, M. ACHTEN se place dans un cas très particulier où seules sont mises à contribution les *ressources de régimes* annuellement reconstituées, ce qui n'est malheureusement plus toujours le cas ».

M. LÉVY demande le parti que l'on peut tirer d'une carte hydrogéologique comme celle qu'a présentée M. G. WATERLOT.

M. WATERLOT répond qu'il ne faut pas attacher une valeur trop importante à de telles cartes qui dégrossissent la question et n'empêchent pas que, pour chaque cas particulier, il faille étudier le problème en détail.



Essais de détermination des transmissivités hydrauliques de la nappe de la craie ⁽¹⁾

par Eugène BERKALOFF

M. BERKALOFF donne diverses valeurs de la transmissivité de la nappe de la craie dans quelques secteurs très localisés et étudie les variations de la transmissivité provoquées par les acidifications.

*
**

M. GANTOIS demande des précisions sur le fait que les bénéfices de l'acidification pratiquée sur un forage s'atténuent dans le temps.

M. BERKALOFF répond que si le débit initial a été doublé au moment de l'essai, le débit à l'échéance de 2 ans sera peut-être de 20 % supérieur à celui prévu sans acidification, mais que si l'on a obtenu un débit initial double on ne peut pas dire que la quantité totale d'eau pompée sera double.

Ce fait s'explique par l'extension du cône de dépression qui devient plus rapide dans le cas d'une acidification.

M. LEROUX affirme que les résultats des acidifications qu'il a étudiées sont durables et de valeur constante.

M. BERKALOFF répond que cela est possible si le cône d'influence ne s'étend pas au delà de la zone affectée par l'acidification.

M. MARLIÈRE conclut en précisant qu'il est bien évident qu'une acidification ne modifie pas les ressources disponibles ni l'état d'une nappe aquifère. Elle a un effet sur la *perméabilité du réservoir* dans un *rayon limité* ; bien entendu, si la nappe est pauvre, le résultat restera proportionné aux ressources ; mais l'opération est bénéfique dans tous les cas à sa connaissance.

Il remercie M. BERKALOFF et donne la parole à M. CASTANY qui présente une note de M. MÉGNIEU.

(1) Le texte de cette communication ne nous est pas parvenu.

Caractères hydrologiques de la craie de l'Yonne

par Claude MÉGNIEUX (1)

(Pl. XVIII)

La Craie est bien développée dans le Bassin de la Vanne, d'une superficie de 480 km², où elle constitue la roche magasin d'une importante nappe aquifère à l'origine de nombreuses sources captées pour l'alimentation en eau potable de la Ville de Paris (aqueduc de la Vanne).

L'inventaire des points d'eau, sources et puits, et des cavités souterraines, l'analyse des expériences, coloration, les relevés de niveaux piézométriques à différentes époques de l'année, livrent des faits à partir desquels des interprétations peuvent être tentées.

Deux types de circulation des eaux souterraines ont pu être étudiés dans la même assise aquifère :

- système karstique ;
- système de nappe.

Système karstique

La Craie du bassin de la Vanne est riche en fissures ouvertes et en cavités souterraines témoins d'une *hydrogéologie karstique active*. Des rivières souterraines, des abîmes ont été explorés. Des expériences de coloration ont mis en évidence des écoulements préférentiels à circulation rapide (fig. 1).

Les vitesses moyennes d'écoulement de l'ordre de 160 m/h montrent l'existence d'un régime karstique à écoulement turbulent.

Système de nappe

L'étude et le relevé systématique des points d'eau (plus de 180) ont manifesté la présence d'une nappe aquifère dont les caractéristiques sont résumées sur des cartes :

- carte en courbes isopièzes ;
- répartition des températures ;
- carte des résistivités de l'eau.

Des *cartes en courbes isopièzes* ont pu être dressées à différentes époques. Les eaux souterraines de la Craie du Bassin de la Vanne constituent donc une nappe libre typique avec *surface piézométrique* bien caractérisée.

L'étude morphologique de cette surface piézométrique met en évidence un écoulement laminaire général vers les vallées de l'Yonne à l'Ouest et de la Vanne au N (fig. 1). Trois axes de drainage, sous les vallées, correspondent aux trois vallées principales et aux zones d'écoulement karstique reconnues par les colorations.

La *carte des températures* montre quatre groupements de sources. Les lambeaux de terrains tertiaires renferment des eaux à températures très basses inférieures à 9°. Le fond des vallées apparaît avec des températures comprises entre 9 et 10° alors que les émergences de la Vanne et les puits des plateaux atteignent le maximum avec 11°. La majorité des points d'eau est caractérisée par une température de 10 à 11°.

Les *résistivités* sont très variables et difficiles à interpréter.

L'étude hydrogéologique de la Craie du bassin de la Vanne montre donc dans la même couche aquifère la coexistence d'un régime hydrogéologique karstique et d'une nappe.

Coexistence du karst et de la nappe

Dans le cadre du bassin de la Vanne, nous devons admettre qu'il y a coexistence de deux types de circulation dans la craie. Les précipitations atmosphériques s'infiltrent dans la craie et forment une nappe qui s'écoule lentement vers les sources. Il existe, par ailleurs, des conduits karstiques, souvent axés sur des vallées, qui sont des zones de circulations préférentielles.

Quand les relevés des niveaux piézométriques ont été effectués en mars 1959, la nappe était plus

(1) Note présentée en séance par M. G. CASTANY.

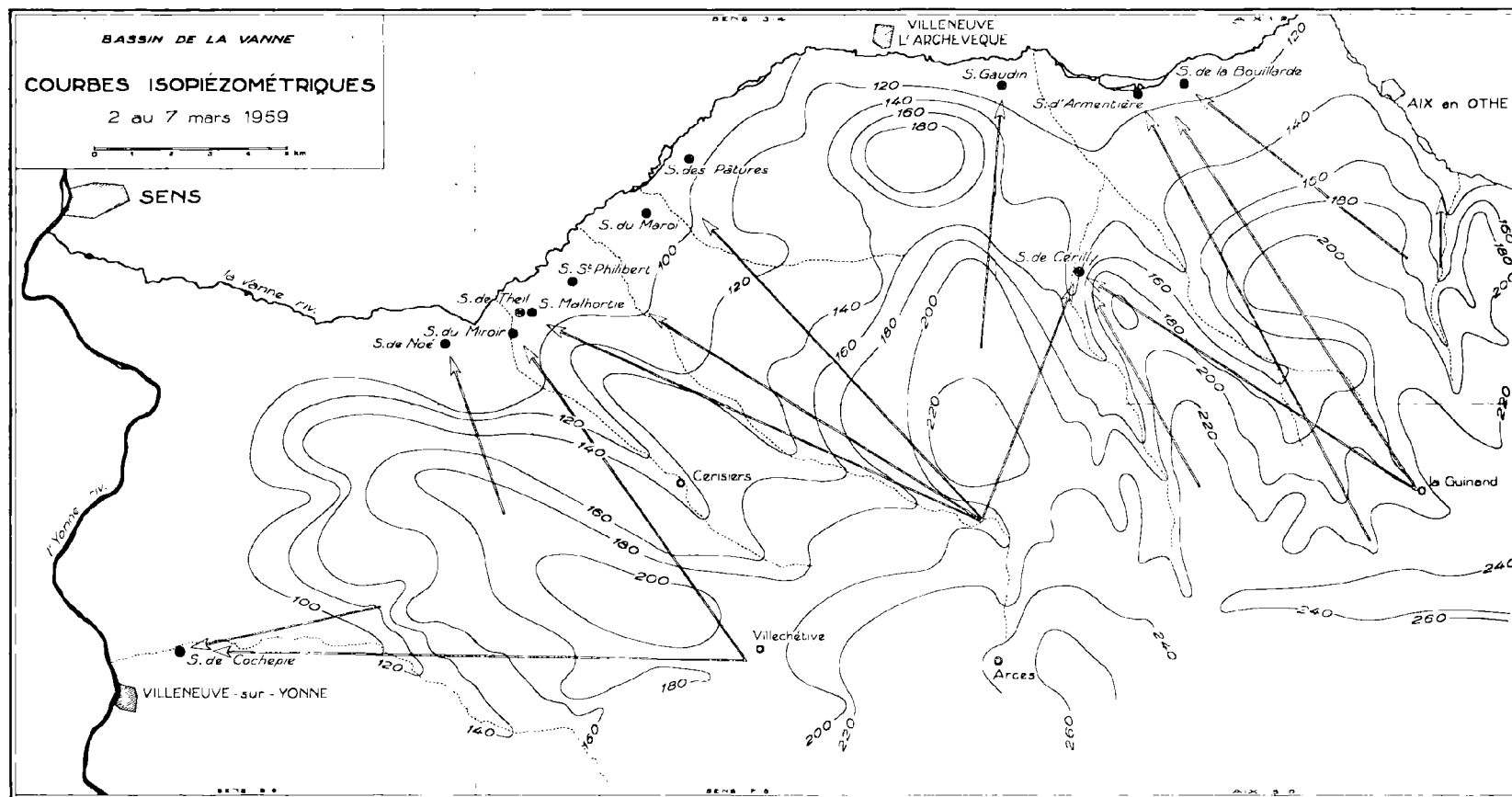


FIG. 1. — Cette carte montre la surface piézométrique de la nappe de la craie en mars 1959.
Les flèches indiquent les principaux trajets souterrains, de type karstique, reconnus dans ce bassin.

haute que la rivière souterraine de La Guinand. Les galeries étant à 28 m sous le sol, le niveau d'eau de tous les puits, et en particulier du puits d'accès Guerrée, indiquaient le niveau piézométrique de la nappe à 17 m 70 de profondeur, c'est-à-dire que le karst était noyé.

Lors du second relevé piézométrique, en octobre 1959, on a pu remarquer que dans le puits Guerrée le niveau de l'eau était à 27,70 m. Il ne restait plus, dans le karst, que 0,30 m d'eau que l'on entendait d'ailleurs couler. En période très sèche, M. GUERRÉE nous a confirmé que la rivière souterraine ne coulait plus.

Nous avons reporté sur la fig. 2 une carte des abaissements du niveau des puits entre les relevés de mars et d'octobre 1959, en dessinant, par des grisés d'intensité différente, les zones de rabattement différent.

On remarque sur cette carte les phénomènes suivants :

1) Il existe un abaissement moyen de 5 m de la nappe aquifère dans le bassin versant des sources hautes et un abaissement moyen de 2 m dans le bassin versant des sources basses et des sources de Cochepies. Ceci montre que dans le Turonien l'écoulement est plus intense que dans le Sénonien, et on rejoint ici des observations déjà citées à propos des colorations à la fluorescéine.

2) Sur chaque plateau, on observe un abaissement de 5 à 10 m au sommet de la nappe. Une exception est cependant faite pour le dôme compris entre les sources basses et les sources de Cochepies.

3) Dans chaque vallée, l'abaissement de la nappe est très important, surtout dans la partie moyenne de leur cours où il atteint même parfois 20 m. C'est un véritable rabattement de la nappe par le sous-écoulement de la vallée, ce qui montre une forte perméabilité soit par l'altération de la craie, soit par le développement des karsts associés aux vallées, comme c'est le cas pour La Guinand.

Les relations du karst et de la nappe sont donc ici les suivantes :

1° En période de crue, la surface piézométrique de la nappe est plus haute que le karst et ce dernier joue le rôle de *drain* dans le niveau aquifère dont il rabat légèrement le niveau piézométrique ;

2° En période normale, le niveau piézométrique de la nappe correspond sensiblement à celui des

réseaux karstiques. Le karst est alors une zone préférentielle d'alimentation et de drainage du système aquifère, suivant que l'on considère les conduits qui sont au-dessus ou au-dessous de la surface libre. La nappe a alors surtout un rôle de réservoir de régularisation.

Dans les deux périodes ci-dessus, on peut expliquer les contradictions enregistrées entre les vitesses de circulation déduites des colorations d'une part et des réactions des sources aux pluviométries d'autre part. En effet, si la *grande* masse d'eau stockée dans les pores et dans les fines diaclases de la craie circule très lentement, dès qu'une *petite* quantité de cette eau arrive dans un conduit karstique, elle s'écoule avec une vitesse plus grande vers les exutoires. L'écoulement, qui était laminaire, devient alors turbulent et il y a développement du karst.

3° En période d'étiage, la nappe descend au-dessous des conduits karstiques. Le débit des sources a baissé mais il reste assez constant car il y a uniquement une circulation de la nappe. Le karst fonctionne seulement pour conduire à la nappe quelques brusques précipitations atmosphériques.

Le détail de ce mécanisme semble très complexe ; non seulement il y a coexistence des deux phénomènes, écoulement laminaire et écoulement karstique, mais l'un peut devenir prépondérant sur l'autre suivant l'époque considérée. Encore, dans cette étude, n'avons-nous examiné que les variations saisonnières, sans évoquer les changements climatiques quaternaires.

Composition chimique des eaux souterraines

Nous donnons dans le tableau joint des extraits des analyses effectuées en 1899 par le Service de Contrôle des Eaux de la Ville de Paris. C'est la seule année où nous avons pu trouver des analyses systématiques des sources réalisées dans le même mois, donc comparables entre elles.

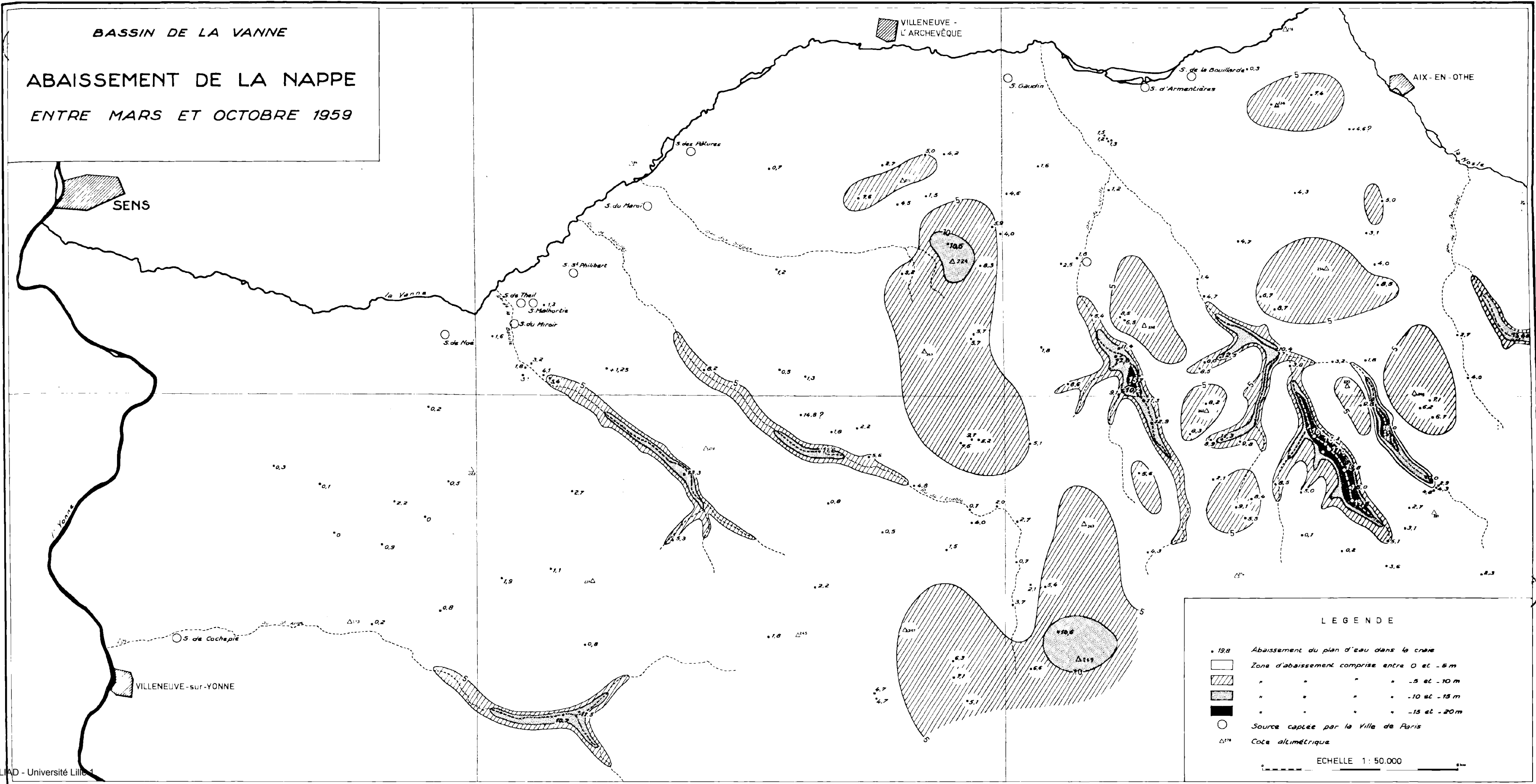
On constate qu'il y a très peu de différence entre les sources malgré les apports en eaux alluvionnaires de certaines d'entre elles. L'écart maximum des duretés est seulement de 3°5 hydrotimétriques.

Les eaux ont une minéralisation qui est relativement peu importante. La teneur en CaO, qui varie ici entre 105 et 128 mg/l, est faible quand on pense que ces eaux circulent dans du carbonate de calcium pulvérulent que représente la craie.

BASSIN DE LA VANNE

ABAISSSEMENT DE LA NAPPE

ENTRE MARS ET OCTOBRE 1959



LEGENDE

- 19.8 Abaissement du plan d'eau dans le crâne
- Zone d'abaissement comprise entre 0 et -5 m
- ▨ " " " " -5 et -10 m
- ▩ " " " " -10 et -15 m
- " " " " -15 et -20 m
- Source captée par la Ville de Paris
- △¹⁷⁸ Cote altimétrique

ECHELLE 1 : 50.000

Comme nous le faisait remarquer M. Mazoit, chargé du Contrôle des Eaux, et qui nous a beaucoup aidé dans cette étude, le débit moyen du bassin de la Vanne, de 2 m³/s, correspond à un transport de 419 g de CO₂Ca par seconde, soit 36 tonnes par jour ou 13.000 tonnes par an. On se

représente les cavités karstiques qui peuvent ainsi se former. Nous avons calculé que si on supposait la continuité des phénomènes, il ne faudrait que 5 millions d'années pour dissoudre complètement le plateau d'Othe. C'est un ordre de grandeur assez faible dans les temps géologiques !

Source et date (année 1899)	Degré hydroti- métrique	CaO total mg/l	Cl mg/l	Mat. org. mg/l	N nitrique mg/l	N nitreux mg/l	Résidu sec 180° mg/l
SOURCES HAUTES :							
Bouillarde et drain 20/9	23,5	127	5	0,3	1,8	0	288
Armentières ppl 20/9	20,1	106	4	0,6	2,1	0	245
Armentières aval 20/9	20,3	116	5	0,9	2,1	0	257
Cerilly 18/10	20,6	116	5	0,6	1,8	0	265
Drain de Flacy 20/9	24,3	128	5	0,7	1,9	0	301
Gaudin 20/9	23,1	120	5	0,5	2,8	0	290
SOURCES BASSES :							
Pâtures 20/9	22,1	115	4	0,6	3,4	0	275
Maroi 6/9	22,7	120	4	0,4	1,9	0	276
Drain du Maroi 6/9	22,7	120	4	0,4	1,9	0	276
St-Philibert 6/9	21,0	113	4	0,2	2,3	0	256
Malnortie 6/9	19,4	106	5	0,2	2,1	0	238
Auge-Cic-Caprais 6/9	18,8	108	5	0,2	2,1	0	243
Miroir 6/9	19,6	105	5	0,2	1,9	0	238
Noé 6/9	20,5	108	4	0,5	2,2	0	250
SOURCES DE COCHEPIES :							
Source principale 19/9	20,9	115	5	0,4	2,2	0	259

ANALYSES CHIMIQUES DES SOURCES DU BASSIN DE LA VANNE
(Laboratoires de Contrôle des Eaux de la Ville de Paris)

Essai de calcul du bilan

A - LES DONNÉES.

1) *Météorologie.*

Depuis 1952, nous connaissons la pluviométrie à Arces, Bérulles, Coulours, Cerisiers et Sens. Les postes de Sens et de Dixmont ont une position de vallée ouverte aux vents d'Ouest et leurs données ne représentent pas la pluviométrie sur le bassin. De même, Arces, située sur un sommet, doit être éliminée. Nous avons pris comme référence les pluviométries enregistrées à Cerisiers, qui est au centre du bassin, et qui donne des valeurs comparables à celles de Bérulles et de Coulours.

Seule, Auxerre donne des mesures de températures depuis 1952. Nous les avons utilisées car les températures sont très proches de celles relevées ces dernières années par le nouveau poste de Sens.

2) *Surface du bassin.*

L'étude intéressant l'ensemble des sources hautes, des sources basses et des sources de Cochepies, nous avons délimité le bassin superficiel qui leur correspond. Le relevé des courbes isopiézométriques a montré que les limites de la nappe et du bassin hydrographique d'ensemble étaient sensiblement superposées.

L'évaluation de la surface a été effectuée à l'échelle du 1/100.000, à l'aide d'un calque millimétré, avec une erreur certainement inférieure à 1 %. Elle a été évaluée, dans ces conditions, à 480 km².

3) *Débit des sources.*

Le débit total des sources est donné par le Service des Dérivations de la Ville de Paris qui effectue des jaugeages tous les 15 jours. Ce débit

comprend celui de l'eau utilisée dans l'aqueduc et les sources en décharge. Il faut remarquer que les débits des drains alluvionnaires sont comptés dans ce total, mais, en fait, ils compensent les pertes de la nappe en dehors des sources. Nous possédons les relevés bi-mensuels depuis 1952 jusqu'en 1958.

B - ESSAI D'UN BILAN.

1) *Coefficient d'infiltration correspondant au débit des sources.*

En fonction des données que nous avons exposées, nous avons essayé de calculer le coefficient d'infiltration, c'est-à-dire le pourcentage de la

pluviométrie qui ressort aux sources. Nous avons pris comme comparaison non pas les débits mais les hauteurs d'eau en mm qui peuvent être directement comparées à la pluviométrie.

Le débit annuel des sources converti en hauteurs d'eau est donné par la formule :

$$H_i = Q_m \times \frac{31.536.10^3}{480.10^6} \times 1.000$$

H_i = hauteur d'eau d'infiltration en mm.
 Q_m = débit moyen en m³/s pendant l'année considérée.
 t = temps = 365 jours = 31.536.000 secondes.
 S = surface du bassin versant = 480.10⁶ m².

$$\text{ou } H_i = Q_m \times 67,5$$

Année	Pluviométrie à Cerisiers	Débit moyen des sources	Infiltration correspondante	% d'infiltration
1952	992 mm	2009 l/s	132 mm	13,4 %
1953	515 mm	1802 l/s	118 mm	23 %
1954	655 mm	1225 l/s	80 mm	12,2 %
1955	804 mm	1776 l/s	117 mm	14 %
1956	672 mm	1459 l/s	96 mm	14,2 %
1957	638 mm	1397 l/s	92 mm	14,2 %
Total de 1952 à 1957 : 4276 mm			635 mm	15 %

Nous constatons que la quantité d'eau qui s'écoule aux sources de la Vanne correspond à une infiltration de 12,2 à 23 %. Sur les 6 années, elle est en moyenne de 15 % (voir fig. 2). D'autre part, d'une année à l'autre, la hauteur d'eau infiltrée est assez constante et ne dépasse pas 28 % d'écart par rapport à la moyenne, tandis que les précipitations varient de 40 % par rapport à leur moyenne.

2) *Bilan total.*

Nous avons calculé le coefficient d'infiltration I. Le complément correspondant à la hauteur de précipitation P se répartit en deux portions qui suivent un sort différent : l'une est reprise par l'évapo-transpiration réelle E, l'autre par le ruissellement R.

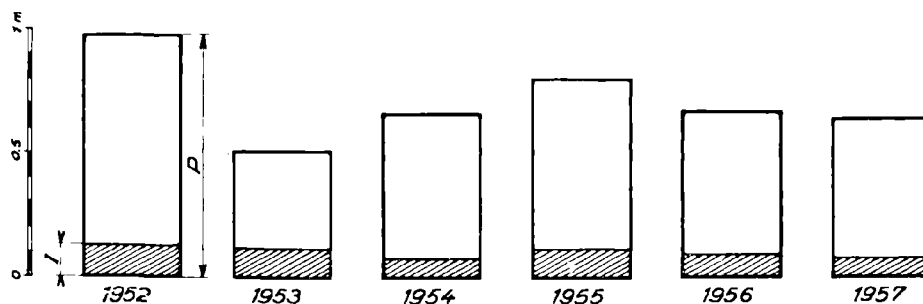


FIG. 2. — Rapports entre la pluviométrie P et l'infiltration I

La formule du bilan hydrologique est donc :

$$P = I + E + R$$

Pour établir le bilan, il est nécessaire de déterminer trois facteurs : infiltration, évapo-transpiration réelle et ruissellement. L'infiltration est connue.

L'ordre de grandeur de l'évapo-transpiration réelle est donnée par la formule de Turc :

$$E = \frac{P}{0,9 + \frac{P^2}{(300 + 25t + 0,05t^2)^2}}$$

E = évapo-transpiration annuelle en mm.
 P = hauteur de précipitation moyenne annuelle.
 t = température moyen. annuelle en degrés centigrades.

Les chiffres dont nous disposons sont les suivants.

Année	Pluviométrie Cerisiers	Température Auxerre	Evaporation
1952	992 mm	10°8	540 mm
1953	515 mm	10°87	414 mm
1954	655 mm	10°28	457 mm
1955	804 mm	10°75	571 mm
1956	672 mm	9°26	445 mm
1957	638 mm	10°83	462 mm

On aurait donc le bilan suivant :

Année	Pluvio-métrie totale	Evapo-ration	Infil-tration	Ruisselle-ment (par différence)
1952	992 mm	540 mm	132 mm	420
1953	515 mm	414 mm	118 mm	— 17 (?)
1954	655 mm	457 mm	80 mm	118
1955	804 mm	571 mm	117 mm	116
1956	672 mm	445 mm	96 mm	131
1957	638 mm	462 mm	992 mm	74

La hauteur d'eau qui correspond au ruisselle-ment annuel est très variable ; elle atteint même une valeur négative en 1953. Il est probable que les pluies abondantes de 1952 avaient emmagasiné des réserves qui n'ont été utilisées qu'en 1953,

de telle sorte que le bilan de 1953 n'est pas équi-libré, car on ne tient pas compte de l'« avoir » au début de 1952. Ce bilan par année n'est donc pas correct.

Pour éliminer les influences, il est préférable de prendre l'ensemble des années 1952-1957. On obtient alors :

Evapo-transpiration réelle moyenne annuelle	480 mm	67,5 %
Infiltration moyenne annuelle	106 mm	15,0 %
Ruissellement moyen annuel	124 mm	17,5 %
<hr/>		
Hauteur de précipitation moyenne annuelle	710 mm	100 %

C - EVALUATION DES RÉSERVES.

Pour évaluer l'ordre de grandeur des réserves, nous avons employé la méthode de A. Coutagne sur la courbe de tarissement des sources. Si une source draine la totalité d'un bassin versant, après l'arrêt des précipitations saisonnières, la courbe de déerue des débits en fonction du temps est représentée par une équation de la forme :

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-b \cdot t}$$

L'intégration de cette fonction de $t = 0$ à l'infini donne les réserves théoriques du bassin.

Les constantes de l'équation sont données graphiquement par sa droite représentative.

Cette dernière peut être construite en portant sur un diagramme semi-logarithmique, en ordonnées logarithmiques, les débits au cours de tarissement et les temps correspondants en abscisses arithmétiques.

Nous avons appliqué cette méthode à la déerue du débit total des sources, de Mars à Novembre 1955, car elle est la plus rapide des 6 années étudiées, donnant ainsi le maximum de sécurité sur les réserves bien que les précipitations aient été de 460 mm pendant cette période. Nous avons étudié un ordre de grandeur maximum des réserves.

La courbe de tarissement de la figure 3 a une équation théorique suivante :

$$Q \text{ m}^3/\text{s} = 2,6 \cdot e^{-0,00312 \cdot t \text{ (jours)}}$$

En intégrant de $t = 0$ à l'infini, on obtient un volume de 72.10^6 m^3 , volume qui doit être considéré seulement comme un ordre de grandeur maximum des réserves.

Pour avoir une idée du temps, on peut calculer qu'au bout de 2 ans, sans apport de précipitations, les réserves seraient dépensées aux $9/10$ et le débit ramené à $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$, pour un débit initial $Q_0 = 2,6 \text{ m}^3/\text{s}$.

D - POROSITÉ EFFICACE.

Si, à la suite des observations de terrain, on admet que la variation moyenne annuelle du niveau piézométrique est de 5 m sur l'ensemble du bassin de 480 km^2 et que la porosité de la craie est de 40 %, on obtient un volume d'eau de 960.10^6 m^3 , alors que les sources ne débitent annuellement que 47.10^6 m^3 .

La différence entre ces deux valeurs provient de l'erreur sur la porosité. En effet, si la craie a une porosité totale de 40 %, la porosité efficace est bien plus faible, car la rétention spécifique de la craie est très grande. La mise à égalité de ces deux valeurs permet donc de calculer la porosité efficace moyenne :

$$P. \text{ efficace} = \frac{47.10^6 \text{ m}^3}{480.10^6 \text{ m}^3 \times 5} \approx 2 \%$$

Cette valeur de 2 % est acceptable car elle s'accorde assez bien avec l'ordre de grandeur de la porosité efficace calculée en laboratoire sur des échantillons.

Conclusions

Les sources de la Vanne et leur bassin d'alimentation forment un ensemble hydrogéologique bien défini et très riche en enseignements.

1) Les nappes souterraines doivent leur existence à une succession stratigraphique qui fait reposer une grande masse de craie perméable sur un niveau de craie marneuse très continu, situé à la base du Turonien.

2) L'écoulement des eaux souterraines vers le NNW est déterminé par le pendage général et non par des accidents tectoniques localisés.

3) La craie contient une grande quantité d'eau qui peut atteindre 47 % de son volume. Mais quelques pour cent seulement peuvent être libérés et circuler dans la masse par un réseau de diaclases.

4) Les diaclases se répartissent en familles parmi lesquelles les diaclases obliques, très fréquentes, jouent un rôle prépondérant dans la circulation des eaux.

5) Il existe dans la craie d'importants phénomènes karstiques et même des rivières souterraines. Les colorations à la fluorescéine montrent que les eaux passent très facilement d'une vallée dans une autre vallée voisine, avec des vitesses moyennes de 4 km par jour.

6) Ces phénomènes karstiques n'excluent pas l'existence d'une véritable nappe aquifère bien qu'il ait été souvent admis que l'un des modes de circulation était incompatible avec le développement de l'autre. La surface piézométrique de cette nappe a été cartographiée pour la première fois dans le bassin des sources de la Vanne et elle montre une perte de charge régulière de 1 à 1,5 % depuis les sommets topographiques jusqu'aux trois groupes de sources.

7) Suivant l'époque de l'année considérée, les conduits karstiques sont émergés ou immergés et ils jouent, pour la nappe, le rôle de canal d'alimentation ou de drain.

8) Les sources ont un débit assez régulier et une température très stable. La résistivité électrique de l'eau, par contre, peut varier dans de larges limites à la suite de précipitations importantes, mettant en jeu le rôle des conduits karstiques.

9) Sur 6 années de mesures, l'infiltration moyenne annuelle correspond à 15 % des précipitations.

10) L'ordre de grandeur des réserves aquifères du massif crayeux est de 70 millions de mètres cubes.

Cette étude hydrogéologique marque l'état actuel des connaissances sur le fonctionnement du bassin des sources de la Vanne. Elle devrait cependant être reprise plus en détail si l'on envisageait la modernisation des captages, en vue d'un meilleur rendement.

*

**

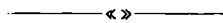
M. LEROUX demande si l'on explique les différences de température de l'eau.

M. CASTANY répond qu'une explication peut être fournie par le fait que la température atmosphérique est en général plus élevée sur les plateaux que dans les vallées.

M. MUNIER estime que ces variations peuvent être dues aux différences de la couverture forestière.

M. CASTANY pense la chose possible. Les moyennes sont plus élevées sur les plateaux couverts de forêts que dans les vallées qui sont en général couvertes de pâturages.

M. MARLIÈRE remercie M. CASTANY et donne la parole à M. INESON.



Observations sur l'interprétation de la dynamique de l'écoulement de l'eau souterraine dans la craie d'Angleterre (1)

par Jack INESON

L'analyse des fluctuations naturelles et artificielles du niveau de l'eau dans la craie d'Angleterre a été entreprise par la Section hydrogéologique du Service géologique de Grande-Bretagne en vue d'obtenir des renseignements sur les propriétés hydrauliques de cette nappe. Nous avons pu montrer grâce à de nombreux exemples (en particulier là où la nappe est captive) que malgré la nature fissurée du réservoir, la craie se rapproche (sur des surfaces restreintes) d'un milieu poreux homogène, et que les études théoriques basées sur l'écoulement tant constant que variable sont conformes aux données d'observation. On a prêté une attention particulière à l'analyse des résultats d'essais de débit pendant le pompage et pendant la remontée.

Je ne puis citer que deux exemples. Le premier en Angleterre du Nord, où la craie est couverte par l'Argile à blocs et contient donc une nappe captive. Deux puits furent foncés dans la craie et des essais de débit exécutés d'abord sur chacun puis sur l'ensemble de ces puits. Des mesures constantes de niveaux furent exécutées dans cinq puits d'observation, situés radialement à des distances allant jusqu'à 700 m des deux puits d'essai. Ces mesures ont été faites durant le pompage et la remontée. Le pompage s'est effectué à un régime compris entre 135 et 260 m³/h. Toutes les observations furent conformes aux calculs théoriques d'un écoulement variable et la valeur moyenne de transmissivité pour tous les essais fut de 107,467 gallons britanniques par jour, soit 488 litres, et par pied (0,3048 m), avec un écart de part et d'autre de la moyenne, de seulement 9,360, ce qui correspond à 1.600 litres par jour et par mètre. Ces données confirment un état relativement homogène de l'aquifère, au moins jusqu'à la distance du puits d'observation le plus éloigné.

Le bien-fondé de la pratique d'essais de débits sur des ouvrages neufs doit être mis en évidence

(1) Communiqué avec l'autorisation du Directeur du Service géologique de Grande-Bretagne.

lors de la mise en marche définitive d'une station de pompage. Des essais de débit furent effectués sur deux puits forés dans la craie dans une région où la nappe est captive. Les valeurs des constantes de la formation furent fournies par l'analyse de l'écoulement autour des puits et des variations de la perméabilité en direction furent confirmées (J. INESON, 1953, « Observations on pumping tests carried out in the chalk », *Trans. Inst. Water Engrs*, vol. 7, n° 3, p. 215). Quatre ans plus tard, la station de pompage fut mise en service permanent pendant les mois d'été, à un régime de 280 m³/h. Les variations du niveau piézométrique dans des puits situés jusqu'à 2000 m de la station ont été étudiés depuis 1954. L'étroite parenté entre les courbes théoriques de dépression et celles établies par les données d'observations donnent de la valeur aux prévisions théoriques déduites des essais. A partir de 1957, la station fut mise en service continu. Au bout de 18 mois, il y avait encore un certain fléchissement continu des niveaux de l'eau provoqués par ce prélèvement.

Quoiqu'on ait là deux exemples isolés, nous avons pu prévoir l'effet du prélèvement dans la craie avec un certain degré de précision grâce à l'interprétation des essais de débit. Du fait que l'écoulement d'eau souterraine à travers un aquifère non captif se prête moins à l'étude théorique que celui à travers un aquifère captif, les résultats obtenus sur des nappes libres n'ont pas été aussi remarquables.

Il faut remarquer toutefois que toutes les données ne peuvent pas être analysées aussi simplement que les deux exemples ci-dessus. Les effets d'apports d'eau provenant des couches sus-jacentes, et d'apports venant de la masse de la craie vers le système de fissures doivent être pris en considération. Des variations systématiques des valeurs de la transmissivité et du coefficient d'emmagasinement ont été définies dans la craie aussi bien dans le temps depuis le début du pompage ou de la remontée, que dans l'espace (du point d'observation vers le puits). Des déterminations de transmissivité établies d'après

des données dynamiques recueillies dans les puits ont confirmé que ces valeurs ne représentent pas nécessairement les conditions de l'aquifère autour des puits.

Nos fichiers contenant une grande quantité de données acquises au cours d'une longue période, d'autres voies empiriques ont été empruntées pour tenter d'expliquer les variations de la perméabilité de la craie. Quand la chose était possible, nous avons adopté des méthodes statistiques et techniques. Dans la zone où la nappe de la craie est captive, on a montré qu'il existe une corrélation ($P < 0,02$), significative sur le plan des statistiques, entre la transmissivité et le coefficient d'emmagasinement de cet aquifère. A partir des résultats de 200 essais de débit, on a établi des courbes de dépression et celles-ci purent être classées en deux groupes clairement définis. On a montré par l'analyse régressive multiple que la transmissivité de la craie déterminée dans le puits en pompage pouvant être corréllée en forme de la courbe de dépression de débit (J. INESON, 1959, « Yield-depression curves of discharging wells with particular reference to chalk wells and their relationship to variations in transmissibility », *J. Instn. Water Engrs.*, vol. 13, n° 2, p. 119). Cette méthode a été utilisée pour déterminer des variations régionales dans la transmissivité de la craie.

La rigidité de la craie a été étudiée au moyen des fluctuations naturelles du niveau de la nappe au repos causées par des changements de pression barométrique, la montée de la marée et la propagation d'ondes dues à des séismes.

Un des plus sérieux problèmes dans la mise en valeur de la nappe de la craie est la baisse continue des niveaux piézométriques dans certaines régions qui résulte de prélèvements supérieurs à la réalimentation. Un problème semblable paraît exister en France. La surface piézométrique de la craie, dans la partie centrale du bassin de Londres, a baissé de plus de 70 m pendant les derniers cent ans. La baisse continue encore dans quelques régions. L'instauration d'une législation (décret sur les eaux d'Angleterre, 1945 et 1948) a été utile dans ce domaine et une autorisation préalable est à présent requise dans la plupart des régions pour réaliser un captage dans la nappe de la craie.

Une limite maximale peut maintenant être fixée pour la quantité d'eau souterraine qu'on peut tirer

de la craie au moyen d'un forage. D'autres conditions peuvent être aussi incluses dans une telle autorisation dans le but de réduire l'effet d'un nouveau prélèvement. Un des plus graves problèmes de la baisse causée aux niveaux de l'eau par la surexploitation est l'inversion de flux au voisinage de la mer.

La réalimentation artificielle de la nappe de la craie a été effectuée expérimentalement au N du bassin de Londres et a empêché localement la baisse continue des niveaux statiques. Nous étudions actuellement activement la conséquence de la recharge artificielle de la craie. Ce travail fait l'objet d'une partie de notre programme de recherches (S. BUCHAN, 1955, « Artificial replenishment of aquifers », *J. Instn. Water Engrs.*, vol. 9, n° 2, p. 111).

Les fluctuations naturelles des niveaux d'eau souterraine sont analysées au cours d'inventaires régionaux des ressources de la nappe de la craie en particulier en ce qui concerne les déficits pluviométriques et l'infiltration.

Des renseignements sur les variations des niveaux statiques de la nappe de la craie sont fournis par des enregistreurs automatiques, par des lectures hebdomadaires et mensuelles faites avec des instruments à main (on reçoit des observations sur environ 400 puits distincts) et par des mesures prises individuellement à la fin d'octobre de chaque année, comme la législation le requiert au paragraphe 6 du décret sur les eaux (Angleterre) de 1945. On estime qu'environ 3.000 lectures sont fournies sur les puits de la craie par cette dernière méthode. De plus, de nombreuses centaines de mesures de niveaux d'eau sont prises par les membres de la Section hydrogéologique lors du travail sur le terrain en liaison avec les inventaires hydrogéologiques. Environ 500 nouvelles déclarations de forages d'alimentation en eau dans la craie sont reçues chaque année par le Service géologique. Chaque déclaration comporte quelques renseignements sur les niveaux d'eau.

La Section hydrogéologique du Service géologique demeure en liaison étroite avec d'autres organismes intéressés aux problèmes et à la recherche hydrogéologique comme par exemple les compagnies d'alimentation en eau, les ministères, les universités et les associations professionnelles.

M. MARLIÈRE remercie M. INESON pour les intéressantes précisions qu'il vient de fournir et prie M. FOURMARIER de reprendre ses fonctions présidentielles.

M. FOURMARIER remercie tous les orateurs de la journée et plus particulièrement M. INESON qui est venu nous montrer que les problèmes posés par la nappe de la craie étaient identiques de part et d'autre de la Manche. Il estime que des résultats appréciables pourront être obtenus grâce à une collaboration entre géologues anglais, belges, français et hollandais.

M. FOURMARIER insiste sur l'importance de l'étude du réservoir et exprime le vœu que des cartes de variations de faciès et des cartes isopaques soient établies. A ces documents devront être ajoutés les éléments tectoniques surajoutés aux données sédimentologiques et capables de modifier profondément les propriétés du réservoir.

- - - - «» - - -

Dynamique de la nappe de la craie à Aubergenville (Seine-et-Oise) en aval de Paris (1)

par R. KARPOFF (2)

Introduction

Pour satisfaire aux besoins constamment croissants en eau potable de Paris et de sa banlieue, la Société lyonnaise des eaux a confié en 1956 à son Bureau d'Etudes, la Société anonyme française d'Etudes de Gestion et d'Entreprises, la tâche de délimiter et d'examiner le comportement du gîte aquifère connu sous le nom de nappe d'Aubergenville. Cette nappe avait retenu l'attention des services techniques de la Ville de Paris et de la S.L.E.E., et des forages et puits d'essai avaient été effectués.

Le bref aperçu qui suit n'est qu'un des chapitres des études abordées depuis cinq ans ; c'est l'œuvre de toute une équipe de techniciens. Elle a permis de prospecter une zone relativement étroite et longue, la plaine d'Aubergenville, où la craie renferme une nappe d'eau d'une excellente qualité à faible profondeur sous les alluvions de la Seine. Cette plaine se trouve à une trentaine de kilomètres au Nord-Ouest de St-Cloud. Elle fournira, dès 1961, un appoint de plus de 100.000 m³/jour d'eau à Paris et à sa banlieue.

Données hydrogéologiques

En aval de Paris, la Seine coule dans un lit fait d'une mince gangue d'alluvions modernes de nature sableuse ou vaseuse, encastré dans des alluvions plus ou moins anciennes formant une ou plusieurs terrasses, suivant les endroits. La largeur de la tranche alluviale est variable ; quant à son épaisseur, elle croît en général en direction de l'axe du lit mineur et d'amont en aval. La nature et l'âge du substratum sont fort variables : marneuse, calcaire ou argileuse et d'âge tertiaire à Paris et en

amont jusqu'à la Grande Paroisse, elle est crayeuse et d'âge crétacé à Boulogne, dans la plaine de Croissy et entre Vaux-sur-Seine et l'Océan. Ceci est dû à la forme générale en cuvette centrée sur Paris, de l'ensemble du bassin, ainsi qu'au passage du flanc Nord de l'anticlinal de Beynes-Meudon, décapé à Boulogne et à Croissy.

A partir de Meulan, la craie est définitivement dépouillée de sa couverture tertiaire le long de la Seine et recouverte d'alluvions jusqu'à l'embouchure du fleuve. La plaine d'Aubergenville se trouve en aval de Meulan ; elle montre donc sous son remplissage et sur ses flancs, des niveaux très élevés du Crétacé. Le Maestrichtien étant absent, les niveaux les plus élevés sont représentés par la craie à silex noirs d'âge campanien, puis santorien à l'Ouest au delà de Juziers. L'épaisseur totale du faciès crayeux doit atteindre près de 320 m y compris le Cénomaniens plus marneux.

Des plateaux dominant la vallée et montrent, entre le fond de celle-ci — (cote absolue 19 à 40 m) — et le sommet, aux Alluets — cote 185 m — une coupe très complète du Tertiaire, avec ses argiles sparnaciennes et très localement des calcaires montiens à la base, et ses argiles ou lœss et limons à débris de meulière aquitanaise de Beauce, reposant sur les sables de Fontainebleau au sommet. Nous laisserons volontairement tout examen du Tertiaire de côté ainsi que toute étude paléontologique et chimique de la craie, pour aborder immédiatement des considérations se rapportant plus directement au sujet.

La craie renferme une puissante nappe d'eau dans sa partie supérieure, sous-jacente aux alluvions plus perméables. Ce fait est dû à une grande fissuration de la roche, qui se montre sillonnée de diaclases verticales à plans diversement orientés. Certaines diaclases sont ouvertes, ainsi qu'on a pu le constater dans les gros ouvrages ; il ne semble pas toutefois qu'il y ait une direction de circulation

(1) Note présentée en réalité le 21-5-1960.

(2) Géologue à la S.A.F.E.G.E. et à la Société lyonnaise des eaux et de l'éclairage.

privilegiée. Les silex pourraient constituer des plans plus perméables que le milieu ambiant. Enfin, les failles quand il y en a, sont orientées du NW au SE et constituent de véritables drains collecteurs d'eau ; elles sont malheureusement impossibles à déceler en surface. La même difficulté se présente lorsque l'on cherche à savoir si la craie est marneuse ou cassante et fissurée sous sa couche d'alluvions : des campagnes de mesures des résistivités électriques, menées avec beaucoup de soins, n'ont pu aboutir à un résultat absolument probant.

La présence d'innombrables diaclases dans la craie et cela seulement dans sa tranche superficielle, ce qui la rend très perméable, peut être attribuée à différentes causes : solifluxion, même avec des pentes très faibles ; « foisonnement » ou « détente » une fois enlevée la charge des terrains tertiaires surincombants ; attaque chimique par les eaux superficielles ; enfin, attaque physique lors des climats glaciaires du Quaternaire. Cette dernière cause est peut-être la plus importante, car de nombreuses gravières et tranchées nous ont montré l'universalité du phénomène périglaciaire : allures en guirlande des alluvions, cryoturbation avec involutions et injections de la craie vers le haut, etc...

Dynamique de la nappe de la craie

Pour en revenir à la nappe de la craie, celle-ci, en période d'étiage, descend en pente douce du pied des coteaux vers la Seine, qui constitue le point le plus bas. Des observations faites sur un grand nombre d'ouvrages et cela de façon pratiquement continue depuis 1956, ont cependant permis de constater que cette règle subit des exceptions à certaines périodes de l'année. Au moment des crues d'hiver ou de printemps, la pente de la nappe peut en effet s'inverser et être dirigée de la Seine, devenue zone haute, vers le pied des coteaux devenu zone basse, sur une certaine distance tout au moins.

Nous allons décrire ce processus en nous inspirant des mesures faites en 1956-1957 sur des puits, des forages et des piézomètres répartis dans la plaine d'Aubergenville (fig. 1).

La pluviométrie locale (mesures faites à Carrières-sous-Poissy) montre un mois de septembre sec (17,3 mm) ; octobre, novembre et décembre 1956 sont déficitaires (37,9 ; 34,1 et 37,6 mm), et janvier 1957 est très sec (18,6 mm) ; par contre, février est un mois pluvieux (87,8) mais mars est sec (16,9 mm).

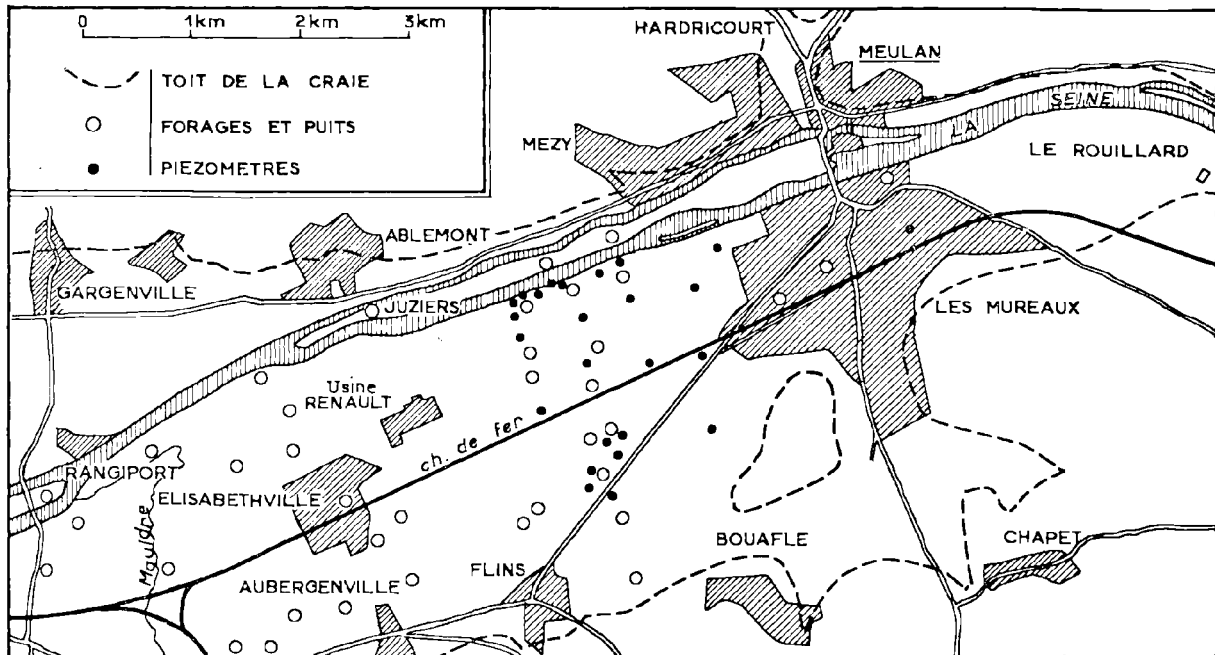


FIG. 1. — Plan de situation des points d'eau relevés (octobre 1959).

En relation avec ces pluies, plus ou moins « mouillantes » et plus ou moins susceptibles de ruisseler, ainsi qu'avec les précipitations atmosphériques sur l'ensemble du bassin, la Seine a connu deux crues légères les 3 et 18 décembre 1956 et une crue importante et assez longue débutant à la mi-février 1957. Les puits et forages ont accusé ces phénomènes de façons différentes ; ainsi a-t-on noté que certains ouvrages avaient suivi les variations de niveau de la Seine d'une façon assez fidèle, tandis que d'autres n'enregistraient pas les petites crues de décembre et n'accusaient celle de février qu'avec un plus ou moins grand décalage. On enregistre aussi la propagation d'ondes de crue de deux catégories : une onde rapide se répercutant très vite dans un certain nombre de forages, avec une descente évidemment plus amortie que celle de la Seine ; une onde plus lente et beaucoup plus importante que la première, intéressant toute l'étendue de la nappe de la craie et allant heurter le pied des plateaux bordant la plaine alluviale, avec un reflux très tardif, alors que la crue est passée depuis longtemps et que le niveau de la nappe de la Seine a déjà considérablement baissé. C'est ce que mettent en évidence les graphiques ci-contre, sur lesquels des perturbations sont enregistrées au Sud-Ouest, où débouche un affluent

de la Seine, la Mauldre. Cette rivière, qui coupe le célèbre anticlinal de Beynes-Meudon, possède des alluvions plus argileuses que la Seine, l'eau y circule plus difficilement et la pente de la nappe y est plus forte. que dans la vallée majeure.

Quant aux mesures et aux courbes isopiézométriques, quelques explications sont nécessaires. Le graphique de la figure 3 montre pratiquement un état d'étiage de la nappe peu perturbée par les petites crues de décembre. Le lecteur devinera naturellement que le trait tireté délimite la craie plongeant surtout à l'Est sous la couverture tertiaire. Un lambeau détaché d'argile sparnacienne est conservé au Nord de Bouafle ; la craie sous-jacente ne fut pas de ce fait soumise aux effets dislocateurs des glaciations quaternaires (voir plus haut). Ceci peut donc expliquer des perturbations locales de la nappe à son aval, surtout en période de crue.

Le graphique suivant montre le début de la déformation de la nappe sous l'impact brutal de la crue de la Seine. Les courbes remontent à partir du NE, de l'amont des Mureaux ; la courbe cotée 16 m 50 dessine une cuvette, par suite du relèvement du bord « Seine » jusque-là, en quelque sorte rabattu, avec une pente normale de la nappe vers le lit du fleuve.

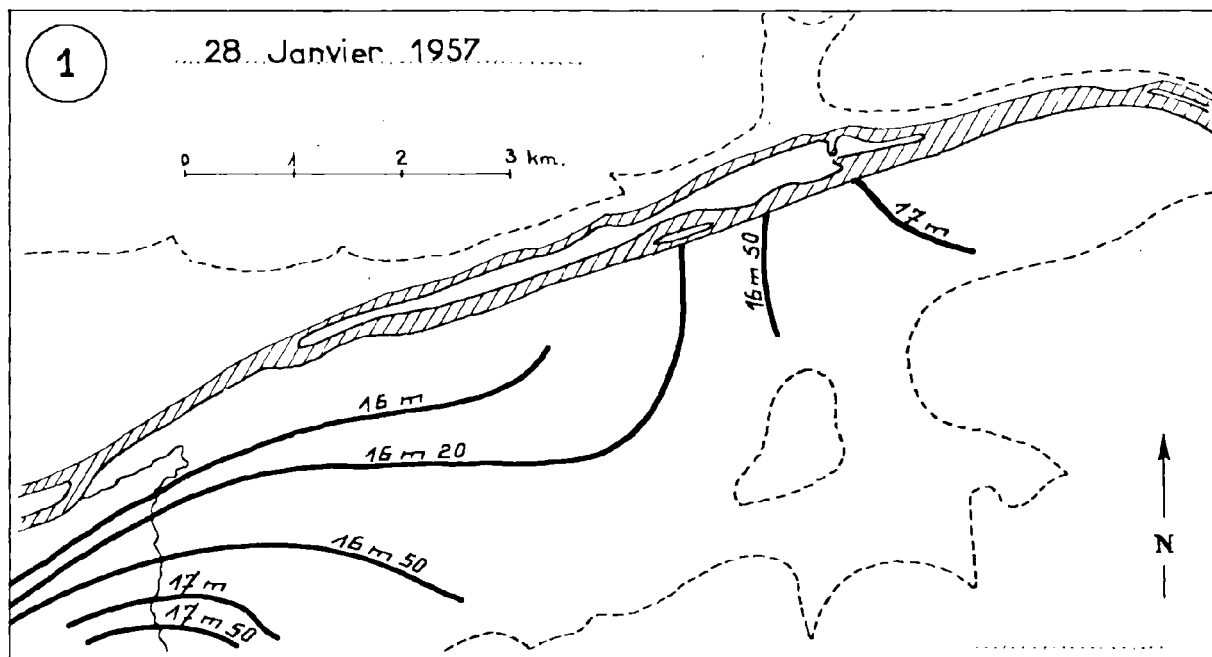


FIG. 2. Courbes isopiézométriques nappe de la craie.

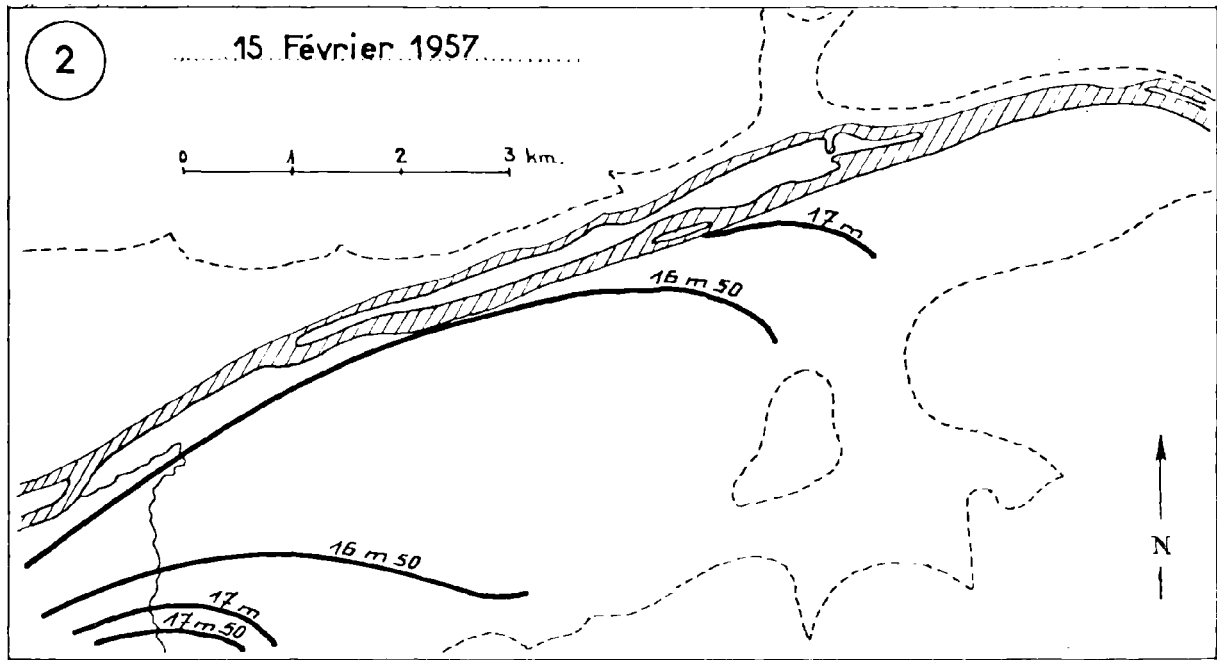


FIG. 3

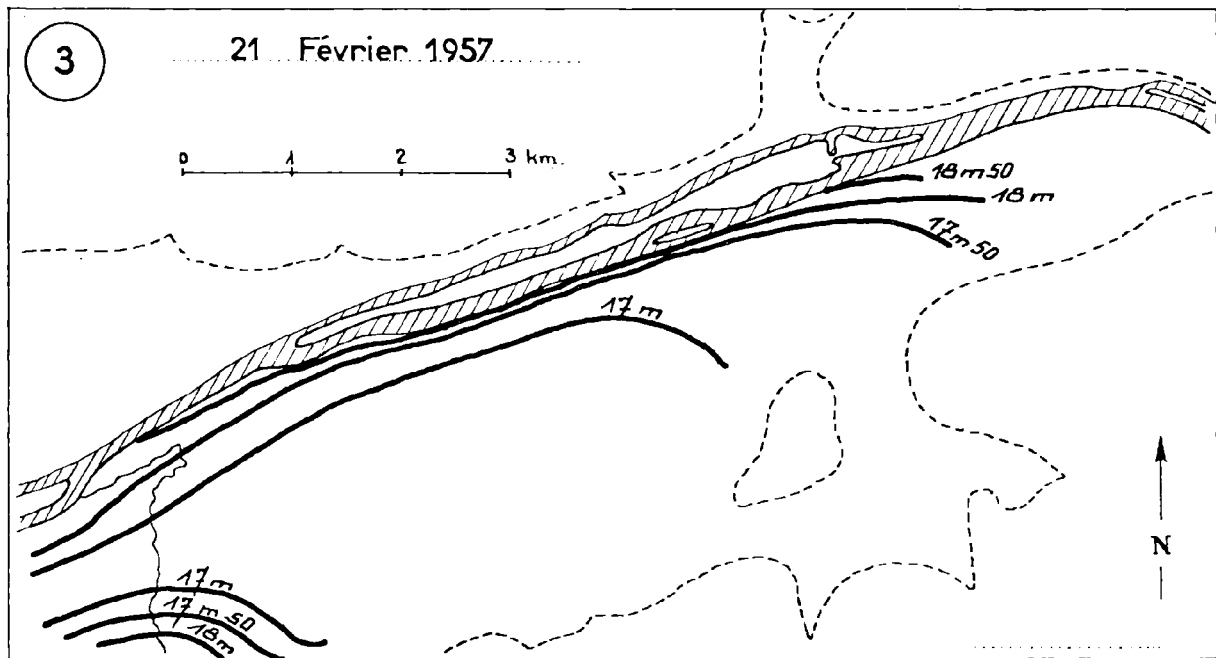


FIG. 4

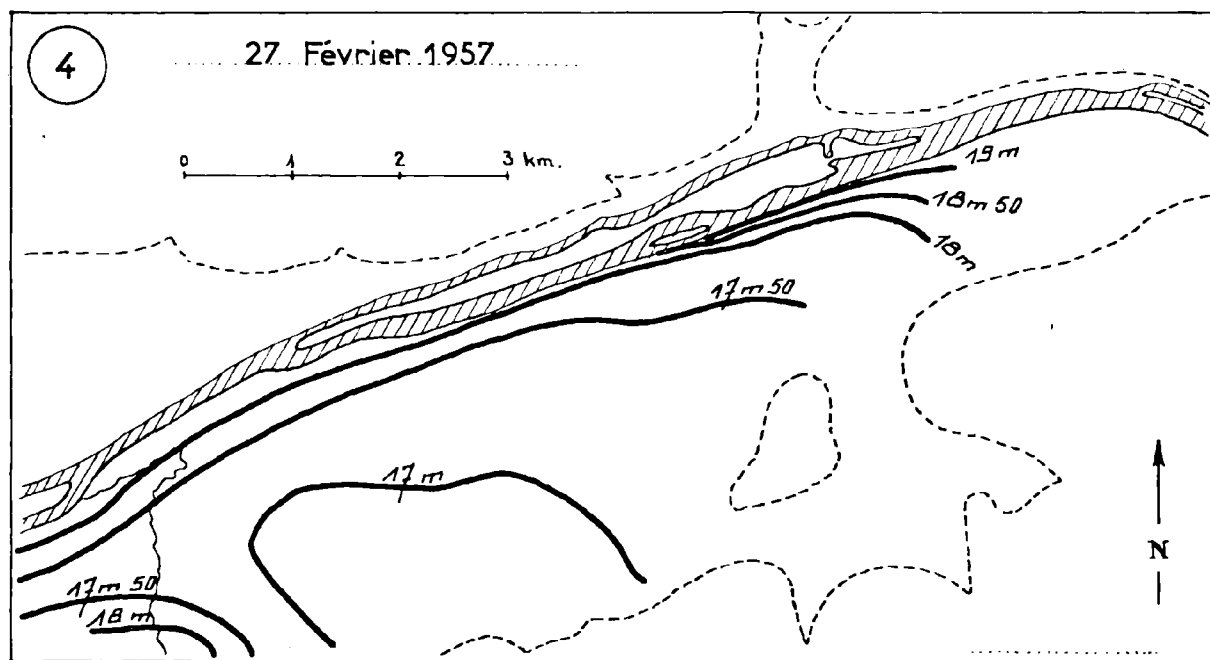


FIG. 5

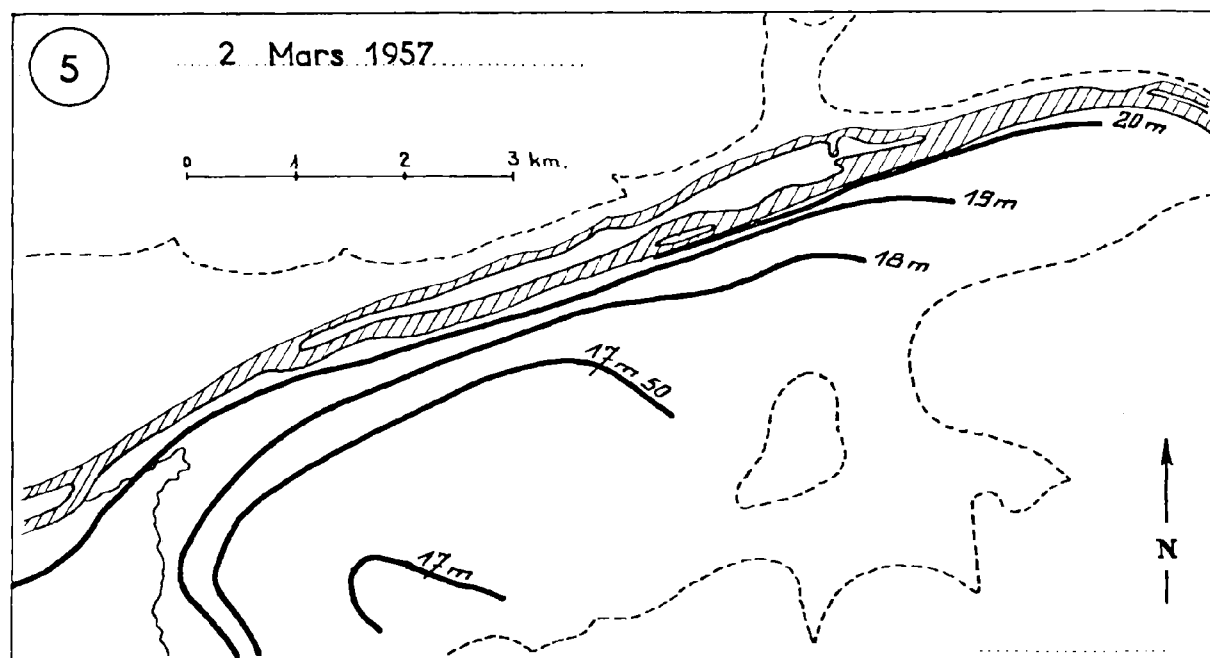


FIG. 6

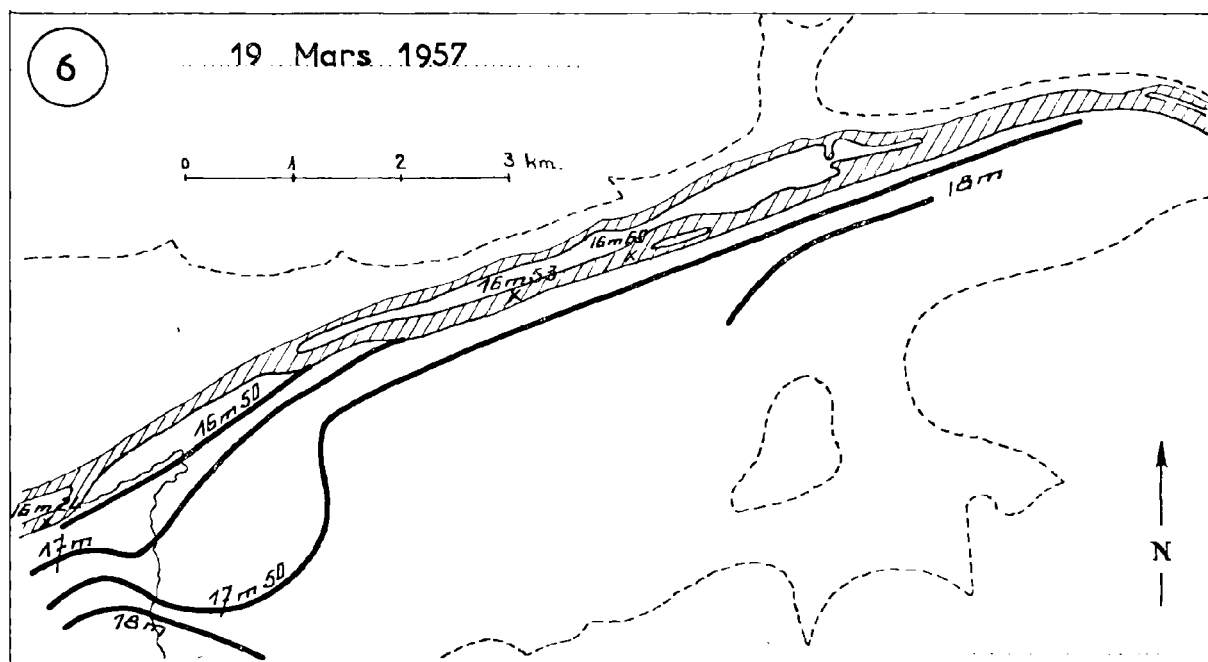


FIG. 7

La figure 4 indique une remontée de plus en plus rapide de la nappe. La poussée venant de la Seine s'accroît, et la Mauldre commence à se mettre en mouvement.

Sur les figures 5 et 6, on s'aperçoit que la nappe, en forme de cuvette jusque-là ouverte à l'Ouest, s'est refermée sous la double action des crues Mauldre et Seine, et qu'elle a maintenant pris de plus en plus une forme de demi-entonnoir mobile accolé à la falaise tertiaire.

Par la suite, la nappe a continué à monter vers l'entonnoir qui a disparu, pendant que la Seine baissait de son côté, entraînant avec un décalage plus ou moins long la baisse de la nappe dans son voisinage. Finalement, on en arrive à la figure 7 où on note la persistance d'un « bourrelet » dans la nappe de la craie à l'emplacement ou au voisinage de l'ancien « entonnoir » tandis que le niveau baisse rapidement près de l'axe du fleuve. Et on reviendra ensuite lentement à l'image de la nappe à l'étiage, du genre du graphique, figure 2.

Conclusions

Les mesures et observations faites montrent que la craie au sens large est surtout perméable là où elle a été dégagée de sa couverture tertiaire par l'érosion ; elle est aquifère dans l'axe ou près de l'axe des vallées modernes où des alluvions la recouvrent sur une plus ou moins grande épaisseur.

La nappe de la craie est d'une excellente qualité et peut fournir des débits élevés dans des endroits privilégiés. Elle est soumise, à Aubergenville, à un régime de fluctuations du niveau, dû au passage d'ondes de crue provenant de la Seine. Dans certains cas, les ondes paraissent se heurter à une perméabilité beaucoup moins élevée sous les plateaux tertiaires, et refluent vers l'axe du fleuve, comme s'il s'agissait de mouvements en nappe quasi libre, sur la largeur de la demi-vallée, arrêtée au lit mineur.

Cette nappe se montre donc animée de mouvements pratiquement incessants. Des citations de cote de nappe n'auront de valeur que si on donne en même temps la date et une référence à un « plan de crue ou de décrue », qu'il faudrait constamment tenir à jour.

M. SANZOT demande si la réalimentation de la nappe de la craie est due à un écoulement sous-alluvial.

M. KARPOFF précise qu'à l'amont le substratum sous-alluvial est formé d'argile plastique mais qu'au lieu considéré c'est de la craie fissurée dans laquelle l'eau pénètre avec une assez grande facilité.

M. BOGOMOLOV demande quel est le niveau de la nappe de la craie ?

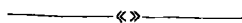
M. KARPOFF lui répond que ce niveau varie constamment, sauf lors de l'étiage, durant lequel le niveau reste constant. La craie, en réalité, n'a pas une surface uniforme ; elle présente des mamelons. En principe, la craie est noyée près de la Seine. Elle ne l'est plus au delà d'une certaine distance, de l'ordre du km, mais les crues modifient constamment la zone de mouillage de la craie.

M. KARPOFF précise également que l'expérience a montré que, sur les plateaux, la craie, sous le Tertiaire, n'est pas diaclasée alors qu'en affleurement et sous les alluvions, sa perméabilité est forte.

M. BOGOMOLOV demande s'il y a une teneur en ammoniacque importante en cet endroit.

M. KARPOFF répond que bien que l'on soit en aval de Paris, les eaux sont pures. Par contre, dès qu'on remonte en amont, une certaine quantité d'ammoniacque apparaît.

M. MASSOULIE signale qu'il existe en amont du gîte d'Aubergenville, un gisement analogue qui, lui, est déjà exploité. Ce gisement, situé à Poissy, a permis d'effectuer des études intéressantes. En 1957, on a tiré du gîte de Poissy, où la craie n'a que 9 à 10 km² de surface sous les alluvions, 45 millions de mètres cubes d'eau. Il est vrai que l'on a utilisé la réserve et qu'on a constaté un abaissement très inquiétant du niveau de l'eau dans la nappe de la craie. On fait, en ce moment, une expérience qui est intéressante : il s'agit d'une réalimentation artificielle de la craie, par injection d'eau dans une sablière (eau filtrée) ; depuis le début de l'année, on a déjà ainsi injecté un million de mètres cubes d'eau.



TROISIÈME THÈME

Infiltration

SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD

Samedi 21 mai 1960 (matin)

Présidents : MM. HACQUAERT et BONTE

Rapporteur : M. CASTANY

Dans le calcul du bilan hydrologique, le facteur le plus important et le plus difficile à évaluer avec une précision satisfaisante est l'infiltration.

METHODES DE MESURE DE L'INFILTRATION

Les méthodes de mesure de l'infiltration peuvent être directes ou indirectes. Les premières permettent d'évaluer la quantité d'eau infiltrée sur une surface du sol déterminée, dont on connaît les caractéristiques physiques.

Le relevé du débit des sources dans un bassin hydrologique individualisé en fonction de la pluviométrie a permis dans la craie du bassin de la Vanne d'évaluer la hauteur d'eau moyenne annuelle d'infiltration à 107 mm (MÉGNIEU, Cl.). Pour les marais de Palluel, dans la vallée de la Sensée (Nord), elle atteint 90 mm (BERKALOFF, E.).

L'analyse des *fluctuations de la surface piézométrique de la nappe* en fonction de la pluviométrie dans un bassin hydrologique individualisé, la porosité efficace de la roche-réservoir et le débit total des écoulements de surface et souterrain étant connus, donne également des résultats satisfaisants. Mais il est plus simple d'étudier les variations de la surface piézométrique dans les points d'eau de la nappe, puits, sources ou drainage. C'est par cette méthode que Ch. LAPWORTH a établi pour la craie du Bassin de Londres la formule de l'infiltration :

$$I = 0,88 P - 300 \text{ mm.}$$

De même, l'étude de la morphologie de la surface piézométrique des versants ouest et est de la vallée de la Tortille, près de Ruyaulcourt (Nord) a permis à E. BERKALOFF d'estimer le taux moyen annuel d'infiltration à 51 et 34 mm.

LYSIMETRES

La méthode directe la plus précise et qui donne les résultats les plus complets est l'utilisation de lysimètres.

Les installations lysimétriques sont de deux types, en surface ou souterraines.

En raison du mauvais fonctionnement des lysimètres souterrains qui, en général, ne recueillent jamais d'eau de percolation (SANZOT, E.), les équipements doivent s'orienter vers les installations de surface. C'est pourquoi le Bureau de recherches géologiques et minières se propose de construire un lysimètre-bloc de grandes dimensions (100 m²) dans la craie du Nord de la France. Les résultats permettront de préciser la valeur de l'infiltration et seront d'une grande portée ainsi que l'ont souligné nos collègues ACHTEN, KARPOFF, FOURMARIER, J. INESON, HACQUAERT. Une station météorologique avec équipement pour mesure de condensation du brouillard sera installée à proximité.

Parmi les méthodes indirectes de mesure de l'infiltration, l'évaluation du coefficient d'emménagement (BUCHAN, S.), ou de l'évapotranspiration réelle (PENMAN, H.L.) est la plus couramment utilisée.

RESULTATS DES MESURES FONCTION PRECIPITATION - INFILTRATION

Les valeurs du taux d'infiltration dépendent des facteurs hydrogéologiques et hydrométéorologiques et sont influencées par les caractéristiques de la surface du sol. Le rapport entre la quantité d'eau qui alimente les nappes aquifères, ou infiltration efficace, n'est pas un pourcentage des précipitations, mais une fonction liéaire avec un seuil pluviométrique au-dessous duquel l'eau est dépensée avant de parvenir dans le sous-sol. Le terme de coefficient d'infiltration est donc impropre (CASTANY G. et BERKALOFF E.).

Ce seuil pluviométrique correspond d'ailleurs approximativement à l'évapotranspiration réelle. C'est pourquoi l'évaluation de ce facteur hydrométéorologique principal est d'une grande utilité.

CONDENSATION DES BROUILLARDS

M. KARPOFF et RICOUR ont signalé le rôle, dans l'alimentation des nappes aquifères, de la *condensation des brouillards*, apport qu'il ne faut pas confondre avec les « *condensations occultes* » de certains auteurs, qui proviendraient, sous l'effet des échanges thermiques dus aux différences de températures diurnes et nocturnes, du passage de la vapeur d'eau de l'air à l'état de gouttelettes d'eau dans les couches supérieures du sol. Cette hypothèse a été souvent mise en échec par les essais expérimentaux et les mesures d'humidité du sol.

L'apport en eau dû à la condensation des brouillards, surtout par l'intermédiaire de la couverture végétale, est un fait expérimental. Il peut être évalué par des appareils de mesures particuliers, dont sera équipé le lysimètre prévu dans le Nord de la France.

Gilbert CASTANY.

Pénétration naturelle et percolation forcée des eaux météoriques à travers les morts-terrains de la Hesbaye (Belgique) et variations induites du niveau de la nappe de la craie

par E. SANZOT (1) (Belgique)

(Pl. XIX, XX et XXI)

Le sujet de ma conférence pourrait être qualifié d'A.B.C. de l'hydrogéologie. Il est cependant un des points peu connus de l'alimentation de certaines nappes aquifères notamment celle de la craie en Hesbaye.

Je m'excuse d'avance si mon exposé touche très peu à la géologie et si mes conclusions s'arrêtent à la surface supérieure de la craie et même au-dessus.

Le Service des eaux de la ville de Liège exploite depuis une centaine d'années la nappe aquifère qui gît dans la craie maestrichtienne et campanienne de la Hesbaye.

En examinant une coupe N-S de cette région (Pl. XIX), on constate que le relief général est peu accentué et qu'il s'agit d'une plaine à pente régulière inclinée légèrement vers le N de 5 à 6 %. Les ruisseaux y sont peu nombreux et peu importants : Grand-Aaz, Ruisseau de Dalle, l'Yerne et le Geer, ruisseau principal drainant une superficie de 700 km² environ. Le ruissellement sur cette plaine est donc peu développé (carte n° 3).

Sous la terre arable extrêmement fertile, on trouve une ou plusieurs couches de limon éolien dont l'épaisseur totale atteint 10 à 12 mètres. Sous ce limon, on rencontre soit du sable ou une argile sablonneuse tertiaire dont la base contient de nombreux silex bruns non remaniés et qui sont un résidu de dissolution de la craie sous-jacente. L'épaisseur de cette argile à silex est fort variable (5 à 10 m) parce que c'est un matériau de remplissage des poches de dissolution de la craie sénonienne qui contient la nappe aquifère. La puissance de cette craie atteint 60 m sous la vallée du Geer

et garde une trentaine de mètres dans ses affleurements (bordure de la Meuse, faille de l'Est, vallée de la Méhaigne, etc...). Elle repose sur une argile hervienne dite « Smeectite » qui constitue le fond imperméable de la nappe.

Cette assise imperméable d'une dizaine de mètres repose elle-même en discordance de stratification sur le Houiller dans le voisinage de la Meuse et sur le Silurien au Nord de celle-ci.

La pente générale de la « Smeectite » est de 1/2 à 1 % en direction N-W, tandis que la nappe est presque horizontale et affleure dans la vallée du Geer.

Des galeries captantes ont été creusées dans cette nappe à 5 km à peine de la ville de Liège et l'eau y est amenée par des aqueducs maçonnés à très faible pente (1 ‰). Ces galeries sont immergées d'une dizaine de mètres, là où la nappe a déjà une épaisseur de 20 à 25 mètres. Cela signifie que la profondeur d'immersion de ces galeries n'est pas suffisante pour capter toute l'eau que le terrain peut contenir.

Or l'alimentation d'une galerie captante dépend non seulement de la profondeur d'immersion mais également de la quantité d'eau qui percole dans la zone d'assèchement.

Il est donc important de connaître le coefficient d'infiltration de la pluie à travers les morts-terrains.

Lysimètres

C'est en vue de mesurer ce coefficient d'infiltration que le Service des Eaux a fait construire un puits lysimétrique permettant de faire des mesures de pénétration à diverses profondeurs.

(1) Ingénieur au Service des eaux de la ville de Liège.

L'endroit choisi pour creuser ce puits était aussi plat que possible pour éliminer tout ruissellement. Le terrain traversé représentait très bien la succession normale des couches de la Hesbaye, à savoir : limon 12 m, sable 2 m, argile-silex 5 m, craie 25 m.

Les lysimètres ont été placés aux profondeurs suivantes : à 1 m sous le sol, à 5 m dans le limon, à 12 m au contact du limon et du sable et à 19 m au contact du silex et de la craie (voir Pl. XXI).

Chaque lysimètre est réalisé par une dalle en béton de 1 m² munie d'une chape en feuille de plomb unique percée d'un trou central. Avant de mettre ces dalles en place sous le terrain non ébranlé, chaque dalle, légèrement creuse en son milieu, a été « saupoudrée » de gravillon 2/5 mm destiné à drainer vers le centre de la plaque toutes les gouttes d'eau qui suinteraient au plafond du terrain étudié.

Pour éliminer toute influence du puits euvelé qui donne accès à tous ces lysimètres, le centre de ceux-ci est situé à l'extrémité d'une étroite galerie de 3 m de longueur.

Perois du puits, murs et radiers des galeries sont réalisés en maçonnerie imperméabilisée à l'extérieur comme à l'intérieur.

Les quatre lysimètres, situés à des profondeurs différentes, sont en outre disposés autour du puits selon les quatre points cardinaux. Enfin, au fond du puits (20 m de profondeur), on a exécuté un sondage de 80 mm de diamètre qui permet de repérer le niveau de la nappe, laquelle se trouve normalement à 6 à 7 m plus bas. Sous chaque dalle lysimétrique, dans une niche étroite terminant les bouts de galerie, on a placé un flacon gradué en cm³ permettant de mesurer journallement l'eau récoltée. Le flacon est relié à la tubulure centrale traversant la plaque par un tuyau souple en plastique de diamètre approprié pour obtenir le mieux possible le goulot du flacon et éviter ainsi au maximum l'évaporation de l'eau recueillie.

En surface et à proximité du puits, nous avons installé une station pluviométrique comprenant pluviomètres, thermomètres et bacs lysimétriques avec et sans végétation. Ces bacs lysimétriques sont réalisés par des bacs en béton de 1 m³ enterrés que l'on a remplis aussi délicatement que possible avec le limon provenant de la fouille et dans lesquels on laisse pousser la végétation naturelle (herbe) ou que l'on entretient exempts de toute végétation.

Dans le même enclos exposé à toutes les intempéries, nous avons en outre creusé un bassin de 1 m² et de 0,50 m de profondeur qui reçoit toute l'eau qui tombe sur une toiture de 50 m² éloignée du puits de plus de 50 m. Seuls les côtés du bassin sont murés, tandis que le fond est le terrain naturel qui absorbe l'eau pluviale de la toiture mentionnée. Sa capacité maximum, 500 litres, suffit à infiltrer en une journée toute l'eau recueillie par la toiture pendant un orage de 20 minutes. Ce bassin se trouve à la verticale du lysimètre situé à 5 m de profondeur dans le puits. Il constitue de la sorte un bassin d'alimentation forcée pour ce lysimètre. Ce bassin est destiné à mesurer la capacité d'absorption du terrain.

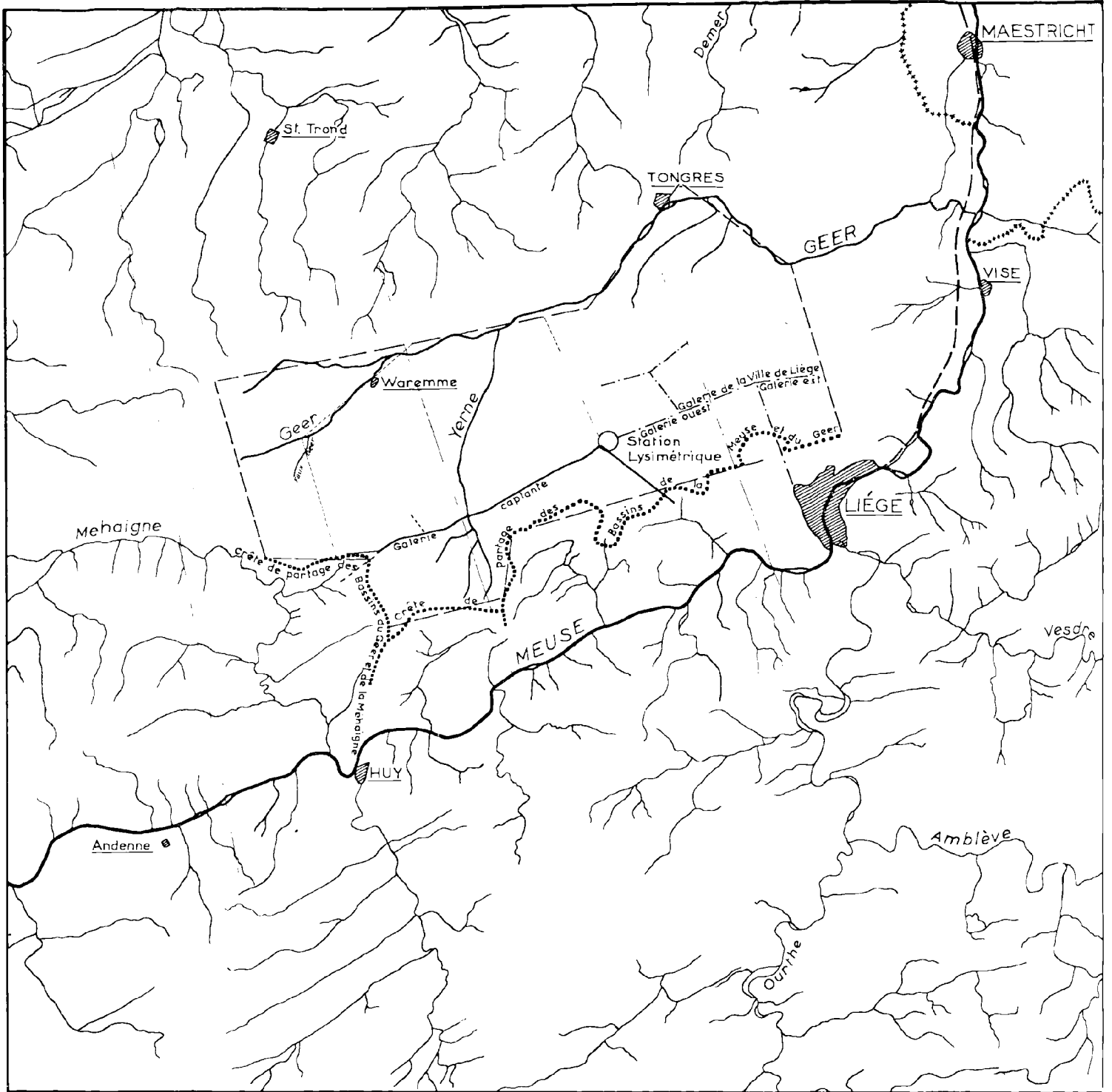
Résultats expérimentaux

Depuis 2 ans que les lysimètres sont en service, seuls ceux qui se trouvent à 1 m de profondeur sous la surface ont donné quelques renseignements; il s'agit du lysimètre installé dans le limon en place (lysimètre naturel) et des deux bacs lysimétriques placés à la même profondeur, l'un avec végétation, l'autre sans végétation.

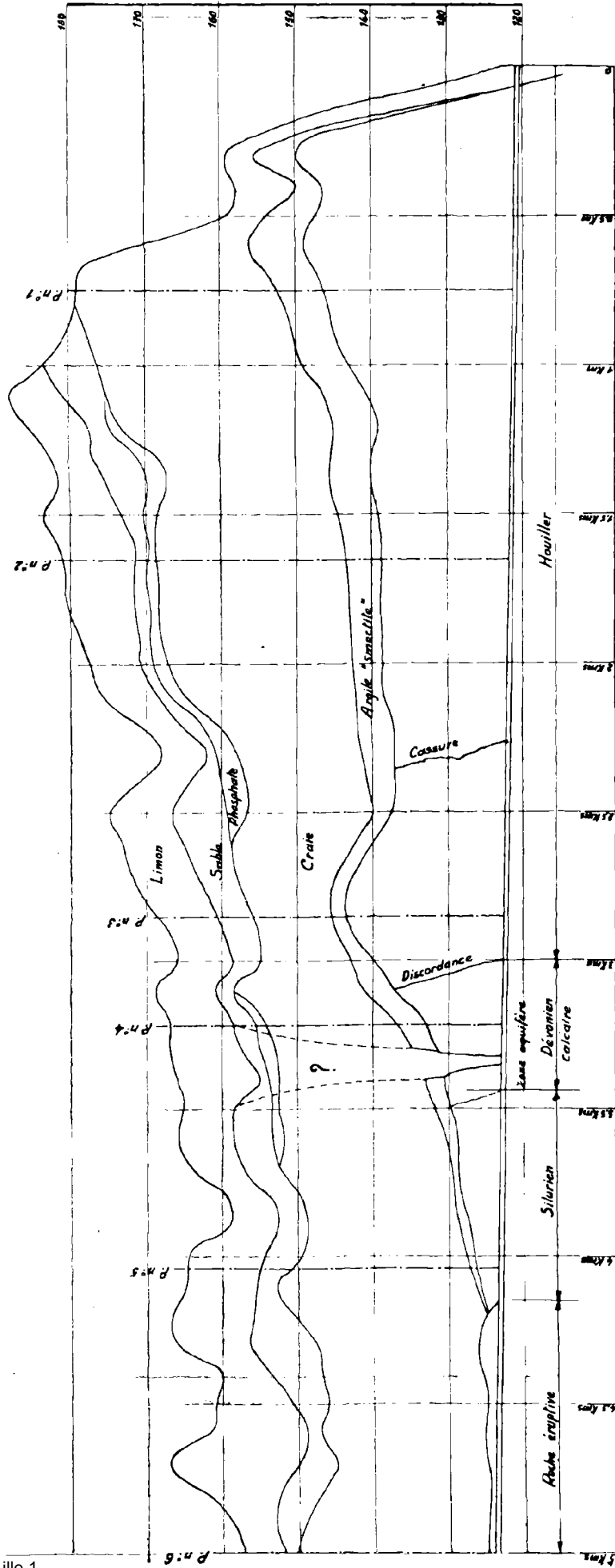
Au cours des années 1958 et 1959, la pluviométrie a été fort différente. De 904 mm enregistrés en 1958, elle est tombée à 540 mm en 1959. C'est dire que cette année a été très sèche.

Les quantités d'eau recueillie par ces trois lysimètres sont données en % de la quantité tombée, suivant les saisons et les années.

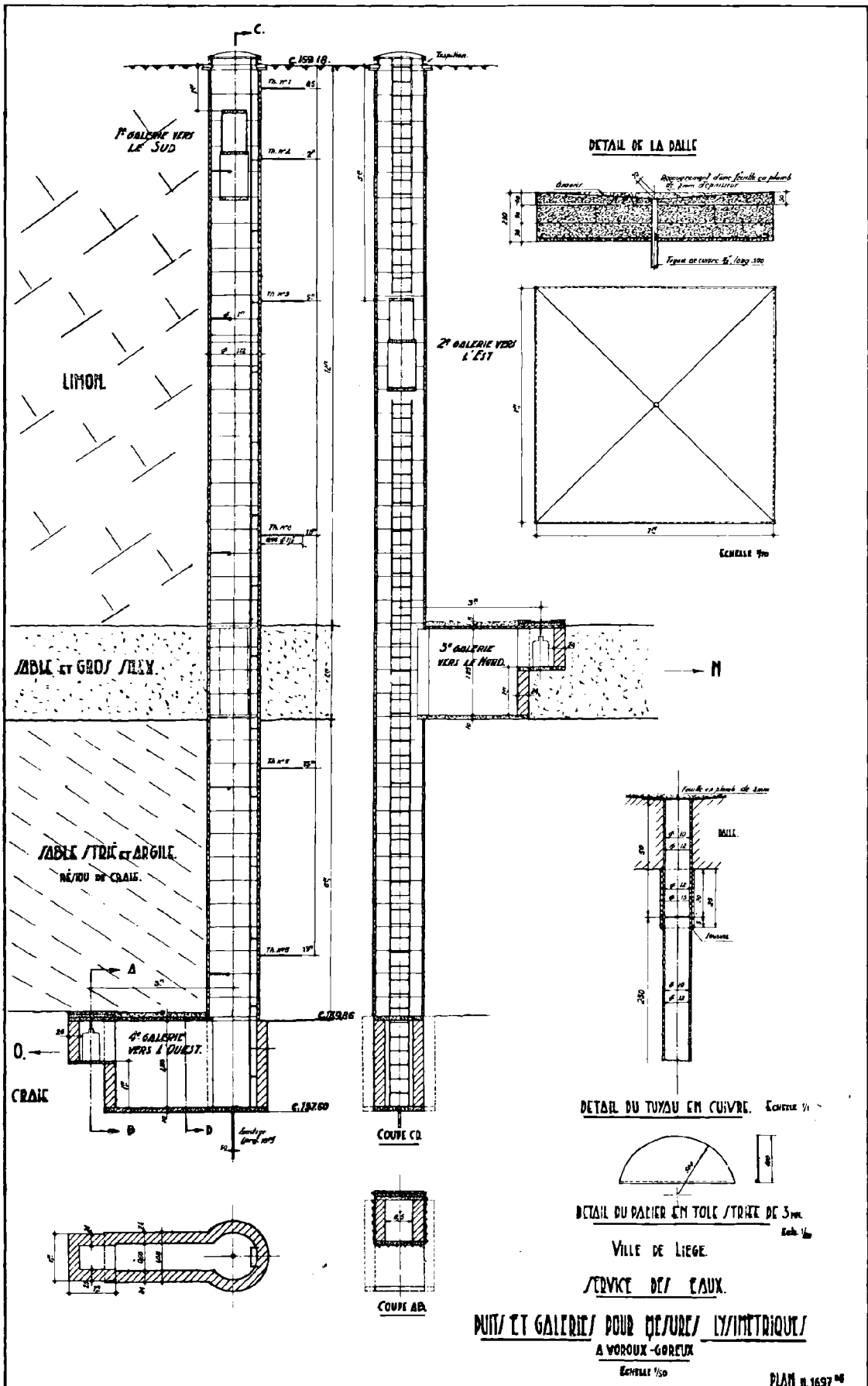
- Epoque	Lysimètre naturel		Bac avec végétation		Bac sans végétation	
	1958 %	1959 %	1958 %	1959 %	1958 %	1959 %
Hiver : Janv. - Fév. - Mars	72	50,6	85	86	84,75	70,1
Printemps : Avril - Mai - Juin ..	2,5	1,25	32,9	18,6	7,98	6,3
Été : Juillet - Août - Sept.	7	0	25,5	1,5	14,6	8,6
Automne : Oct. - Nov. - Déc.	50	0	84	8,3	73,7	3,05
Moyennes annuelles	32,6	12,96	56,8	28,6	45,26	22,02



Le réseau hydrographique dans la région de Liège



Coupe N-S dans la Hesbaye



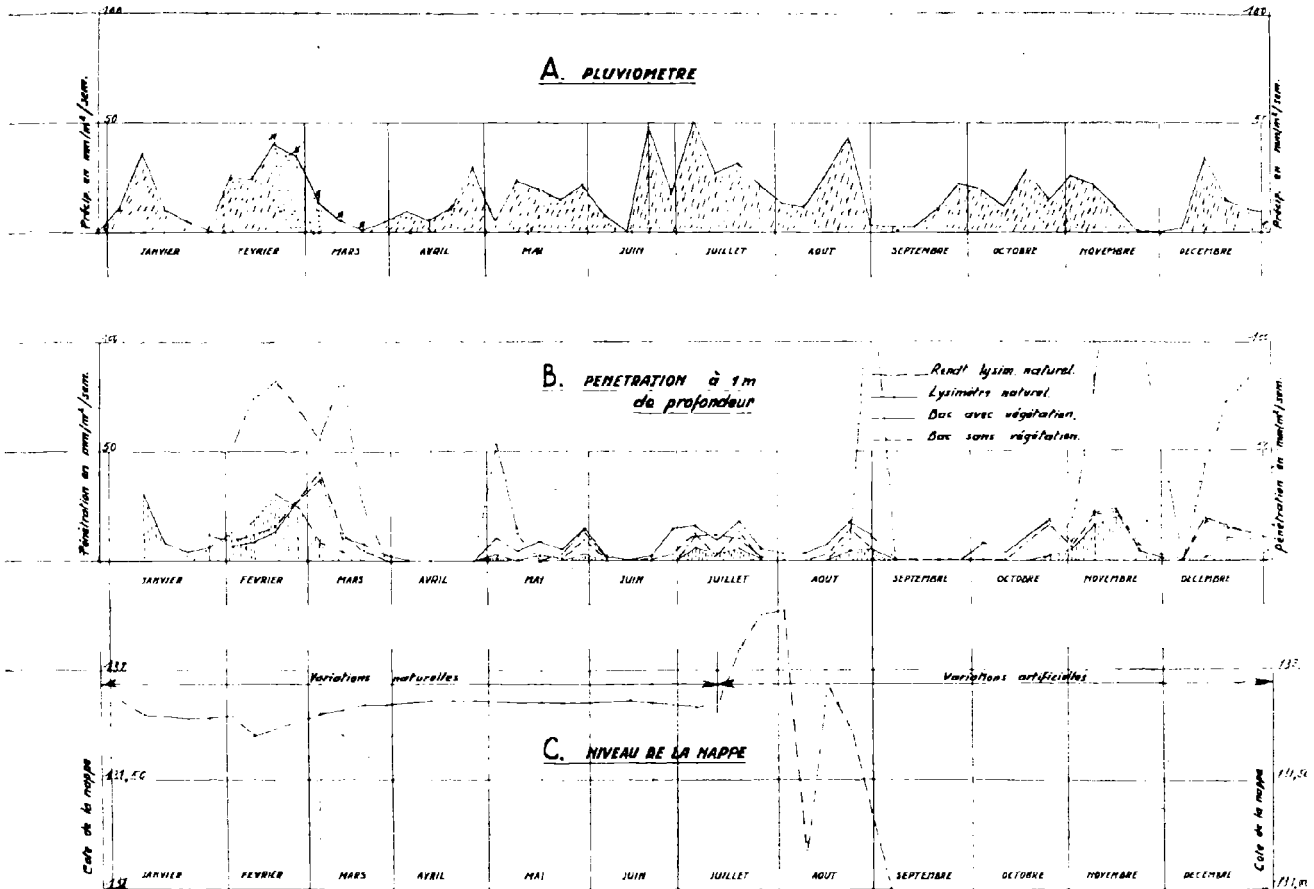
PUIIS ET GALERIES POUR MESURE LYMETRIQUE A VORoux-GOREUX

Echelle 1/50

PLAN N. 1697 06

ANNEE 1958

OBSERVATIONS LYSIMETRIQUES DE VOROUX-GOREUX



Les graphiques relatant les observations lysimétriques donnent pour les années 1958 et 1959 :

A) La pluviométrie mesurée semaine par semaine à la station même. Elle a été malgré tout assez régulière.

La figure B renseigne la pénétration à 1 m de profondeur dans les trois lysimètres, naturel, avec et sans végétation, trait pleins et interrompus. Le trait d'axe montre les variations de rendements ou coefficient d'infiltration. Ce rendement dépasse parfois 100 % à cause du retard dans la pénétration. En été, la pénétration est nulle et, en hiver, elle se fait parfois avec un mois de retard. Rappelons que cette mesure est faite à 1 m de profondeur seulement.

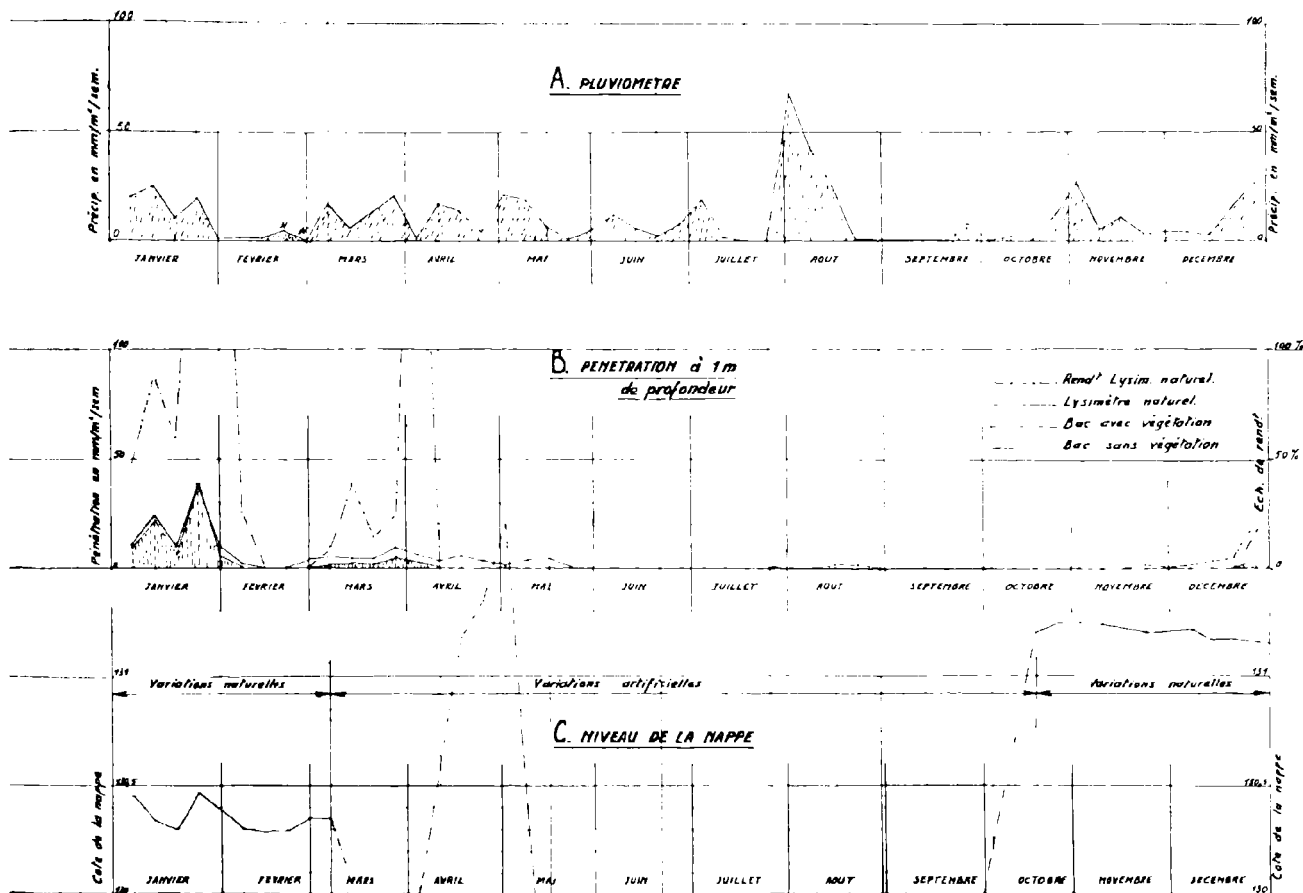
A plus grande profondeur, les lysimètres installés dans le puits n'ont rien donné pendant les 24 mois d'observation. Faut-il en conclure que l'eau qui pénètre à 1 m de profondeur, ne descend pas plus bas ?

Evidemment non, autrement on se demanderait comment se créeraient des nappes aquiférées dans des terrains situés plus profondément. L'eau descend plus bas, par circulation, soit laminaire, soit pelliculaire, mais il est probable que sa répartition en profondeur n'est plus uniforme.

En effet, si nous comparons les rendements des bacs avec ou sans végétation avec celui du lysimètre naturel couvert de la même végétation (herbe), nous constatons que les rendements de

ANNEE 1959

OBSERVATIONS LYSIMETRIQUES DE VOROUX-GOREUX



pénétration des baes sont supérieurs à ceux du lysimètre en toute saison. Or les baes sont munis de parois latérales étanches en béton qui empêchent l'eau infiltrée de se disperser latéralement, tandis que dans le terrain surplombant le lysimètre, le même obstacle n'existe pas. Il y a donc tendance au « débordement » ou contournement de la plaque. Il n'est donc pas impossible qu'à plus grande profondeur les lysimètres aient été malencontreusement installés à des endroits du terrain où l'eau ne circule pas, ou bien que cette circulation est tellement lente que la plaque lysimétrique n'en recueille pas une goutte.

Il est possible également que cette circulation se fasse à l'état pelliculaire et que à hauteur de la plaque, il y ait une déviation latérale.

Pour en avoir le cœur net, nous avons soumis ces lysimètres à une circulation forcée. Une pompe à vide a été installée successivement sous chaque dalle lysimétrique pour provoquer une dépression très poussée dans le terrain surplombant. Le vide relatif, de l'ordre de 50 à 100 mm de mercure de pression résiduelle, devait théoriquement favoriser l'évaporation de l'eau supposée à l'état pelliculaire entre les grains. La condensation ultérieure de cette vapeur d'eau devait permettre de se rendre compte de l'état d'humidité du sol.

On a donc branché l'aspiration de la pompe sur la tubulure unique de la dalle collectrice au moyen de tubes en verre et de raccords souples, en ayant soin de placer le tube à condensation en pyrex dans une enceinte calorifugée maintenue à

très basse température (-70°C) par de la neige carbonique.

La pompe à vide à moteur électrique a été maintenue en fonctionnement continu pendant une semaine sous chaque dalle et nous avons constaté les résultats suivants :

1° Sous le lysimètre situé à 19 m de profondeur dans l'argile de décalcification, nous n'avons constaté qu'un léger givre à l'intérieur du tube en pyrex. Il n'a pas été possible de recueillir une seule goutte de cette vapeur.

2° Sous le lysimètre situé à 12 m de profondeur entre le limon et le sable, même constatation pendant toute la semaine.

Toutefois, nous avons à signaler un incident bizarre survenu quatre jours après la mise en route de la pompe. Celle-ci fonctionnait régulièrement depuis le 15 Janvier 1960, quand le 29 du même mois, une irruption brutale d'eau et de boue limoneuse se produisit sous la pompe par un trou ménagé dans le radier de la niche terminant chaque galerie. Quoique la dépression fut provoquée au toit de cette niche, c'est par le radier de celle-ci que l'eau et la boue sont arrivées et en quantité telle que nous n'avons pu apprécier leur volume que par l'épaisseur de boue qui s'est étalée sur le radier de la niche, sur celui de la galerie qui y conduit et sur le fond du puits situé 8 m plus bas.

Après l'écoulement qui a duré 2 jours suite à une pluie de 14 mm qui avait eu lieu le 25 Janvier, l'épaisseur de boue déposée était de 2 à 3 cm, ce qui nous laisse supposer que le volume de liquide boueux qui est passé par un trou de 50 mm est de l'ordre de plusieurs centaines de litres.

Cette eau faisant irruption à 12 m de profondeur et à 6 m de distance du bassin de pénétration, pourrait provenir uniquement d'une circulation plus aisée le long des parois du puits, mais il n'en subsiste pas moins que le passage naturel de l'eau du bassin vers le puits et de celui-ci vers la niche située à 12 m de profondeur, a été favorisé par une zone de circulation qui n'est pas forcément verticale, car le lysimètre situé à 5 m presque à l'aplomb du bassin de collecte n'a pas recueilli une seule goutte d'eau pendant cette période.

3° Sous le lysimètre situé en plein dans le limon à 5 m de profondeur, la pompe à vide a été placée de la même façon et durant le même laps de temps. Le tube à condensation a commencé à

montrer immédiatement des traces d'humidité. Après 3 jours, nous avons recueilli 5 cm^3 d'eau plus ou moins trouble sur laquelle nous avons fait effectuer une mesure de dureté. Quoique l'échantillon fut très petit, le laboratoire du Centre d'Etudes et de Documentation des Eaux a déterminé une dureté totale de 6°Fr . et une dureté permanente de $3,7^{\circ}\text{Fr}$ (voir rapport CEBEDEAU du 3 Mars 1960).

La percolation forcée due à la pompe continuant, nous avons pu recueillir le 17 Mars une quantité d'eau plus importante (75 cc) après quinze jours de fonctionnement.

La mesure de dureté a accusé $17,65^{\circ}\text{Fr}$ de dureté totale, $6,45^{\circ}\text{Fr}$ de dureté permanente ; en outre une teneur en SiO_2 de $8,25\text{ mgr/l}$.

En comparant cette eau avec celle qui percole naturellement à 1 m de profondeur dans le même terrain, on constate que la première est nettement plus douce que la seconde dont la dureté mesurée le même jour était de $21^{\circ}5\text{ Fr}$.

Nos essais de percolation forcée ont été arrêtés fin Mars parce que l'appareil était loué par mois et que nous nous sommes aperçus que l'eau recueillie un jour s'évaporait le lendemain étant données les faibles précipitations de la saison.

On peut objecter à cette méthode de percolation forcée que l'eau que l'on récolte par condensation n'est pas forcément l'eau contenue dans le terrain. Il pourrait y avoir passage de l'air humide de l'intérieur du puits à travers la maçonnerie du puits et des galeries. Cet air serait rejeté par la pompe après avoir été débarrassé de son humidité dans l'enceinte à basse température. On s'expliquerait assez mal le degré de dureté observé dans l'eau recueillie et l'évaporation de l'humidité « recirculée ».

Variation du niveau de la nappe

(graphique C)

L'observation du niveau de la nappe pouvait se faire grâce à un trou de sonde pratiqué dans le fond du puits, sondage de 80 mm d'une dizaine de mètres de profondeur.

Le niveau d'eau s'établit normalement à la cote 131,50, soit à 7 m dans le trou de sonde, et reste assez stable pour autant que la station de pompage qui se trouve à proximité soit à l'arrêt.

C'est le cas fréquent, mais au cours des deux années d'observation, il a fallu la faire fonctionner deux fois.

Sur le diagramme C de l'année 1958, on peut observer que le niveau naturel est resté pratiquement constant les six premiers mois de l'année, sauf au mois de Février où le niveau a baissé de 10 cm (cote 131,70) d'une semaine à l'autre. Il est remonté à la cote 131,86 au mois d'Avril et s'y est maintenu jusqu'à la mi-Juin ; il y a eu ensuite un léger fléchissement, 3 à 4 cm, jusqu'au début de Juillet, date à laquelle les nécessités du service de captage ont provoqué une perturbation importante, mais artificielle, du niveau d'eau.

En 1959, le niveau a oscillé de 20 à 25 cm au début de l'année, de même pendant les trois derniers mois.

Au cours des trois derniers mois de 1959, nous avons pu observer une baisse assez régulière de 10 cm certainement due au manque de pénétration pendant les mois de Juin, Juillet, Août, Septembre et Octobre. Toutefois, le niveau était relativement élevé, 131,45, alors que au début de l'année (Janvier et Février) il était 1 m plus bas (130,30 à 130,47).

On ne peut tirer des conclusions formelles de ces mesures et observations faites sur un laps de temps insuffisant (deux ans) et on ne peut y voir une relation directe de cause à effet entre la pénétration à 1 m de profondeur et les variations de

la nappe gisant 25 m plus bas, parce que nous n'avons pas eu des renseignements directs sur la percolation aux profondeurs intermédiaires 5, 12 et 19 m.

Seules des données sur la quantité d'eau qui arrive à la surface de contact de la craie et des morts-terrains auraient pu mieux nous éclairer, mais nous n'avons sans doute pas eu la main heureuse dans le choix de l'emplacement du puits lysimétrique, ni dans la disposition des lysimètres.

Il est certain, en effet, que la multiplicité de ceux-ci augmenterait les chances de rencontrer des endroits de pénétration plus aisée, car une surface de collecte de 1 m² d'un lysimètre a peu de chance d'être représentative d'une zone de captage de 2 à 3 km de largeur et de 35 km de longueur, soit 70 à 100 km². La probabilité de représentation

n'est en effet que $\frac{1}{100 \times 1000^2} = 1/10^8$, d'autant plus que la circulation verticale de l'eau à travers le sol se fait d'une façon hétérogène, même dans des terrains meubles apparemment homogènes.

On peut toutefois supposer que les résultats d'un grand nombre de lysimètres situés à faible profondeur (2 ou 3 m) sont susceptibles de donner des indications acceptables sur la quantité d'eau qui pénètre en profondeur, car à partir de 1 ou 2 m il est probable que l'eau infiltrée ne peut plus remonter.

*

**

H. HACQUAERT remercie M. SANZOT de sa communication et exprime le vœu que les mesures entreprises soient poursuivies.

M. GULINCK fait remarquer que, dans la Hesbaye, l'argile à silex repose sur de la craie dont la perméabilité est excessivement variable. Il pense que dans les zones diaclasées et fissurées les conditions de gisement peuvent être très différentes.

M. SANZOT exprime son accord avec M. GULINCK et souhaite que les lysimètres soient multipliés de façon à comparer la perméabilité de diverses zones.

M. KARPOFF demande si, dans le cas de la Hesbaye, l'alimentation latérale de la nappe est possible et quelle est l'importance des affleurements ?

M. SANZOT pense qu'une telle alimentation n'est guère possible. Dans la vallée de la Meuse, les affleurements s'étendent sur environ 2 km. L'observation piézométrique d'une centaine de petits puits répartis au voisinage des zones d'affleurements prouve que la remontée et la baisse des niveaux est, là, beaucoup plus rapide. Il y aurait donc une pénétration et une réalimentation plus directe par les zones d'affleurement.

M. BONTE signale l'intérêt de lysimètres de grande superficie pour diminuer les effets de parois et augmenter les chances de rencontrer des zones fissurées.

M. SANZOT souligne que la principale difficulté pour réaliser de tels appareils provient du prix de revient. L'installation qu'il a décrite a coûté 125.000 F.B.

M. FOURMARIER répond à la question posée par M. KARPOFF à propos de l'alimentation latérale de la nappe de la craie. Il précise que si l'on voit bien apparaître la craie çà et là sur les versants quelque peu abrupts, ces versants sont le plus souvent couverts d'une épaisseur, parfois considérable, de limons provenant du fluage des limons de plateau. Les conditions ne sont donc pas particulièrement favorables pour permettre une infiltration sur les versants. D'autre part, des sources qui émergent le long de ceux-ci montrent qu'ils ne participaient pas à l'alimentation de la nappe.

M. MARLIÈRE considère l'expérience réalisée par M. SANZOT comme extrêmement ingénieuse et révélatrice. Il pense qu'il ne faut pas s'étonner de ce que la circulation puisse être pratiquement nulle dans certains limons. On observe bien, dans de grandes coupes faites dans les limons, une rubéfaction venant de la circulation des eaux. Cette rubéfaction se produit sous forme de petites veines, de petits filets, qui représentent les voies préférentielles de circulation. Il y a là un véritable réseau et non une infiltration homogène. Les lysimètres ont peut-être été placés en dehors de ces zones d'infiltration privilégiées. Peut-être aussi y a-t-il des alluvions plus ou moins caillouteuses, des terrasses qui collectent les eaux au profit de certains chenaux d'absorption.

M. ACHTEN pense, comme M. MARLIÈRE, que les eaux suivent des chemins préférentiels pour atteindre la nappe aquifère. Il y avait peu de chance pour que le lysimètre soit installé sur une de ces zones d'infiltration qui semblent surtout concentrées dans le fond des vallonnements vers lesquels les ruissellements superficiel et hypodermique convergent.

M. FOURMARIER rappelle que le ruissellement, dans la Hesbaye, est extrêmement faible et même pratiquement nul. L'eau pénètre tout de suite dans le sol et le grand problème dans ces régions, où la couverture de limon est importante, est la question de la circulation de l'eau pelliculaire. L'eau est libre dans la partie superficielle mais circule à l'état pelliculaire dans la partie profonde et ne peut s'infiltrer dans un lysimètre.

M. HACQUAERT, avant de donner la parole à M. CASTANY, signale que M. BOGOMOLOV, de l'Académie des Sciences de l'U.R.S.S., est parmi nous. Il le remercie de contribuer aux travaux du colloque.

— « » —

Calcul du coefficient d'infiltration dans certaines régions du Nord de la France

par E. BERKALOFF (1)

En hydrogéologie, il est d'usage de parler du « coefficient d'infiltration » quand on étudie les quantités d'eau infiltrée dans le sol.

On m'a donc prié de vous indiquer quelques valeurs actuellement connues de ce coefficient, se rapportant à la craie du bassin de Paris. Je le tente, malgré ma répugnance personnelle pour l'expression de coefficient d'infiltration.

Le tableau I ci-dessous indique les quelques valeurs du coefficient trouvées :

Bassin		Coefficient trouvé	Précipitation moyenne annuelle H en mm	Auteur
Nom	Superficie			
Vanne ..	480	15 %	713	MÉGNIEU moi-même
Sensée .	534	15 %	600	
Tortille				
Ouest ..	48	8 %	600	
Est	24	5 %	600	

TABEAU I

Dans le cas présent, le tableau I est assez significatif parce que les régions comparées ont des pluviométries comparables.

Dans le cas contraire de pluviométrie différente, ou mal connue, il n'en serait plus de même.

Pour cette raison, il me paraît préférable de parler de « l'infiltration » tout court en exprimant la quantité d'eau infiltrée en mm par an, c'est-à-dire en valeur absolue comme ci-dessous :

(1) Ingénieur-géologue au B.R.G.M.

Bassin		Infiltration annuelle moyenne en m
Nom	Surface en km ²	
Vanne	480	107
Sensée	534	90
Tortille ouest	48	51
Tortille est	24	34

TABEAU II

Le calcul d'infiltration du bassin de la Vanne a été fait par M. MÉGNIEU en se basant sur le débit des émergences d'eau souterraine.

Celui de la Sensée a été calculé par nous en nous basant sur le débit des marais de Palluel jaugé par le Service hydraulique départemental.

Le résultat concernant la Tortille a été obtenu par nous en nous basant sur la configuration du niveau piézométrique de la nappe de la craie sur les versants de la vallée de la Tortille près de Ruyaucourt.

La valeur de l'infiltration a été calculée par

$$\text{la formule : } i = 2K \frac{(H^2 - h^2)}{R^2}$$

avec : i - infiltration annuelle moyenne ;

K - coefficient de Darcy déduit du débit des puits ;

H - hauteur d'eau au point le plus élevé de la nappe par rapport au substratum imperméable ;

h - hauteur d'eau à la paroi du canal ;

R - distance entre le point le plus élevé de la nappe et la berge.

Cette formule est basée sur un certain nombre d'hypothèses simplificatrices qui sont :

- 1° la couche aquifère est homogène et repose sur le substratum imperméable horizontal ;
- 2° l'alimentation et l'écoulement se font d'une manière continue en régime permanent ;
- 3° la surface piézométrique de la nappe entre son point culminant et la Tortille est assimilable

au secteur d'une nappe circulaire drainée périphériquement et alimentée uniformément par l'infiltration d'eau météorique.

Cette façon de procéder n'est pas sans reproche. Mais actuellement, c'est la seule possible ; la valeur d'infiltration ainsi trouvée concordant avec le résultat de plusieurs jaugeages isolés de la Tortille dont nous disposons.

*
**

M. KARPOFF, en confirmation de ce que disait tout à l'heure M. RICOUR, signale qu'en Guinée, la condensation matinale du brouillard est tellement forte que sur un toit en tôle ondulée qui avait 30 à 50 m² de superficie il a pu, grâce à une gouttière, recueillir 1 à 3 litres d'eau à la minute au lever du soleil à Coyah, près de la côte. Le phénomène paraissait être assez limité dans le temps et cessait après le lever du soleil.

M. RICOUR remarque que les calculs de M. BERKALOFF concernent des ouvrages situés dans une région où la couverture des limons est très épaisse et gêne certainement la percolation. M. DOLLE, dans sa thèse, avait même considéré cette couverture comme imperméable. Mais il existe de vastes zones où la couverture quaternaire est pratiquement nulle. Il n'y a souvent que quelques décimètres de terre végétale au-dessus de la craie. Dans ce cas, la valeur de l'infiltration est certainement beaucoup plus forte que celle calculée par M. BERKALOFF. Les bilans d'exploitation réalisés actuellement par l'I.R.H.N.P.C., dans la région de Douai notamment, montrent que l'infiltration est certainement largement supérieure à 100 mm. Dans le cas contraire, on ne comprendrait pas pourquoi la région du Nord disposerait encore d'eau à l'heure actuelle.

M. BERKALOFF répond que la région du Nord puise peut-être dans les réserves de la nappe.

M. CASTANY croit que le chiffre de 100 mm est un chiffre assez approché, qui est une bonne moyenne.

M. BERKALOFF admet que ces calculs ne concernent que des bassins limités et qu'il est possible que dans d'autres régions l'infiltration soit bien supérieure.

M. LÉVY remarque que la mesure du débit des sources est assez sujette à caution et voudrait savoir comment elle a été faite.

M. CASTANY précise que pour le bassin de la Vanne, il s'agit d'un débit moyen.

M. HACQUAERT remercie M. BERKALOFF et donne la parole à M. RICOUR.

————— « » —————

Projet de construction d'un lysimètre de vastes dimensions dans la craie du Nord de la France

par M. RICOUR (1)

Cette communication n'a pour but que d'informer les participants du colloque de l'avant-projet de construction d'un lysimètre qui a été élaboré par MM. CASTANY, BONTE et moi-même. La réalisation exacte n'est pas encore entièrement définie.

La région du Nord semble particulièrement indiquée pour la construction de lysimètres du fait de la fréquence des brouillards et de l'absence, quasi totale en certaines régions, d'écoulement superficiel. Sur le plateau de l'Artois, même par forte pluie d'orage, il n'y a pas de ruisseaux. Quelques mares superficielles se forment mais elles disparaissent rapidement par évaporation et infiltration.

L'emplacement choisi : la région d'Annappes, située sur l'anticlinal du Mélandois, présente des caractères hydrogéologiques analogues à ceux du plateau de l'Artois qui constitue la majeure partie de la zone d'infiltration de la nappe de la craie.

Le lysimètre sera de grande taille : 10 m de côté. C'est une condition indispensable pour obtenir des résultats valables. Elle permettra de construire le lysimètre « autour » d'un bloc de craie dont les propriétés physiques ne subiront aucune altération. Cette méthode est nouvelle car jusqu'ici les lysimètres ont été réalisés, dans la craie, en prélevant une carotte de très gros diamètre (2 m maximum) qui était remise en place après construction de

l'appareil. Malgré toutes les précautions prises au cours d'un tel processus, les conditions naturelles de la craie sont altérées.

Nous hésitons entre deux processus de construction : à partir de carrières souterraines ou en terrain vierge. Nous préférons, à priori, le second procédé, malgré son prix de revient supérieur, car nous craignons que la roche, à l'aplomb des carrières souterraines, ne soit plus fissurée que la normale.

La profondeur du lysimètre sera déterminée en fonction de la hauteur de la frange capillaire de la nappe. Elle sera au moins de 10 m.

La construction sera réalisée par des spécialistes des travaux miniers (2) et conduits comme tels. Le travail débutera par la mise en place de la sole inférieure sur laquelle seront par la suite élevés les 4 murs qui s'arrêteront à quelques décimètres de la surface pour que le sol puisse être cultivé normalement. Toutes les fouilles seront immédiatement boisées pour éviter toute décompression du terrain. La partie inférieure du lysimètre sera située, si possible, au-dessus du niveau piézométrique pour faciliter la construction.

Nous serions très heureux de profiter des remarques que ce projet pourrait susciter.

*
**

M. LEROUX demande ce qui arrivera si une fissure est rencontrée dans la craie au cours de la construction du lysimètre ? Dans d'anciennes carrières, il a souvent observé que l'eau n'arrive que par les fissures.

M. BONTE lui répond que c'est justement pour éviter les effets dus aux fissures que le projet de construction à partir des anciens travaux souterrains sera probablement abandonné. Si l'eau ne se manifeste pas en dehors des fissures, c'est précisément en vertu du phénomène de « mèche ». L'eau

(1) Ingénieur géologue en chef au B.R.G.M.

(2) Entreprise Montcocol (Paris).

évite le vide de la carrière pour passer dans les piliers et les parois. C'est peut-être ce phénomène qui explique les résultats négatifs obtenus par M. SANZOT.

Il est de même nécessaire, pour que lysimètre fonctionne normalement, que sa profondeur soit supérieure à la hauteur de la frange capillaire. En dessous de cette valeur, l'eau ne peut percoler. Les expériences décrites hier par M. MONTAGNE ont précisément pour but de déterminer la valeur de la hauteur de la frange capillaire.

M. ACHTEN pense qu'un lysimètre donnera des résultats inférieurs à la réalité. Les pourcentages d'infiltration constatés ne représenteraient pas la totalité des eaux qui pénètrent et qui atteignent la nappe souterraine parce qu'il n'y a pas de régions où le ruissellement soit nul. Il faut éviter un ravinement accentué pour que le ruissellement ait une valeur normale... ; ruissellement superficiel et également ruissellement intra-superficiel où, comme le disait tout à l'heure M. CASTANY, ruissellement hypodermique. C'est dans les dépressions que l'on constatera l'infiltration maximale.

M. RICOUR espère que si le premier lysimètre est réalisé dans de bonnes conditions, plusieurs autres installations pourront être construites dans diverses régions.

M. FOURMARIER demande quelle est l'épaisseur du limon à l'endroit où sera construit le lysimètre.

M. RICOUR précise que bien que la situation exacte ne soit pas encore retenue, le limon n'a en général que 50 cm d'épaisseur dans la région.

M. KARPOFF demande si le lysimètre sera doublé d'une station météorologique équipée pour mesurer à la fois les précipitations et les condensations du brouillard.

M. RICOUR répond qu'un appareil capteur de brouillard identique à ceux mis en service en Allemagne et qu'une station météorologique complète seront installés.

M. HACQUAERT remercie M. RICOUR et donne la parole à M. CASTANY.

. ——— «» ——— .

Etude de l'infiltration

par Gilbert CASTANY (1)

L'eau des précipitations, après avoir subi des pertes par évapotranspiration et absorption par la couverture végétale, parvient à la *surface du sol* où elle se répartit en deux fractions : le ruissellement de surface R et l'infiltration I (fig. 1). L'infiltration représente la quantité d'eau qui pénètre dans le sol et le sous-sol où elle alimente les eaux souterraines : eau de rétention, écoule-

ment hypodermique, écoulement souterrain et reconstitution des réserves aquifères. L'évapotranspiration dépense une part importante du stock d'humidité. Ainsi une fraction seulement des précipitations alimente les nappes : écoulement souterrain et reconstitution des réserves. C'est l'*infiltration efficace*.

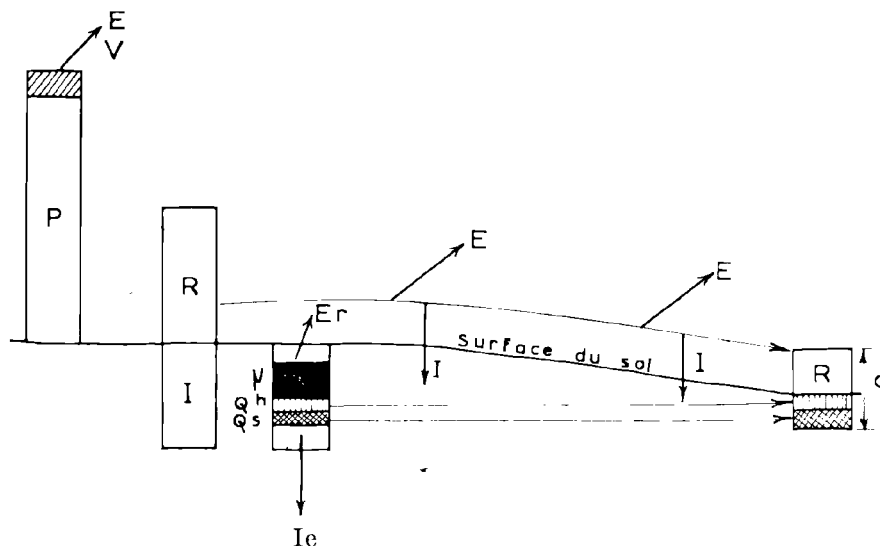


FIG. 1. — Répartition des eaux de précipitations.

P, précipitations ; E, évapotranspiration ; V, eau retenue par la couverture végétale ; I, infiltration ; Er, évapotranspiration réelle ; μ , eau de rétention ; Qh, écoulement hypodermique ; Qs, écoulement souterrain ; R, ruissellement de surface ; Ie, infiltration efficace ; Q, écoulement.

Le taux d'infiltration est exprimé en millimètres de hauteur d'eau. Les hydrogéologues utilisent fréquemment le terme de *coefficient d'infiltration* qui est le quotient, exprimé en pourcentage, du taux d'infiltration par la hauteur de précipitation, soit :

$$\frac{I}{P} 100 \quad (1)$$

(1) Ingénieur-géologue en chef au B.R.G.M.

Comme nous le montrerons par la suite, cette manière de voir est erronée et le terme de *coefficient d'infiltration* doit être abandonné pour être remplacé par celui d'*infiltration*.

L'infiltration est, en hydrogéologie, le facteur le plus important du cycle de l'eau et aussi le plus difficile à évaluer car il échappe aux mesures directes par des processus simples. Il intervient en premier lieu dans le calcul des bilans et dans l'analyse des hydrogrammes unitaires d'averses.

METHODES DE MESURE
DE L'INFILTRATION

Les méthodes de mesure de l'infiltration sont nombreuses et variées en relation avec les phénomènes étudiés. Elles peuvent être directes ou indirectes.

Méthodes directes.

Les méthodes directes permettent d'évaluer la quantité d'eau infiltrée sur une surface de sol déterminée. Elles comprennent :

— la méthode expérimentale par alimentation en eau à l'aide de fossés, rigoles, tranchées ou tubes crépinés enfoncés dans le terrain ;

— le débit des sources dans un bassin hydrogéologique individualisé en fonction de la pluviométrie ;

— l'étude des variations de la surface piézométrique dans un bassin hydrogéologique et des oscillations du niveau piézométrique dans les puits ou les sources ;

— les lysimètres ;

— les mesures du gradient vertical d'humidité dans le sol.

Nous n'envisagerons que celles qui ont été utilisées pour l'étude de la nappe de la Craie, soit en France, soit en Angleterre (Bassin de Londres).

BASSIN DE LA VANNE (SW du Bassin de Paris).

L'infiltration peut être calculée, dans un bassin hydrogéologique individualisé dont les eaux souterraines s'écoulent par des sources, si l'on connaît leur débit moyen Q_m en m^3/s .

En effet, le débit annuel, converti en hauteur d'eau en mm, est égal à l'infiltration annuelle. Nous avons donc :

$$I = Q_m \cdot \frac{t}{S} \cdot 1000 \quad (2)$$

I , est la hauteur d'eau infiltrée annuelle en mm ;

Q_m , le débit moyen en m^3/s ;

t , le temps = 360 j = 31 536.10³s ;

S , la surface du bassin en m^2 .

L'étude de Cl. MÉGNIEN du bassin de la Vanne dans la région parisienne, fournit un bel exemple d'application de cette méthode. La surface totale du bassin S est de 480.10⁶ m^2 , d'où d'après la formule (2) :

$$I = Q_m \cdot \frac{31536 \cdot 10^3}{480 \cdot 10^6 \text{ m}^2} \cdot 1000 \quad (3)$$

$$I = Q_m \cdot 65,7 \quad (4)$$

Le tableau I donne les résultats obtenus :

Année	P en mm	Qm en l/s	I en mm
1952	992	2009	132
1953	515	1802	118
1954	655	1225	80
1955	804	1776	117
1956	672	1459	96
1957	638	1397	92
Moyenne sur période 1952-1957			106

TABLEAU I. — Calcul de l'infiltration sur le bassin de la Vanne (Bassin de Paris). D'après Cl. MÉGNIEN.

BASSIN DE LONDRES.

L'étude des *variations de la surface piézométrique* dans un bassin hydrogéologique déterminé, permet, connaissant la porosité efficace du matériau aquifère et le débit total des écoulements, d'évaluer l'infiltration.

Des formules, que nous étudierons dans un chapitre ultérieur, donnent la valeur de l'*infiltration en fonction des variations du niveau piézométrique dans les puits et forages* (fig. 2).

Les variations du niveau piézométrique dans les puits P, la nappe s'écoulant librement par la source, de débit Q connu, est fonction de l'infiltration efficace.

FLUCTUATIONS DU NIVEAU PIÉZOMÉTRIQUE. Les variations du niveau piézométrique dans les puits ont permis d'obtenir les chiffres du tableau II :

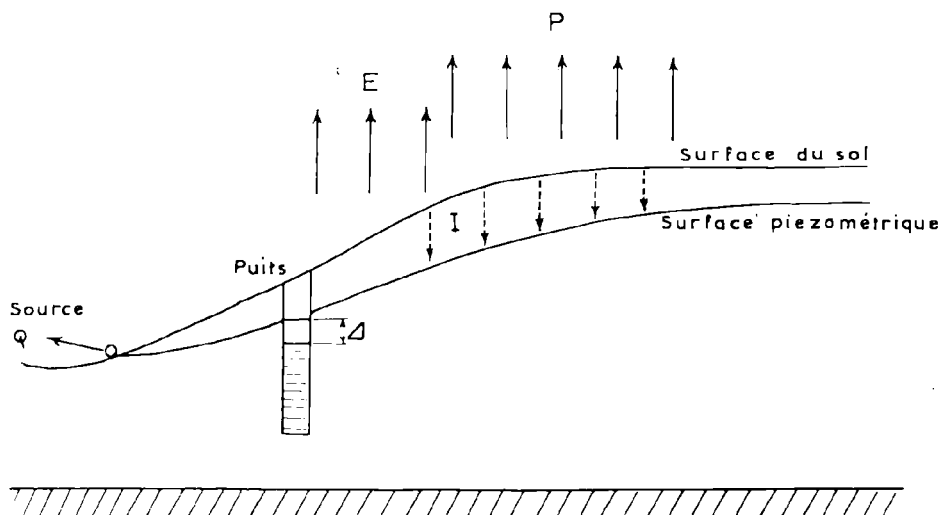


FIG. 2. — Schéma des variations du niveau piézométrique en fonction de l'infiltration efficace.

Site du puits	Années	Période	P	I
Odsey, Cambs ..	1903-1915 1939-1939	19	610	207
Therfield, Herts ...	1925-1939	15	652	240
Detling, Kent ...	1885-1901	25	700	287
Compton, Sussex ..	1893-1942	50	940	605
Chilgrove, Sussex ..	1922-1935	14	972	555

TABLEAU II. — Variations de l'infiltration efficace en fonction de la pluviométrie. Moyennes annuelles en mm de hauteur d'eau calculées sur 50 années.

Reportons ces données sur le graphique 3.

OBSERVATION DU DÉBIT DES SOURCES. L'étude du débit des sources donne les résultats suivants (tableau III) portés sur le graphique figure 3 :

Source	Années	Période	P	I
Havant and Bedhampton	1908-1946	39	875	415
Cossington and Boarley	1932-1940	9	700	275

TABLEAU III. — Résultat des variations de débit des sources.

Les LYSIMÈTRES permettent de déterminer par une méthode directe et précise, l'infiltration qui parvient à la base de l'installation. Sur un sol nu, l'expérience a montré que l'influence de l'évaporation ne dépassait pas une profondeur de 0,5 à 1 m. Donc les mesures effectuées sur des terrains expérimentaux de plus de 1 m d'épaisseur sont valables pour les calculs de la quantité d'eau infiltrée qui alimente les eaux souterraines.

Les résultats obtenus par les lysimètres sont donnés dans le tableau IV. Ils sont portés sur le graphique figure 3.

Emplacement	Années	Période	P en mm	I en mm
Fleam Dyke	1937-1944	8	552,5	172,5
Croydon ...	1879-1916	38	662,5	290
Nash Mills .	—	—	695	265
Farlington .	1934-1946	13	750	267,5
Twyford ..	1902-1944	43	815	425
Compton ...	1921-1928	18	965	542,5

TABLEAU IV. — Mesures de l'infiltration sur les lysimètres de la Craie du Bassin de Londres.

INTERPRÉTATION DES MESURES

Si nous portons les résultats relevés par différentes méthodes pour une même région exprimés

en mm, sur des graphiques, avec en abscisses la pluviométrie et en ordonnées l'infiltration, nous obtenons pour des périodes de longue durée, une droite (fig. 3). L'équation de cette droite est de la forme générale :

$$y = ax - b \quad (5)$$

$$\text{ou } I = aP - b \quad (6)$$

L'infiltration est donc, au-dessus d'une valeur minimum (seuil pluviométrique) une fonction linéaire de la pluviométrie.

Ces conclusions sont valables, tant pour des hauteurs annuelles moyennes mesurées en différents points d'un bassin déterminé que pour des hauteurs annuelles évaluées en un lieu donné.

Nous remarquons que pour les mesures des lysimètres quelques points aberrants ; ils correspondent aux résultats d'observations exécutées sur une période trop courte : 8 années pour Fleam Dyke, 13 pour Farlington et 18 à Compton.

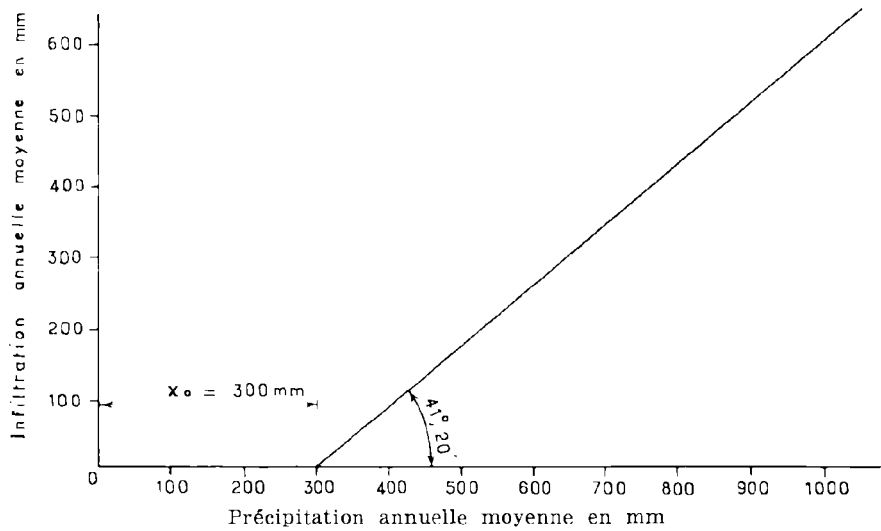


FIG. 3. — Graphique des valeurs de l'infiltration efficace en fonction de la pluviométrie évaluées par différentes méthodes dans la craie du Bassin de Londres.

D'après Ch. Lapworth.

Toutes les données obtenues reportées sur le graphique figure 3 permettent de tracer la droite moyenne. La résolution graphique donne les constantes de l'équation de la droite :

$$a = \text{tg } 41^{\circ}, 20' = 0,88$$

$$b = 300$$

d'où la formule de l'infiltration en fonction de la pluviométrie :

$$I = 0,88 P - 300 \text{ mm} \quad (7)$$

Nous constatons que l'infiltration, au-dessus d'un seuil pluviométrique, est fonction de la précipitation. L'infiltration doit ainsi être exprimée en mm de hauteur d'eau et non en pourcentage.

L'existence du seuil pluviométrique est essentiellement liée à l'évapotranspiration réelle.

La concordance satisfaisante des mesures représentatives graphiques des résultats de diverses méthodes de calcul, en particulier pour les lysimètres et les variations de niveau piézométrique (fig. 3) montre que l'infiltration efficace atteint sa valeur au delà de 1 mètre de profondeur.

Le graphique infiltration - précipitation ainsi établi permet de calculer la valeur de l'infiltration. L'opération de base de l'étude hydrogéologique régionale est donc la construction de ces graphiques. Par exemple pour la nappe de la craie du Bassin de Londres, nous savons qu'une précipitation annuelle de 650 mm correspond à une infiltration efficace de 247 mm. Nous pouvons ainsi calculer les bilans hydrogéologiques et la réalimentation naturelle des niveaux aquifères.

Ces connaissances sont également à la base des études de réalimentations artificielles.

duquel toute l'eau est dépensée avant de parvenir dans le sous-sol.

CONCLUSIONS

L'infiltration est fonction de la précipitation selon une formule de la forme :

$$I = aP - b \quad (6)$$

Les valeurs du taux d'infiltration sont donc déterminées par deux constantes, la pente de la droite a et le seuil pluviométrique b. Les résultats de nombreuses mesures montrent que a et b dépendent de facteurs hydrogéologiques et hydrométéorologiques et sont influencés par les caractéristiques de la surface du sol.

Le rapport entre la quantité d'eau infiltrée qui alimente les nappes souterraines, n'est pas un pourcentage des précipitations, mais une fonction linéaire avec un seuil pluviométrique au-dessous

*

**

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

- COUTAGNE A. (1935). — Contribution à l'étude de la pénétration des eaux dans le sol. *Rev. Gén. Hydraulique*, mai-juin et janv.-fév. 1936.
- DIENERT M.F. (1936). — Sur l'infiltration et l'évaporation des eaux dans le sol. *Rev. Gén. Hydraulique*, janv.-fév.
- LAPWORTH Ch. F. (1948). — Percolation in the chalk. *Jour. Instit. Water Engineers*, 2, pp. 47-120.
- MANDEL J. (1939). — Note sur le calcul des infiltrations. *Ann. Ponts-et-Chaussées*, juillet.
- MÉGNIEU Cl. (1959). — *Observations hydrogéologiques sur le SE du bassin de Paris*. Thèse de Doctorat 3^e cycle, Paris.
- TIXERONT J., BERKALOFF F., CAINE A. et MAUDUECH E. (1951). — Bilan d'eau des massifs calcaires en Tunisie. *Ass. Intern. Hydrologic Sci.*, Ass. Génér. de Bruxelles, pp. 47-53.

*

**

M. HACQUAERT remercie M. CASTANY de son exposé.

M. RICOUR fait remarquer que dans le calcul de tout bilan il y a un coefficient qui semble bien déterminé, facile à mesurer, c'est la pluviométrie. Or, malgré tout, il faut faire quelques restrictions. On a beaucoup parlé de condensations occultes, surtout dans les pays chauds, mais il faut tenir compte aussi d'un autre phénomène : la condensation des brouillards. Les brouillards sont fréquents et de longue durée dans les pays crayeux du Nord de l'Europe. Ils produisent des condensations importantes sur tous les végétaux, de la brindille d'herbe à l'arbre, et sous ces derniers, la pluie y tombe à grosses gouttes. Ces précipitations secondaires se faisant alors que l'atmosphère et le sol sont saturés, on peut penser qu'elles alimentent directement les nappes. Or de telles précipitations ne sont pas enregistrées par les pluviomètres normaux. Des expériences très intéressantes ont été faites en Allemagne par GRUNOW (1). Il a muni des pluviomètres de capteurs de brouillards faits de lamelles très fines disposées au-dessus des appareils et a obtenu des résultats étonnants. Certains appareils ont fourni un volume d'eau parfois supérieur de plus de 100 % par rapport au volume recueilli par des pluviomètres normaux.

Seuls les lysimètres peuvent donner une idée du volume de l'eau de condensation des brouillards qui s'infiltré dans le sol. C'est ce qui leur donne une grande valeur.

«»

(1) Dr J. GRUNOW. — Vergleichende Messungen des Nebelniederschlags. Association internationale d'hydrologie scientifique, assemblée générale de Toronto, t. II, publ. n° 44, 1958, p. 485-501.

Contribution à une discussion sur le "coefficient d'infiltration"

par Jack INESON (1)

Un petit nombre de lysimètres (cases lysimétriques) a été construit en Angleterre dans le but d'évaluer l'infiltration dans la craie. Les résultats ont été utiles car ils ont permis de déterminer la réalimentation jusqu'à la zone de saturation, mais il est possible qu'ils n'aient qu'une application limitée. Il se peut que les mesures soient influencées par la petite dimension des cases lysimétriques, dont le diamètre est fréquemment inférieur à 2 m, et par la difficulté de construire ces cases dans une craie dont la structure n'est pas perturbée. De plus, la lithologie de la craie est extrêmement variable, et il n'est pas rare que la craie aquifère, même aux affleurements, soit recouverte par des dépôts alluviaux allant des sables et graviers perméables à des vases et argiles relativement imperméables. C'est pourquoi les résultats obtenus par les cases lysimétriques n'ont qu'une valeur limitée et peuvent même être entachés d'erreurs.

La section hydrogéologique du Service géologique a effectué de nombreux inventaires hydrogéologiques régionaux dans la craie. L'évaluation de l'équation d'emmagasinement est considérée comme plus probante pour déterminer les disponibilités en eau de cette nappe que l'estimation directe de l'infiltration (S. BUCHAN, 1953 : « Estimation of yield (underground) », J. Inst. Water Engrs., vol. 7, p. 205). Nous sommes parvenus à la conclusion

générale qu'il est préférable de considérer l'infiltration maximum vers la zone de saturation comme la différence entre la quantité de pluie moyenne annuelle sur l'affleurement et l'évapotranspiration réelle telles que les calcule le Docteur H.L. PENMAN (Q. J. Roy. Met. Soc., vol. 76, p. 372). C'est ce qui a été confirmé récemment dans un vaste bassin de réception d'eau souterraine (5 000 ha) où tout l'excédent d'eau des nappes est récupéré sous forme de sources et où ne coule aucun cours d'eau. En présence d'eaux de surface dans un bassin étudié, certaines rectifications doivent être apportées pour tenir compte des pertes de la nappe vers la rivière et inversement. Cela souligne l'importance des mesures de débit des rivières.

En raison des importantes variations lithologiques de la craie, la détermination du coefficient réel d'infiltration dans cet aquifère est difficile.

Nous accueillons favorablement votre projet de construction d'un lysimètre de grandes dimensions dans la craie du Nord de la France, et vous en félicitons. Les résultats seront d'un intérêt considérable. Le problème de l'infiltration dans la craie fait l'objet d'études détaillées dans certains bassins de réception d'Angleterre, et, dans le but d'évaluer l'importance des données fournies par un lysimètre, en particulier saisonnièrement, on espère en construire un ou plusieurs, dans la craie, en Angleterre.

————— « —————

(1) Section hydrogéologique du Service géologique de Grande-Bretagne.

QUATRIÈME THÈME

Chimie de l'eau de la craie

SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD à Lille

Samedi 21 mai 1960 (après-midi)

Présidents : MM. BOGOMOLOV et G. WATERLOT

Rapporteur : M. G. WATERLOT

MM. W.F.M. KIMPE et G. WATERLOT présentent des notes sur la variation du chimisme des eaux de la craie dans les Pays-Bas et le Nord de la France. Un fait général ressort de ces études et des études antérieures citées en référence par ces notes ; c'est le suivant :

Dans une nappe aquifère captive, circulant dans la craie comme d'ailleurs dans n'importe quel terrain, les caractères chimiques de l'eau varient *graduellement* avec l'éloignement de la bordure de mise en captivité. Ces variations consistent d'abord dans des échanges de bases entre l'eau et le terrain. L'eau perd peu à peu du calcium et du magnésium pour acquérir de plus en plus de sodium et de potassium ; en même temps, elle s'enrichit en chlorures et en sulfates ; de ce fait, le résidu sec augmente. Dans un stade plus poussé, la teneur en chlorures devient plus importante que celle des alcalis, si bien que les alcalino-terreux peuvent réapparaître mais à l'état de chlorures.

Dans ce cas, non seulement il s'est produit des échanges de bases, mais encore des acquisitions supplémentaires en éléments dissous. On peut expliquer ce phénomène par une dissolution très poussée des éléments solubles que renferment les roches dans des régions où l'eau circule très peu puisque les nappes n'y sont pas exploitées, précisément à cause de leur forte salinité ; quant à ces éléments solubles, on ne voit raisonnablement pas d'autre origine qu'une eau marine résiduelle.

Ce phénomène de variation du chimisme s'opère non seulement avec l'éloignement de la bordure de la mise en captivité, dans le sens latéral, mais aussi avec les grandes profondeurs, ce qui correspond à l'éloignement de la même bordure dans le sens vertical, très souvent allié d'ailleurs à l'éloignement dans le sens latéral.

Quand des failles intéressent les nappes aquifères captives et que ces failles permettent une circulation d'eau, des eaux très profondes peuvent ainsi remonter le long des zones fracturées pour atteindre des nappes aquifères plus superficielles. Du fait que ces eaux très profondes sont naturellement très minéralisées par le processus habituel, et notamment chlorurées sodiques, de véritables pollutions chimiques se produisent dans les nappes captives plus superficielles recevant ces eaux.

Inversement, une nappe captive qui devrait évoluer normalement peut recevoir accidentellement des pollutions chimiques en provenance de nappes plus superficielles et minéralisées pour d'autres causes, par exemple, s'il s'agit de nappes d'eaux séléniteuses. Dans ce cas comme dans le précédent, l'évolution chimique de l'eau se produit naturellement suivant le processus habituel mais se trouve évidemment perturbée par les apports extérieurs.

Ce sont ces idées qui seront exposées dans les notes suivantes de MM. W.F.M. KIMPE et G. WATERLOT.

Gérard WATERLOT.

*
**

M. BOGOMOLOV transmet aux hydrogéologues des différents pays représentés à ce colloque les vœux de l'Académie des Sciences de l'U.R.S.S. et présente une note intitulée : « L'hydrogéologie des dépôts du Crétacé supérieur dans certaines régions de la partie européenne de l'U.R.S.S. ».

Pour des raisons d'uniformité de présentation, cette communication, qui intéresse à la fois les quatre thèmes du colloque, est présentée à la fin du présent fascicule.

Le chimisme des eaux de la Craie du Limbourg néerlandais

par W.F.M. KIMPE (1)

INTRODUCTION

Dans cette note, je discuterai des variations du chimisme des eaux superficielles et profondes des différents étages du Crétacé dans le Limbourg du Sud et central des Pays-Bas.

C'est une première contribution à l'étude hydrochimique du Crétacé néerlandais. La composition de l'eau du Crétacé des Pays-Bas n'est suffisamment connue que dans la province du Limbourg, au Sud du pays. Là seulement, on peut tirer quelques conclusions intéressantes.

L'échantillonnage des eaux a été effectué à l'occasion de plusieurs captages et surtout grâce à des forages de reconnaissance réalisés par les charbonnages et à des forages profonds.

REMARQUES GENERALES SUR LA STRUCTURE GEOLOGIQUE

Dans le Limbourg, le Crétacé n'est représenté que par la partie supérieure dont le faciès est généralement littoral ou néritique. On peut le diviser comme suit (Pannekoek 1956) :

Maastrichtien	Calcaire tuffoïde de Maastricht	/	Calcaire marneux de Kunrade
	Craie de Gulpen		
Campanien	Sables verts de Herve (Hervien)	/	Sables d'Aix-la-Chapelle (Aachénien)

Le Crétacé repose subhorizontalement en discordance sur le Carbonifère plié et localement sur le Trias (fig. 1). Incliné faiblement vers le NW, le Crétacé affleure seulement dans la partie méridionale du Limbourg du Sud. Vers le Nord, il est recouvert par des dépôts tertiaires et quaternaires de plus en plus épais. Il est divisé, par quelques grandes failles normales NW-SE, en

plusieurs blocs, affaissés en gradins vers le Nord dans le fossé de Roerdal.

Dans la partie méridionale du Limbourg du Sud, le Crétacé, d'une épaisseur variant de 50 à 200 mètres d'est en ouest, repose sur le Carbonifère inférieur et supérieur. Il y affleure sur une superficie assez grande d'environ 250 km², et est recouvert seulement par endroits d'une mince couverture de sables glauconifères oligocènes, et de sables et graviers quaternaires surmontés de loess.

Dans la région minière limbourgeoise, le Crétacé, reposant sur le Houiller et localement sur le Trias, s'enfonce vers le nord et le nord-ouest sous un recouvrement tertiaire et quaternaire de plus en plus épais, d'environ 200 à 400 mètres. Le Crétacé manque complètement, au contraire, par suite d'une érosion dans la partie sud-est de la région minière.

Dans le fossé de Roerdal, le Crétacé, affaissé profondément jusqu'à plus de 1000 mètres, n'a pas été atteint par forages.

Dans la région du Peel, on connaît le Crétacé uniquement par forages profonds. Sous une couverture épaisse de dépôts tertiaires et quaternaires de 400 à 600 mètres, on n'y connaît que le Hervien et l'Aachénien, reposant sur le Houiller et surmonté par les calcaires montiens.

METHODES D'EXPRESSION DES ANALYSES

La composition chimique des eaux est donnée par des analyses simplifiées, comprenant seulement la détermination des alcalino-terreux (calcium et magnésium) et des alcalins (sodium et potassium) ainsi que des chlorures, des sulfates et des carbonates. Chaque élément dosé est exprimé sous la forme standardisée, ionique (Delecourt 1941 à 1943; Delecourt, Liégeois et Guillaume 1947), c'est-à-dire en milliéquivalents (m) par litre d'eau. On obtient, en pratique, le nombre de milliéquivalents en divisant la teneur en milligrammes par litre par le

(1) Bureau géologique. Heerlen, Pays-Bas.

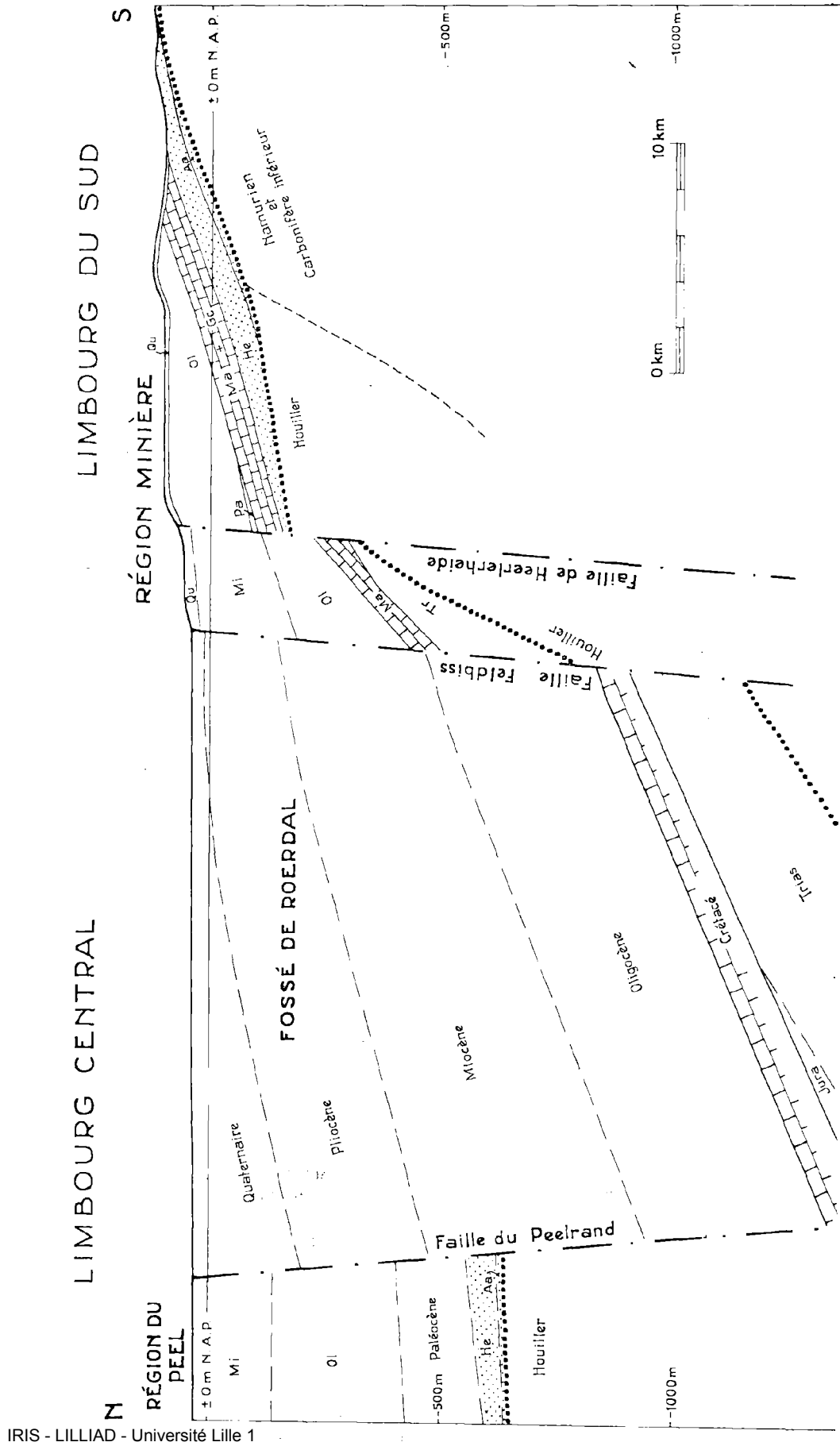


Fig. 1. — Coupe schématique à travers le Limbourg du Sud et Central.

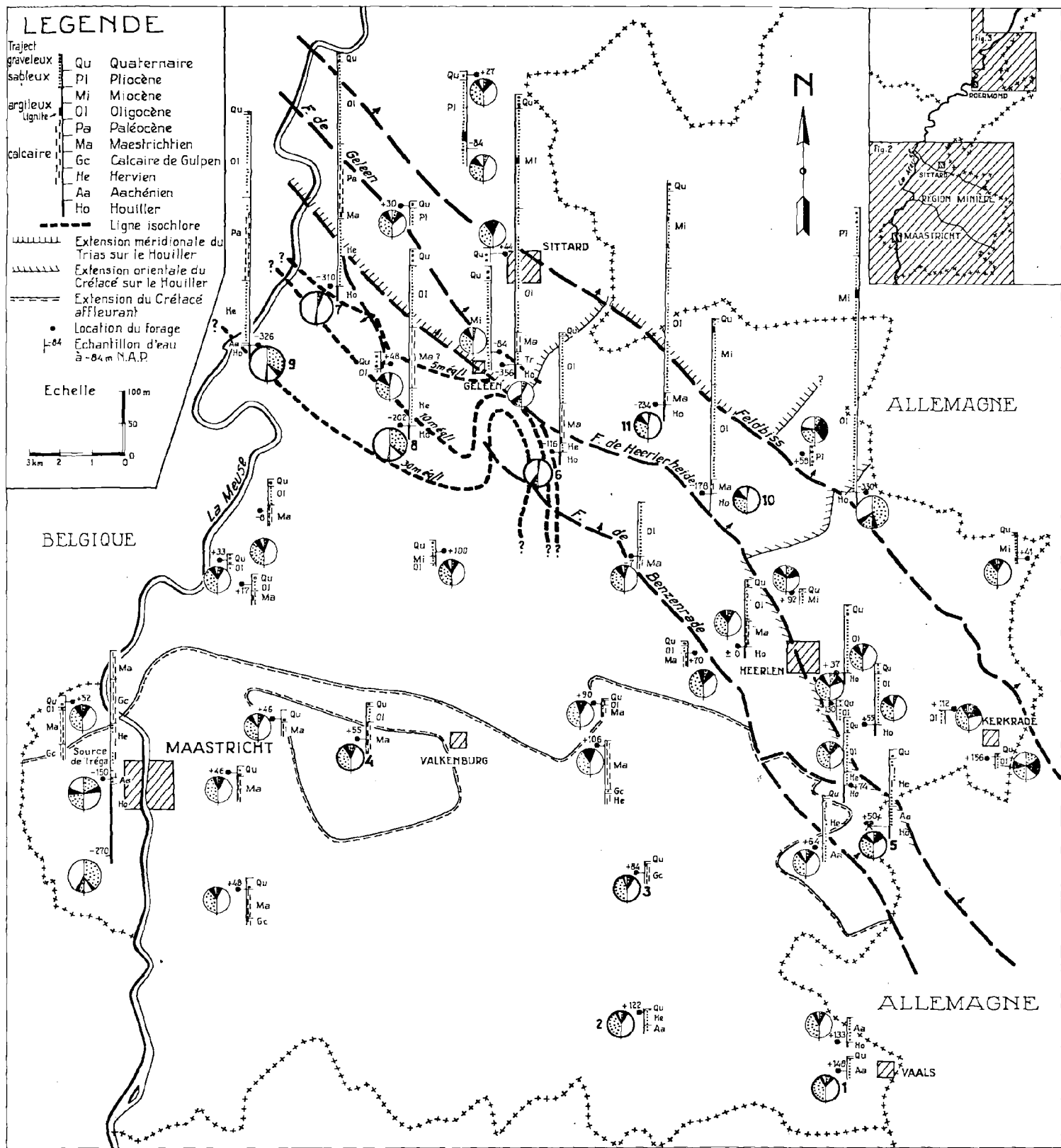


FIG. 2. — Analyses des eaux dans le Crétacé et dans le Tertiaire du Limbourg du Sud. La composition en pourcentage des ions est représentée par des cercles. Les numéros correspondent à ceux des tableaux 1 et 2 (Pour la légende, voir figure 3).

quotient du poids moléculaire du cation ou de l'anion par sa valence. En plus, on indiquera les proportions relatives des ions (%), réduites à 100 % pour le total des ions en milliéquivalents ainsi que le poids en milligrammes par litre d'eau (mg/l) de chacun des éléments, le résidu sec, le titre hydrotimétrique (TH = 5 m Ca + m Mg), le titre alcalimétrique (TA = 5 m CO₃ et le rapport des bases;

ce dernier exprimé par la formule $m \frac{Na + K}{Ca + Mg}$ proposée par G. Waterlot (1950).

L'expression des constituants en proportions relatives est particulièrement commode pour représenter la composition des eaux par des cercles, suivant la méthode de Udluft (1953). Dans les

	Cations			Anions		
	m	%	mg/l.	m	%	mg/l.
1. Forage de Vaals dans l'Aachénien à 22 m de profondeur.	Na + K = 0,3	5,0	7,6	Cl = 0,2	3,3	7,0
TH = 13,5	Ca = 2,5	41,7	50,4	SO ₄ = 0,3	5,0	16,1
TA = 12,5	Mg = 0,2	3,3	2,2	HCO ₃ = 2,5	41,7	153,0
TA < TH				- CO ₃ =		
Na + K						
$m \frac{Na + K}{Ca + Mg} = 0,11$						
Résidu sec : 171 mg/l.	3,0	50,0		3,0	50,0	
2. Captage Landeus dans le Hervien à 10 m de profondeur.						
TH = 26	Na + K = 0,3	2,7	6,9	Cl = 0,3	2,7	12,0
TA = 23	Ca = 5,1	45,5	103,2	SO ₄ = 0,6	5,3	28,0
TA < TH	Mg = 0,2	1,8	2,5	HCO ₃ + CO ₃ = 4,6	41,1	281,0
Na + K				NO ₃ = 0,1	0,9	9,0
$m \frac{Na + K}{Ca + Mg} = 0,1$						
Résidu sec : 327 mg/l.	5,6	50,0		5,6	50,0	
3. Captage Roodborn dans le Maas-trichtien à 16 m de profondeur.						
TH = 27,5	Na + K = 0,5	4,2	11,0	Cl = 0,4	3,3	12,5
TA = 24	Ca = 5,1	42,5	101,5	SO ₄ = 0,7	5,9	31,5
TA < TH	Mg = 0,4	3,3	4,7	HCO ₃ + CO ₃ = 4,8	40,0	293,0
Na + K				NO ₃ = 0,1	0,8	8,0
$m \frac{Na + K}{Ca + Mg} = 0,09$						
Résidu sec : 348 mg/l.	6,0	50,0		6,0	50,0	
4. Captage Geulhem dans le Maas-trichtien à 55 m de profondeur.						
TH = 28,5	Na + K = 0,3	2,5	6,9	Cl = 0,4	3,4	14,0
TA = 24,5	Ca = 4,9	40,8	98,7	SO ₄ = 0,4	3,3	22,0
TA < TH	Mg = 0,8	6,7	9,8	HCO ₃ + CO ₃ = 4,9	40,8	301,0
Na + K				NO ₃ = 0,3	2,5	17,0
$m \frac{Na + K}{Ca + Mg} = 0,05$						
Résidu sec : 329 mg/l.	6,0	50,0		6,0	50,0	

TABLEAU 1. — Analyses des eaux d'infiltration dans les nappes libres de la Craie. Eaux normales du type bicarbonaté-calcique.

figures 2 et 3, j'ai donc représenté les analyses par des cercles de rayon proportionnel à la concentration totale des milliéquivalents. Chaque demi-cercle, l'un pour les cations ($180^\circ = 50\%$), l'autre pour les anions ($180^\circ = 50\%$), est divisé en secteurs correspondant aux concentrations en pourcentage de chacun des éléments.

Les eaux dans la Craie du Limbourg du Sud.

1) La composition des eaux de la zone d'alimentation des nappes aquifères de l'Aachénien, du Hervien et du Maastrichtien dans la région méridionale du Limbourg du Sud (fig. 2) est présentée par les cercles de quelques analyses représentatives pour chacune des nappes. Les analyses de la nappe libre, d'une profondeur de 10 à 55 mètres, donnent les caractéristiques suivantes (tableau 1) :

Les eaux sont peu chargées en sels, le résidu sec reste toujours inférieur à 350 mg/l. Elles sont riches en métaux alcalino-terreux et dures, le titre hydrotimétrique variant de 13,5 à 28,5. Le calcium est de 6 à 25 fois plus abondant que le magnésium. Elles sont très pauvres en métaux alcalins, de sorte que le rapport des bases est extrêmement faible, variant de 0,05 à 0,11, les eaux sont ainsi essentiellement calciques.

La teneur en bicarbonate est de 5 à 6 fois plus élevée que celle en chlorures et sulfates. Les eaux sont donc nettement bicarbonatées. La teneur en sulfates est égale ou supérieure à celle des chlorures, elle peut même en être le double. Cette abondance

relative en sulfates provient probablement de l'oxydation des substances organiques ou des minéraux pyriteux qui se trouvent surtout dans les sables verts du Hervien. De ce qui précède, il résulte que les eaux de la zone d'alimentation du réseau aquifère sont nettement du type bicarbonaté calcique. Il faut cependant remarquer que l'eau des sables de l'Aachénien (tableau 1, analyse 1) ne possède qu'à peu près la moitié du résidu sec et de la dureté de celles des eaux des calcaires tuffoïdes du Maastrichtien et des sables verts du Hervien. Ceci s'explique aisément à cause de la pauvreté en composants réactifs dans les sables de l'Aachénien.

Les caractéristiques de ces eaux sont tout à fait comparables à celles connues dans d'autres régions et dans d'autres formations géologiques, comme dans la Craie et dans le Calcaire carbonifère du Nord de la France (G. Waterlot 1950 et 1958).

2) Davantage vers le Nord, dans la région minière limbourgeoise proprement dite, on observe des variations bien caractérisées de la composition des eaux dans les nappes aquifères captives des différents étages du Crétacé sous la couverture des dépôts tertiaires et quaternaires. Les analyses des eaux (fig. 2), toutes prélevées dans les parties supérieures des forages de reconnaissance réalisés dans les mines, entre 130 m de profondeur au SE et 360 m de profondeur au NW de la région minière, présentent les caractères suivants (tableau 2) :

Dans l'Aachénien (analyse 5), la composition n'a guère subi d'altérations. La concentration totale en ions s'est élevée seulement légèrement. La teneur

5. WS 12 de l'Aachénien à 130 m de profondeur.	Cations			Anions		
	m	%	mg/l.	m	%	mg/l.
TH = 19,0	Na + K = 1,0	10,2	22,3	Cl = 0,4	4,4	15
TA = 17	Ca = 3,2	33,5	64,0	SO ₄ = 0,9	9,8	45,3
TA < TH	Mg = 0,6	6,3	7,3	HCO ₃		
Na + K				+ CO ₃ = 3,4	35,8	207,4
m ————— = 0,3						
Ca + Mg	4,8	50,0				
Résidu sec : ? mg/l.						
6. Ea 87 du Hervien à 185 m de profondeur.	Cations			Anions		
	m	%	mg/l.	m	%	mg/l.
TH = 7,0	Na = 4,8	37,0	110	Cl = 0,4	2,9	13
TA = 30	K = 0,3	2,0	10	SO ₄ = tr	0,0	tr
TA > TH	Ca = 0,8	6,3	16	HCO ₃		
Na + K	Mg = 0,6	4,7	7,4	+ CO ₃ = 6,0	47,1	358,7
m ————— = 3,6						
Ca + Mg	6,5	50,0				
Résidu sec : 371 mg/l.						

<p>7. Ms 357 du Hervien à 350 m de profondeur.</p> <p>TH = 1,5 TA = 59,5 TA > TH Na + K m ————— = 44,7 Ca + Mg Résidu sec : 756 mg/l.</p>	<p align="center">Cations</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>m</th> <th>%</th> <th>mg/l.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Na</td> <td>13,4</td> <td>48,1</td> <td>309</td> </tr> <tr> <td>K</td> <td>0,2</td> <td>0,8</td> <td>8,4</td> </tr> <tr> <td>Ca + Mg</td> <td>0,3</td> <td>1,1</td> <td>5,4</td> </tr> <tr> <td></td> <td>13,9</td> <td>50,0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		m	%	mg/l.	Na	13,4	48,1	309	K	0,2	0,8	8,4	Ca + Mg	0,3	1,1	5,4		13,9	50,0		<p align="center">Anions</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>m</th> <th>%</th> <th>mg/l.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cl</td> <td>0,9</td> <td>3,3</td> <td>33</td> </tr> <tr> <td>SO₄</td> <td>0,8</td> <td>2,9</td> <td>36</td> </tr> <tr> <td>HCO₃⁻ + CO₃⁻</td> <td>11,9</td> <td>43,8</td> <td>685</td> </tr> <tr> <td></td> <td>13,6</td> <td>50,0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		m	%	mg/l.	Cl	0,9	3,3	33	SO ₄	0,8	2,9	36	HCO ₃ ⁻ + CO ₃ ⁻	11,9	43,8	685		13,6	50,0					
	m	%	mg/l.																																											
Na	13,4	48,1	309																																											
K	0,2	0,8	8,4																																											
Ca + Mg	0,3	1,1	5,4																																											
	13,9	50,0																																												
	m	%	mg/l.																																											
Cl	0,9	3,3	33																																											
SO ₄	0,8	2,9	36																																											
HCO ₃ ⁻ + CO ₃ ⁻	11,9	43,8	685																																											
	13,6	50,0																																												
<p>8. Ms 335 du Hervien à 270 m de profondeur.</p> <p>TH = 6,5 TA = 47,5 TA > TH Na + K m ————— = 26,8 Ca + Mg Résidu sec : 2092 mg/l.</p>	<p align="center">Cations</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>m</th> <th>%</th> <th>mg/l.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Na</td> <td>34,9</td> <td>47,3</td> <td>802</td> </tr> <tr> <td>K</td> <td>0,7</td> <td>0,9</td> <td>26</td> </tr> <tr> <td>Ca + Mg</td> <td>1,3</td> <td>1,8</td> <td>27</td> </tr> <tr> <td></td> <td>36,9</td> <td>50,0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		m	%	mg/l.	Na	34,9	47,3	802	K	0,7	0,9	26	Ca + Mg	1,3	1,8	27		36,9	50,0		<p align="center">Anions</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>m</th> <th>%</th> <th>mg/l.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cl</td> <td>26,2</td> <td>35,6</td> <td>929,0</td> </tr> <tr> <td>SO₄</td> <td>1,1</td> <td>1,5</td> <td>52,0</td> </tr> <tr> <td>HCO₃⁻ + CO₃⁻</td> <td>9,5</td> <td>12,9</td> <td>524,0</td> </tr> <tr> <td></td> <td>36,8</td> <td>50,0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		m	%	mg/l.	Cl	26,2	35,6	929,0	SO ₄	1,1	1,5	52,0	HCO ₃ ⁻ + CO ₃ ⁻	9,5	12,9	524,0		36,8	50,0					
	m	%	mg/l.																																											
Na	34,9	47,3	802																																											
K	0,7	0,9	26																																											
Ca + Mg	1,3	1,8	27																																											
	36,9	50,0																																												
	m	%	mg/l.																																											
Cl	26,2	35,6	929,0																																											
SO ₄	1,1	1,5	52,0																																											
HCO ₃ ⁻ + CO ₃ ⁻	9,5	12,9	524,0																																											
	36,8	50,0																																												
<p>9. Ms 170 du Hervien à 360 m de profondeur.</p> <p>TH = 7,5 TA = 53,5 TA > TH Na + K m ————— = 27 Ca + Mg Résidu sec : 2510 mg/l.</p>	<p align="center">Cations</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>m</th> <th>%</th> <th>mg/l.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Na + K</td> <td>40,5</td> <td>48,2</td> <td>930</td> </tr> <tr> <td>Ca</td> <td>0,7</td> <td>0,8</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>Mg</td> <td>0,8</td> <td>1,0</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td></td> <td>42,0</td> <td>50,0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		m	%	mg/l.	Na + K	40,5	48,2	930	Ca	0,7	0,8	15	Mg	0,8	1,0	10		42,0	50,0		<p align="center">Anions</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>m</th> <th>%</th> <th>mg/l.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cl</td> <td>27,9</td> <td>33,2</td> <td>990</td> </tr> <tr> <td>SO₄</td> <td>3,4</td> <td>4,0</td> <td>165</td> </tr> <tr> <td>HCO₃⁻ + CO₃⁻</td> <td>10,7</td> <td>12,8</td> <td>650</td> </tr> <tr> <td></td> <td>42,0</td> <td>50,0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		m	%	mg/l.	Cl	27,9	33,2	990	SO ₄	3,4	4,0	165	HCO ₃ ⁻ + CO ₃ ⁻	10,7	12,8	650		42,0	50,0					
	m	%	mg/l.																																											
Na + K	40,5	48,2	930																																											
Ca	0,7	0,8	15																																											
Mg	0,8	1,0	10																																											
	42,0	50,0																																												
	m	%	mg/l.																																											
Cl	27,9	33,2	990																																											
SO ₄	3,4	4,0	165																																											
HCO ₃ ⁻ + CO ₃ ⁻	10,7	12,8	650																																											
	42,0	50,0																																												
<p>10. Ea 47 du Maastrichtien à 280 m de profondeur.</p> <p>TH = 28,0 TA = 35,5 TA > TH Na + K m ————— = 0,34 Ca + Mg Résidu sec : 408 mg/l.</p>	<p align="center">Cations</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>m</th> <th>%</th> <th>mg/l.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Na</td> <td>1,8</td> <td>12,0</td> <td>42</td> </tr> <tr> <td>K</td> <td>0,1</td> <td>0,7</td> <td>5,2</td> </tr> <tr> <td>Ca</td> <td>4,0</td> <td>26,7</td> <td>80,0</td> </tr> <tr> <td>Mg</td> <td>1,6</td> <td>10,6</td> <td>19,0</td> </tr> <tr> <td></td> <td>7,5</td> <td>50,0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		m	%	mg/l.	Na	1,8	12,0	42	K	0,1	0,7	5,2	Ca	4,0	26,7	80,0	Mg	1,6	10,6	19,0		7,5	50,0		<p align="center">Anions</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>m</th> <th>%</th> <th>mg/l.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cl</td> <td>0,2</td> <td>1,3</td> <td>6,4</td> </tr> <tr> <td>SO₄</td> <td>0,3</td> <td>2,0</td> <td>13,0</td> </tr> <tr> <td>HCO₃⁻ + CO₃⁻</td> <td>7,1</td> <td>46,7</td> <td>435,0</td> </tr> <tr> <td></td> <td>7,6</td> <td>50,0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		m	%	mg/l.	Cl	0,2	1,3	6,4	SO ₄	0,3	2,0	13,0	HCO ₃ ⁻ + CO ₃ ⁻	7,1	46,7	435,0		7,6	50,0	
	m	%	mg/l.																																											
Na	1,8	12,0	42																																											
K	0,1	0,7	5,2																																											
Ca	4,0	26,7	80,0																																											
Mg	1,6	10,6	19,0																																											
	7,5	50,0																																												
	m	%	mg/l.																																											
Cl	0,2	1,3	6,4																																											
SO ₄	0,3	2,0	13,0																																											
HCO ₃ ⁻ + CO ₃ ⁻	7,1	46,7	435,0																																											
	7,6	50,0																																												
<p>11. Ea 2 du Maastrichtien à 350 m de profondeur.</p> <p>TH = 33,5 TA = 38,5 TA > TH Na + K m ————— = 0,25 Ca + Mg Résidu sec : ? mg/l.</p>	<p align="center">Cations</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>m</th> <th>%</th> <th>mg/l.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Na + K</td> <td>1,7</td> <td>10,1</td> <td>38,0</td> </tr> <tr> <td>Ca</td> <td>5,2</td> <td>31,0</td> <td>105,0</td> </tr> <tr> <td>Mg</td> <td>1,5</td> <td>8,9</td> <td>17,8</td> </tr> <tr> <td></td> <td>8,4</td> <td>50,0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		m	%	mg/l.	Na + K	1,7	10,1	38,0	Ca	5,2	31,0	105,0	Mg	1,5	8,9	17,8		8,4	50,0		<p align="center">Anions</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>m</th> <th>%</th> <th>mg/l.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cl</td> <td>0,3</td> <td>1,8</td> <td>10,5</td> </tr> <tr> <td>SO₄</td> <td>0,2</td> <td>1,2</td> <td>10,9</td> </tr> <tr> <td>HCO₃⁻ + CO₃⁻</td> <td>7,7</td> <td>47,0</td> <td>472</td> </tr> <tr> <td></td> <td>8,2</td> <td>50,0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		m	%	mg/l.	Cl	0,3	1,8	10,5	SO ₄	0,2	1,2	10,9	HCO ₃ ⁻ + CO ₃ ⁻	7,7	47,0	472		8,2	50,0					
	m	%	mg/l.																																											
Na + K	1,7	10,1	38,0																																											
Ca	5,2	31,0	105,0																																											
Mg	1,5	8,9	17,8																																											
	8,4	50,0																																												
	m	%	mg/l.																																											
Cl	0,3	1,8	10,5																																											
SO ₄	0,2	1,2	10,9																																											
HCO ₃ ⁻ + CO ₃ ⁻	7,7	47,0	472																																											
	8,2	50,0																																												

TABLEAU 2. — Analyses des eaux profondes de la zone de captivité et d'échanges des bases dans la Craie. Eaux normales bicarbonatées-sodiques et eaux anormales chlorurées-bicarbonatées-sodiques de contamination dans le Hervien et eaux bicarbonatées-calciques dans le Maastrichtien (Analyses du Laboratoire Central des Mines d'Etat).

en ions alcalino-terreux a augmenté, de sorte que la dureté atteint 19°. Mais la teneur en ions alcalins se trouve également en progression, ce qui se traduit par une augmentation faible du rapport des bases. Les échanges des bases commencent déjà à se produire. La teneur en sulfates a davantage augmenté que celle en chlorures et en carbonates, ces dernières constituant toujours la majorité du total en anions. L'eau reste donc du type bicarbonaté-calcaïque, s'approchant cependant légèrement du type bicarbonaté-sulfaté-calcaïque. Ce phénomène trouve sans doute sa cause dans une certaine infiltration plus verticale que latérale de l'eau des sables verts (pyriteux) du Hervien.

Dans le Hervien, plus vers le NW dans la région minière, la composition chimique (analyses 6 et 7) s'est modifiée notablement par rapport au SE du Limbourg du Sud. A une profondeur d'environ 200 m (analyse 6), la teneur en ions alcalino-terreux a fortement diminué par rapport à celle de la zone d'alimentation de la nappe aquifère, à 20 km plus vers le sud-est. Tandis que la teneur en calcium est devenue 6 fois moins abondante, celle en magnésium a augmenté de 1,5 à 3 fois, de sorte que la teneur en calcium ne reste qu'un peu plus élevée que celle en magnésium. Etant donné que la perte en calcium n'est pas complètement compensée par l'augmentation en magnésium et que, de plus, le total des cations est resté du même ordre de grandeur, il est logique de penser que la teneur en ions alcalins a augmenté conformément. En conséquence, le titre hydrotimétrique a diminué notablement (de 10 à 5) pour devenir très faible, et le rapport des bases a augmenté pour dépasser l'unité (indiquant la limite de la zone proximale de captivité selon G. Waterlot 1950 et 1958). Ce rapport peut atteindre 3 ou 6. Ceci s'explique par les échanges de bases, en plein développement et ayant pratiquement atteint leur maximum. La teneur en chlorures n'a pas varié sensiblement, celle en sulfates a diminué pour arriver parfois à zéro, compensée par une augmentation du même ordre en carbonates. Avec un titre alcalimétrique qui est très supérieur au titre hydrotimétrique, les eaux sont devenues alcalines, appartenant très nettement au type bicarbonaté-sodique et provenant de la zone des échanges des bases presque maximales.

Encore plus vers l'Ouest et à une plus grande profondeur (analyse 7), la proportion relative des ions alcalino-terreux a encore diminué pour devenir extrêmement faible. Ainsi la dureté oscille autour de 2°. La teneur en ions alcalins a continué à progresser, devenant même supérieure à celle des ions alcalino-terreux échangés. Le rapport des bases

s'est accru énormément et approche même 45. Il s'est produit un accroissement de la teneur totale en ions et du poids du résidu sec qui varie de 0,5 à 1 gramme. La teneur de chacun des anions a également augmenté. Dans ces eaux alcalines qui sont presque autant sulfatées que chlorurées, et qui appartiennent très nettement au type bicarbonaté-sodique, les échanges des bases ont continué à se développer ultérieurement. De plus, l'apport de sodium, de chlorures et de sulfates a augmenté.

En d'autres endroits, à l'extrême sud et ouest de la mine d'Etat Maurits, la teneur en chlorures a augmenté considérablement (analyses 8 et 9), pour atteindre presque 28 mEq (1000 mg/l). Les sulfates montrent également une certaine augmentation. La teneur en métaux alcalins est marquée par un accroissement de même ordre que celui des chlorures, bien que la teneur en métaux alcalino-terreux augmente également légèrement, le titre hydrotimétrique oscillant autour de 7°. Le rapport des bases reste donc nettement supérieur à l'unité, les eaux sont donc nettement du type chloruré-sodique.

Dans la zone de captivité du Maastrichtien, au N de la faille de Heerlerheide (analyses 10 et 11), l'eau appartient toujours au même type bicarbonaté-calcaïque que dans la partie libre de la nappe. Il s'est produit un faible accroissement de la teneur totale en ions ; le résidu sec oscille autour de 0,5 gramme. Les ions alcalins montrent une augmentation un peu plus forte que celle des alcalino-terreux, le rapport des bases atteignant 0,35 tandis que le titre hydrotimétrique n'a guère varié. On voit donc qu'il ne s'est produit qu'un faible commencement des échanges des bases. Les eaux restent nettement du type bicarbonaté-calcaïque.

Les eaux dans la Craie du Limbourg central.

3) La composition des eaux du Crétacé n'est pas connue dans le fossé de Roerdal.

4) Dans la partie de la région du Peel étudiée ici, au N du fossé de Roerdal (fig. 1 et 3), seuls l'Aachénien et le Hervien sont présents sous une couverture de Tertiaire épaisse de 440 m à 650 m.

L'épaisseur totale du Crétacé traversé par les forages varie de 10 à 120 mètres.

Les eaux de cette série crétacée assez peu puissante, comprise entre le Houiller et la série du Tertiaire, se distinguent par une minéralisation très élevée. Les caractères chimiques des eaux correspondantes (analyses 12 à 16) sont résumés dans le tableau 3, tandis que la répartition des échantillons analysés et leur composition relative sont indiqués sur la figure 3.

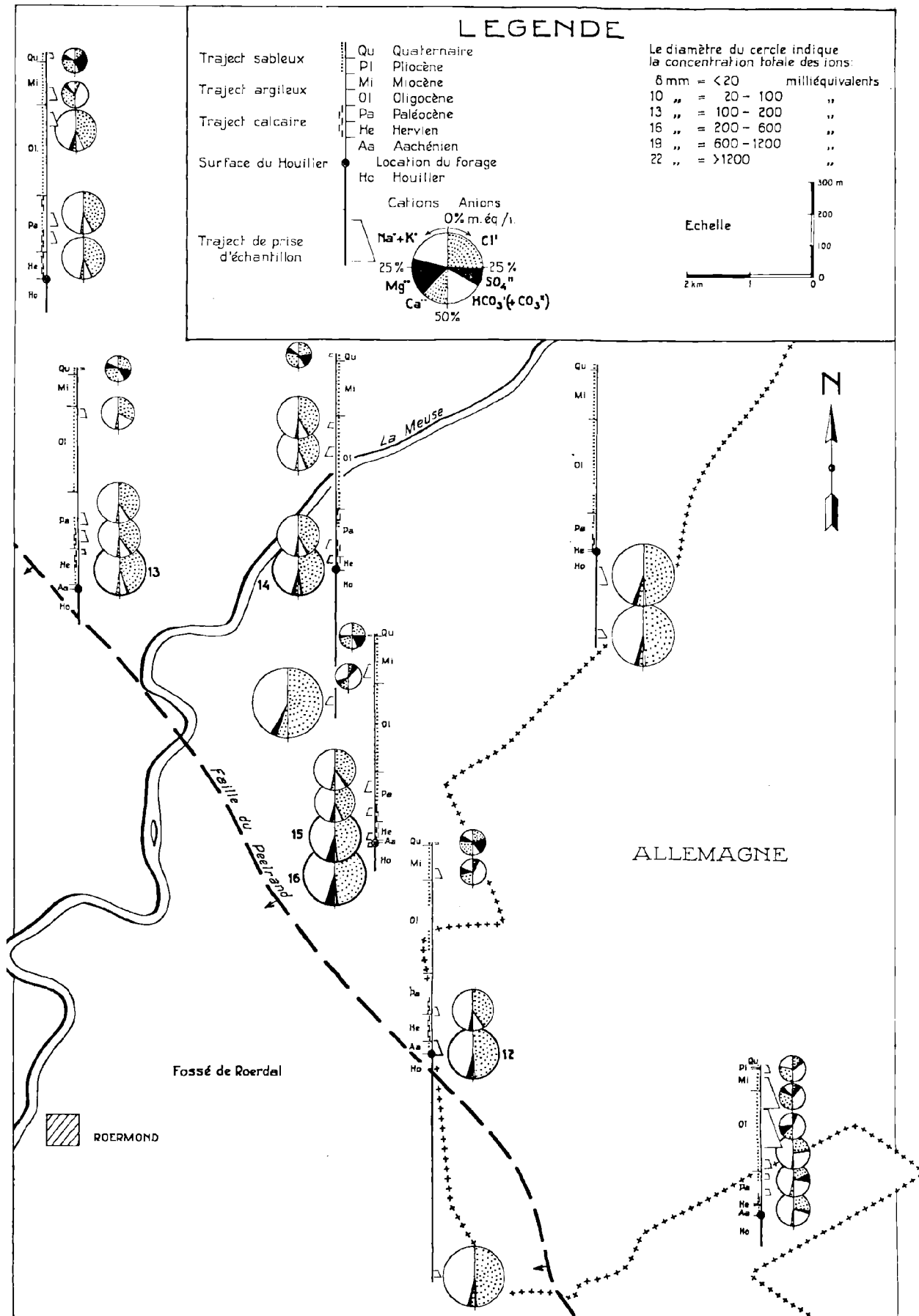


FIG. 3. — Analyses des eaux dans le Houillier et dans les morts-terrains de la région du Peel; celles du C. de l'Université de Liège correspondent avec le tableau 3. La composition chimique en pourcentage des ions est représentée par des cercles.

<p>12. Aachénien à 625 m de profondeur.</p> <p>TH = 92,0 TA = 10 TA < TH Na + K m ————— = 10,0 Ca + Mg Résidu sec : 12492 mg/l.</p>	<p align="center">Cations</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>m</th> <th>%</th> <th>mg/l.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Na</td> <td>181,6</td> <td>44,9</td> <td>4177</td> </tr> <tr> <td>K</td> <td>2,6</td> <td>0,6</td> <td>103</td> </tr> <tr> <td>Ca</td> <td>7,3</td> <td>1,8</td> <td>147</td> </tr> <tr> <td>Mg</td> <td>11,1</td> <td>2,7</td> <td>135</td> </tr> <tr> <td></td> <td>202,6</td> <td>50,0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		m	%	mg/l.	Na	181,6	44,9	4177	K	2,6	0,6	103	Ca	7,3	1,8	147	Mg	11,1	2,7	135		202,6	50,0		<p align="center">Anions</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>m</th> <th>%</th> <th>mg/l.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cl</td> <td>195,0</td> <td>48,7</td> <td>6913</td> </tr> <tr> <td>SO₄</td> <td>1,8</td> <td>0,4</td> <td>83</td> </tr> <tr> <td>HCO₃</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>+ CO₃</td> <td>3,8</td> <td>0,9</td> <td>234</td> </tr> <tr> <td></td> <td>200,6</td> <td>50,0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		m	%	mg/l.	Cl	195,0	48,7	6913	SO ₄	1,8	0,4	83	HCO ₃				+ CO ₃	3,8	0,9	234		200,6	50,0	
	m	%	mg/l.																																															
Na	181,6	44,9	4177																																															
K	2,6	0,6	103																																															
Ca	7,3	1,8	147																																															
Mg	11,1	2,7	135																																															
	202,6	50,0																																																
	m	%	mg/l.																																															
Cl	195,0	48,7	6913																																															
SO ₄	1,8	0,4	83																																															
HCO ₃																																																		
+ CO ₃	3,8	0,9	234																																															
	200,6	50,0																																																
<p>13. Hervien à 575 m de profondeur</p> <p>TH = 29,0 TA = 65,5 TA > TH Na + K m ————— = 18,4 Ca + Mg Résidu sec : 6487 mg/l.</p>	<p align="center">Cations</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>m</th> <th>%</th> <th>mg/l.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Na</td> <td>105,1</td> <td>46,9</td> <td>2417</td> </tr> <tr> <td>K</td> <td>1,4</td> <td>0,6</td> <td>56</td> </tr> <tr> <td>Ca</td> <td>3,0</td> <td>1,3</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>Mg</td> <td>2,8</td> <td>1,2</td> <td>34</td> </tr> <tr> <td></td> <td>112,3</td> <td>50,0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		m	%	mg/l.	Na	105,1	46,9	2417	K	1,4	0,6	56	Ca	3,0	1,3	60	Mg	2,8	1,2	34		112,3	50,0		<p align="center">Anions</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>m</th> <th>%</th> <th>mg/l.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cl</td> <td>96,9</td> <td>43,3</td> <td>3440</td> </tr> <tr> <td>SO₄</td> <td>1,8</td> <td>0,8</td> <td>88</td> </tr> <tr> <td>HCO₃</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>+ CO₃</td> <td>13,1</td> <td>5,9</td> <td>797</td> </tr> <tr> <td></td> <td>111,8</td> <td>50,0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		m	%	mg/l.	Cl	96,9	43,3	3440	SO ₄	1,8	0,8	88	HCO ₃				+ CO ₃	13,1	5,9	797		111,8	50,0	
	m	%	mg/l.																																															
Na	105,1	46,9	2417																																															
K	1,4	0,6	56																																															
Ca	3,0	1,3	60																																															
Mg	2,8	1,2	34																																															
	112,3	50,0																																																
	m	%	mg/l.																																															
Cl	96,9	43,3	3440																																															
SO ₄	1,8	0,8	88																																															
HCO ₃																																																		
+ CO ₃	13,1	5,9	797																																															
	111,8	50,0																																																
<p>14. Hervien à 640 m de profondeur.</p> <p>TH = 116,0 TA = 44 TA < TH Na + K m ————— = 10,4 Ca + Mg Résidu sec : 15674 mg/l.</p>	<p align="center">Cations</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>m</th> <th>%</th> <th>mg/l.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Na</td> <td>238,7</td> <td>45,1</td> <td>5488</td> </tr> <tr> <td>K</td> <td>2,8</td> <td>0,5</td> <td>111</td> </tr> <tr> <td>Ca</td> <td>10,5</td> <td>2,0</td> <td>210</td> </tr> <tr> <td>Mg</td> <td>12,7</td> <td>2,4</td> <td>154</td> </tr> <tr> <td></td> <td>264,7</td> <td>50,0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		m	%	mg/l.	Na	238,7	45,1	5488	K	2,8	0,5	111	Ca	10,5	2,0	210	Mg	12,7	2,4	154		264,7	50,0		<p align="center">Anions</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>m</th> <th>%</th> <th>mg/l.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cl</td> <td>252,0</td> <td>47,3</td> <td>8935</td> </tr> <tr> <td>SO₄</td> <td>5,2</td> <td>1,0</td> <td>252</td> </tr> <tr> <td>HCO₃</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>+ CO₃</td> <td>8,8</td> <td>1,7</td> <td>537</td> </tr> <tr> <td></td> <td>266,0</td> <td>50,0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		m	%	mg/l.	Cl	252,0	47,3	8935	SO ₄	5,2	1,0	252	HCO ₃				+ CO ₃	8,8	1,7	537		266,0	50,0	
	m	%	mg/l.																																															
Na	238,7	45,1	5488																																															
K	2,8	0,5	111																																															
Ca	10,5	2,0	210																																															
Mg	12,7	2,4	154																																															
	264,7	50,0																																																
	m	%	mg/l.																																															
Cl	252,0	47,3	8935																																															
SO ₄	5,2	1,0	252																																															
HCO ₃																																																		
+ CO ₃	8,8	1,7	537																																															
	266,0	50,0																																																
<p>15. Hervien à 630 m de profondeur.</p> <p>TH = 121,5 TA = 44,5 TA < TH Na + K m ————— = 10,1 Ca + Mg Résidu sec : 16039 mg/l.</p>	<p align="center">Cations</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>m</th> <th>%</th> <th>mg/l.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Na</td> <td>242,1</td> <td>45,0</td> <td>5567</td> </tr> <tr> <td>K</td> <td>2,6</td> <td>0,5</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>Ca</td> <td>2,9</td> <td>0,5</td> <td>58</td> </tr> <tr> <td>Mg</td> <td>21,4</td> <td>4,0</td> <td>256</td> </tr> <tr> <td></td> <td>269,0</td> <td>50,0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		m	%	mg/l.	Na	242,1	45,0	5567	K	2,6	0,5	100	Ca	2,9	0,5	58	Mg	21,4	4,0	256		269,0	50,0		<p align="center">Anions</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>m</th> <th>%</th> <th>mg/l.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cl</td> <td>254,1</td> <td>47,5</td> <td>9021</td> </tr> <tr> <td>SO₄</td> <td>4,7</td> <td>0,9</td> <td>228</td> </tr> <tr> <td>HCO₃</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>+ CO₃</td> <td>8,9</td> <td>1,6</td> <td>540</td> </tr> <tr> <td></td> <td>267,7</td> <td>50,0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		m	%	mg/l.	Cl	254,1	47,5	9021	SO ₄	4,7	0,9	228	HCO ₃				+ CO ₃	8,9	1,6	540		267,7	50,0	
	m	%	mg/l.																																															
Na	242,1	45,0	5567																																															
K	2,6	0,5	100																																															
Ca	2,9	0,5	58																																															
Mg	21,4	4,0	256																																															
	269,0	50,0																																																
	m	%	mg/l.																																															
Cl	254,1	47,5	9021																																															
SO ₄	4,7	0,9	228																																															
HCO ₃																																																		
+ CO ₃	8,9	1,6	540																																															
	267,7	50,0																																																
<p>16. Aachénien à 660 m de profondeur.</p> <p>TH = 149 TA = 41,5 TA < TH Na + K m ————— = 9,6 Ca + Mg Résidu sec : 18965 mg/l.</p>	<p align="center">Cations</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>m</th> <th>%</th> <th>mg/l.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Na</td> <td>282,2</td> <td>44,7</td> <td>6490</td> </tr> <tr> <td>K</td> <td>2,9</td> <td>0,5</td> <td>114</td> </tr> <tr> <td>Ca</td> <td>5,5</td> <td>0,9</td> <td>110</td> </tr> <tr> <td>Mg</td> <td>24,3</td> <td>3,9</td> <td>292</td> </tr> <tr> <td></td> <td>314,9</td> <td>50,0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		m	%	mg/l.	Na	282,2	44,7	6490	K	2,9	0,5	114	Ca	5,5	0,9	110	Mg	24,3	3,9	292		314,9	50,0		<p align="center">Anions</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>m</th> <th>%</th> <th>mg/l.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cl</td> <td>300,1</td> <td>47,9</td> <td>10653</td> </tr> <tr> <td>SO₄</td> <td>5,3</td> <td>0,8</td> <td>258</td> </tr> <tr> <td>HCO₃</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>+ CO₃</td> <td>8,3</td> <td>1,3</td> <td>508</td> </tr> <tr> <td></td> <td>313,7</td> <td>50,0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		m	%	mg/l.	Cl	300,1	47,9	10653	SO ₄	5,3	0,8	258	HCO ₃				+ CO ₃	8,3	1,3	508		313,7	50,0	
	m	%	mg/l.																																															
Na	282,2	44,7	6490																																															
K	2,9	0,5	114																																															
Ca	5,5	0,9	110																																															
Mg	24,3	3,9	292																																															
	314,9	50,0																																																
	m	%	mg/l.																																															
Cl	300,1	47,9	10653																																															
SO ₄	5,3	0,8	258																																															
HCO ₃																																																		
+ CO ₃	8,3	1,3	508																																															
	313,7	50,0																																																

TABLEAU 3. — Analyses des eaux profondes chlorurées-sodiques avec quelques chlorures alcalino-terreux, (Analyses du Laboratoire Central des Mines d'Etat)

La minéralisation des eaux s'est effectuée grâce à une augmentation considérable du sodium et des chlorures. Le résidu sec est monté à 6,5 et même à 19 grammes. Par rapport aux eaux chlorurées de la zone précédente, l'augmentation des cations s'est réalisée par un apport relativement plus grand en ions alcalino-terreux qu'en ions alcalins. Il en résulte que le titre hydrotimétrique a augmenté notablement à 30 et même 150 degrés et que le rapport des bases a diminué à 18 et 10. Les eaux sont beaucoup plus riches en magnésium qu'en calcium, le premier étant de 1 à 7 fois plus abondant que le dernier. Dans les eaux les plus chlorurées, la teneur en chlorures (max. 300,1) a dépassé celle en alcalins (max. 285,1, analyse 16), de sorte qu'elles contiennent des chlorures de métaux alcalino-terreux. Il se manifeste un faible apport en sulfates tandis que les carbonates se trouvent en diminution.

Les eaux sont donc très nettement chlorurées-sodiques, plus magnésiennes que calciques, sulfatées et contiennent généralement des chlorures alcalino-terreux. La teneur en chlorures augmente avec la profondeur, de façon caractéristique.

La composition chimique des eaux du Crétacé montre fort bien les variations du chimisme des eaux dans les morts-terrains plus jeunes et dans le Houiller sous-jacent (fig. 3). Il s'en suit que les variations ou l'évolution du chimisme des eaux se sont développées aussi bien dans le sens vertical, ascendant ou descendant que dans le sens latéral.

CAUSES DE MINÉRALISATION

Les analyses chimiques des eaux provenant des différents étages crétacés du Limbourg méridional et central des Pays-Bas montrent des variations graduelles en s'éloignant du bassin d'alimentation des réseaux aquifères, donc dans le sens latéral, en suivant la direction du cheminement de l'eau et dans le sens vertical avec la profondeur. Ce phénomène bien connu se manifeste d'une façon générale; il a été décrit explicitement par M. G. Waterlot en 1950 : « au fur et à mesure qu'une nappe aquifère captive s'éloigne davantage de son bassin d'alimentation, les propriétés chimiques de ses eaux varient progressivement. Le degré hydrotimétrique et la teneur en calcium et magnésium diminuent tandis que la teneur en sodium, sulfates et chlorures augmente. Progressivement, la concentration en sels s'accroît et l'eau perd ainsi peu à peu sa potabilité » (voir également Waterlot, 1958).

A l'origine, dans la zone d'infiltration, les eaux sont dures et calciques (type bicarbonaté-calcique) dans la mesure où elles proviennent de roches plus calcareuses. Plus loin, à une distance d'environ 20 km de la zone d'alimentation, les eaux des sables glauconifères du Hervien sont devenues douces et alcalines (type bicarbonaté-sodique), à la suite des échanges des bases. La concentration totale des ions n'a pas changé sensiblement. Encore davantage vers le NW, où la concentration a doublé, la teneur en ions alcalins atteint son maximum et le rapport des bases devient supérieur à 10 et peut même approcher 45. Un apport de sodium s'est apparemment effectué. Ceci est notamment le cas au SW de la faille de Heerlerheide (fig. 2). En s'éloignant en direction SW de cette faille, l'eau du Hervien devient de plus en plus chlorurée-sodique et la teneur en chlorures peut même approcher de 30 mEq et plus. Les lignes isochlorures à la base du Hervien sont tracées sur la carte (fig. 2). On peut en déduire que l'apport progressif de chlorures ne s'est pas accompli par le Trias du Nord de la faille de Heerlerheide, mais au contraire provient d'une direction sud. Ce phénomène local d'enrichissement en chlorures peut s'expliquer vraisemblablement par des eaux chlorurées ascendantes, montées du Houiller, quelque part le long d'une ou plusieurs failles. Ceci est complètement en concordance, d'une part avec l'occurrence des eaux ascendantes, parfois thermominérales et gazeuses aux autres endroits dans le Houiller de la région minière (Kimpé 1962), d'autre part avec la présence de la « source de Trega » à Maastricht (fig. 2, Jongmans et Driessen 1932). Cette source fournit également des eaux thermales ascendantes chlorurées-sodiques et gazeuses, provenant des ampélites du Namurien. Leur teneur en chlorures atteint 43 mEq (33 quand elles sont parvenues dans l'Aachénien et le Hervien).

Dans la région du Peel, non seulement les eaux de l'Aachénien et du Hervien sont caractérisées par des concentrations totales en ions et chlorures très élevées montant à 100 et même 300 mEq, mais aussi par le fait que les eaux de l'ensemble de ces morts-terrains montrent une forte salinité encore plus considérable en profondeur, dans le Houiller. Également ici, il me semble probable que les eaux normales des morts-terrains sont contaminées et même remplacées en partie par des eaux ascendantes chlorurées du Houiller.

On peut assigner deux origines à ces eaux qui montent généralement le long de grandes failles transversales NW-SE. Tout d'abord, on peut les

faire dériver d'un lessivage des gîtes salifères triasiques en Allemagne du Nord, comme l'a récemment proposé Semmler (1960) pour la majorité des eaux de haute salure du bassin houiller de la Ruhr ; on

peut en second lieu les considérer comme des eaux thermales enrichies de composants d'origine juvénile. Le choix entre ces deux origines est bien difficile pour le moment.

REFERENCES

- DELECOURT J. (1941, 1942 et 1943). — Le titre natronique. I. *Bull. Soc. belge de Géol.*, t. 50, p. 152-166 ; II. *ibidem*, t. 51, p. 107-142 ; III. *ibidem*, t. 52, p. 143-171.
- DELECOURT J., LIÉGEOIS P.G. et GUILLEAUME Ch. (1947). — Les ressources hydrologiques de la Belgique et leur utilisation. *Centenaire A.I. L.g. Congrès 1947*, sect. Géol., p. 385-398.
- JONGMANS W.J. et DRIESSEN Cl. G. (1932). — De mineraalwaterbron te Maastricht. *Water*, t. 16, p. 3-11.
- KIMPE W.F.M. (1962). — Variations du chimisme des eaux dans les morts-terrains et dans le Houiller du Limbourg du Sud, Pays-Bas. (Même vol.)
- PANDEKOEK A.J. éd. (1956). — Geological history of the Netherlands. Government printing and publ. off., 's-Gravenhage.
- SEMMLER W. (1960). — Die Herkunft der Grubenwasserzuflüsse im Ruhrgebiet. *Glückhauf*, t. 96, p. 502-511.
- UDLUFT H. (1953). — Über eine Darstellungsweise von Mineralwasseranalysen. *Notizbl. hess. L. Amt. Bodenforsch.*, t. 81, p. 308-313.
- WATERLOT G. (1950). — L'évolution du chimisme des eaux du Calcaire carbonifère de Lille-Roubaix-Tourcoing et régions limitrophes. *Ann. Soc. Géol. du Nord*, t. 70, p. 79-109.
- (1958). — Remarques sur les variations du chimisme des eaux profondes de la Craie. *Ann. Soc. Géol. du Nord*, t. 78, p. 234-243.

*

**

M. G. WATERLOT remercie M. KIMPE et remarque que les études faites aux Pays-Bas permettront peut-être d'élucider certaines variations du chimisme des eaux de la craie qui ont été constatées dans le Nord de la France.

M. HACQUAERT regrette l'absence de M. DELECOURT qui a étudié des problèmes analogues dans les nappes crétacées de Belgique et constate que les idées de cet auteur relatives aux échanges de base et à la présence d'eaux connées dans les divers terrains sédimentaires semblent aujourd'hui admises par tous.

M. HACQUAERT attire en outre l'attention sur l'intérêt de la mesure de la teneur en iode des eaux et des sédiments qui constituent le réservoir. Il pense que les propriétés chimiques des eaux peuvent donner d'utiles renseignements sur le faciès du réservoir.

M. MASSOULIE signale que, dans la région parisienne, lorsque la craie est recouverte de Sparnacien, l'eau s'enrichit très vite en chlorures. Dans un forage situé à 7 km des affleurements, des degrés hydrotimétriques qui dépassaient 200 ont été constatés. Ils sont dus aux chlorures mais surtout à des chlorures calciques tandis que la teneur en sodium augmentait très peu. On a de même constaté la présence d'iode dans les eaux de Poissy. Cette teneur semble être en relation avec les sulfates et les chlorures du Sparnacien qui surmontent la craie.

M. G. WATERLOT remercie M. KIMPE et lui donne la parole pour une seconde communication :

—————«»—————

Variations du chimisme des eaux dans les morts-terrains et dans le Houiller du Limbourg du Sud (Pays-Bas)

par W.F.M. KIMPE (1)

INTRODUCTION

Les morts-terrains et le Houiller de la partie septentrionale du Limbourg du Sud, et plus spécialement de la région minière néerlandaise, montrent une division spatiale zonaire, en différents types d'eaux. Dans cette zone, mesurant 27 km du NW au SE et 8 km du SW au NE, la dite division est due à la fois au chimisme et à la provenance des eaux.

On distingue de haut en bas (fig. 1, 2, 3 et 4) une zone d'eaux dures et calciques, une zone d'eaux douces et alcalines, devenant de plus en plus minéralisées et chlorurées vers le bas et une zone d'eaux très salées et chlorurées. Chaque zone passe progressivement à la zone voisine. Les caractères hydrochimiques de chaque zone seront discutés de près à l'aide d'un certain nombre d'analyses représentatives.

Le but de cette communication est de démontrer comment cette division spatiale zonaire se manifeste dans les différentes formations géologiques et comment elle peut être expliquée.

Pour la méthode d'expression des analyses, le lecteur est renvoyé à une contribution du même auteur (1962) dans ce volume.

I. — La zone des eaux bicarbonatées-calciques

Cette zone d'infiltration des eaux dures et calciques atteignant le Houiller, s'étend seulement dans la partie est et nord-est de la région minière (fig. 1, 2 et 3). C'est la zone des eaux d'alimentation qui se tient dans les dépôts du Quaternaire et du Tertiaire supérieur, mais également dans les sables meubles, peu glauconieux à intercalations d'argile de l'Oligocène et dans les calcaires du Maastrichtien. A partir de ces dernières séries de morts-terrains, les eaux se sont infiltrées dans le Houiller

jusqu'à une profondeur de 200 à 250 mètres au maximum. Au point de vue hydrochimique, cette zone est complexe, à cause de l'épaisseur des morts-terrains et de la structure géologique et tectonique du Houiller. Plusieurs analyses assez révélatrices sont indiquées ci-après (tableau 1).

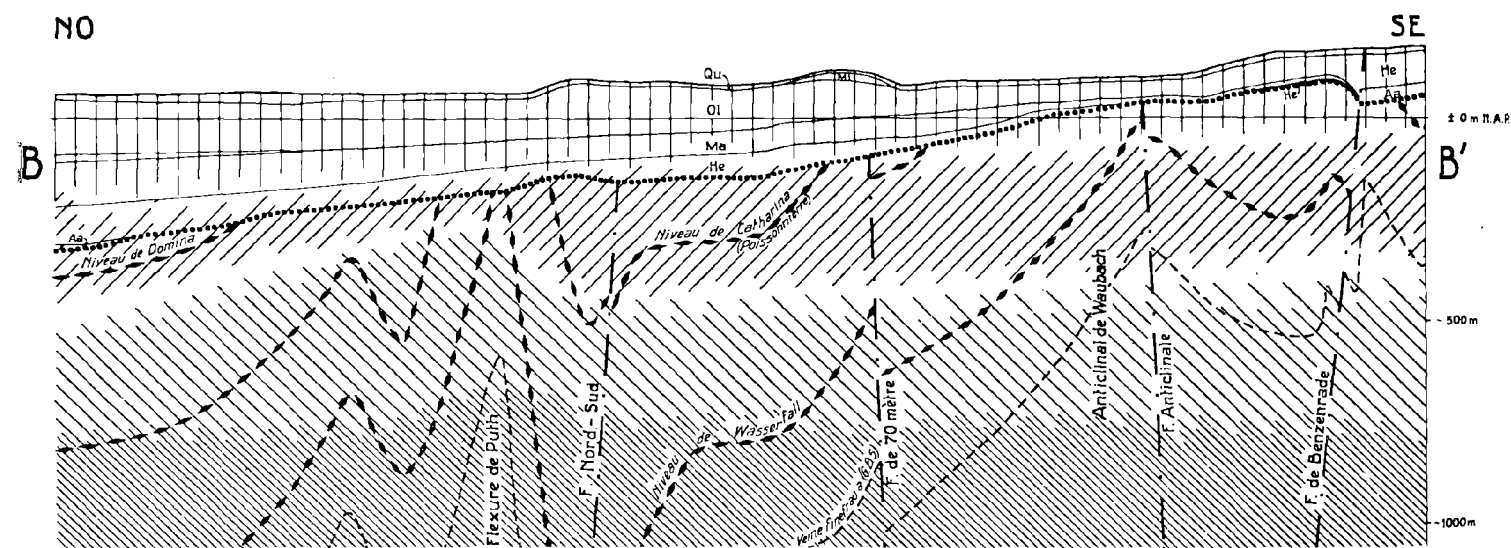
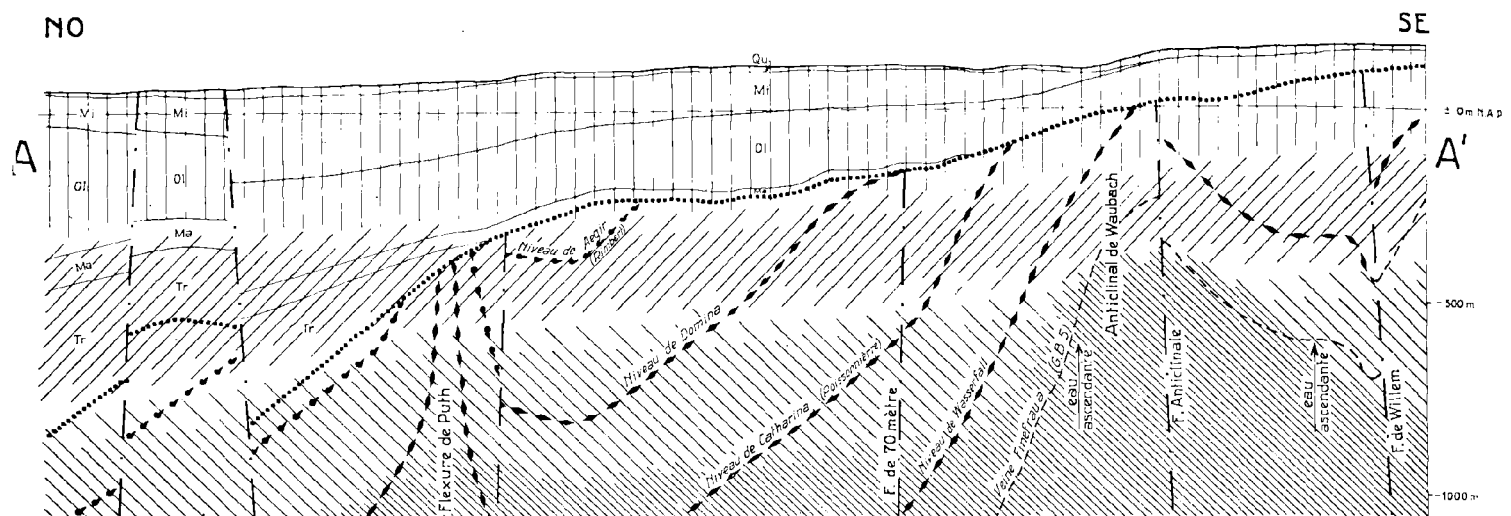
Quelques analyses d'eaux considérées comme typiques de cette zone et provenant de l'Oligocène, sont représentées sous les numéros Wa 137 à 0 m et Wa 121 à 140 mètres au-dessous de la surface du Houiller. Un exemple d'eau provenant du Maastrichtien au niveau de la surface du Houiller est représenté sous le numéro Ea 47.

Les eaux sont dures et plus riches en calcium qu'en magnésium, le titre hydrotimétrique étant de 10 à 40 degrés. Elles sont pauvres en métaux alcalins, de sorte que le rapport des bases est faible. La teneur en carbonates est beaucoup plus élevée que celle en chlorures et en sulfates. Les eaux sont ainsi nettement du type bicarbonaté-calcique. Le résidu sec, qui ne dépasse guère 500 mg/l, monte en général avec la profondeur de façon caractéristique de même que le rapport des bases ; la dureté diminue évidemment en conséquence.

Lorsque l'épaisseur des morts-terrains oligocènes est réduite considérablement de 40 à 15 mètres, les eaux qui s'infiltrent dans le Houiller sont fortement sulfatées, très dures (Wa 139) et éventuellement ferrugineuses, à cause de l'oxydation des sulfures (pyrite, marcassite) et des substances organiques. Elles représentent une sous-zone très locale des eaux sulfatées-calciques. De même, c'est le cas de toutes les eaux qui s'accumulent dans les travaux de mine abandonnés.

Une autre anomalie dans la composition normale des eaux de cette zone se manifeste par une augmentation secondaire considérable de la teneur en chlorures (Hk 28), jusqu'à 30 milliéquivalents, accompagnée d'une augmentation de la dureté jusqu'à 60 degrés. L'eau évolue par conséquent vers le type chloruré-sodique-calcique. C'est notamment le

(1) Bureau Géologique, Heerlen, Pays-Bas.



LÉGENDE DES FIGURES 1 A 4

Qu	Quaternaire		Zone des eaux bicarbonatées-calciques
Mi	Miocène		
Ol	Oligocène		
Pa	Paléocène	////	Zone des eaux bicarbonatées-sodiques
Ma	Maastrichtien		
He	Hervien		
Aa	Aachénien		Zone des eaux chlorurées-sodiques
Tr	Trias		
.....	Surface du houiller		Zone des eaux chlorurées-sodiques à chlorures des alcalis-terreux et dépourvues de sulfates
0	3km		

FIG. 1 à 4

Coupes schématiques à travers les morts-terrains et le Houiller dans la région minière du Limbourg du Sud, montrant la division zonaire des différents types d'eau. (La position des coupes est indiquée dans la fig. 5).

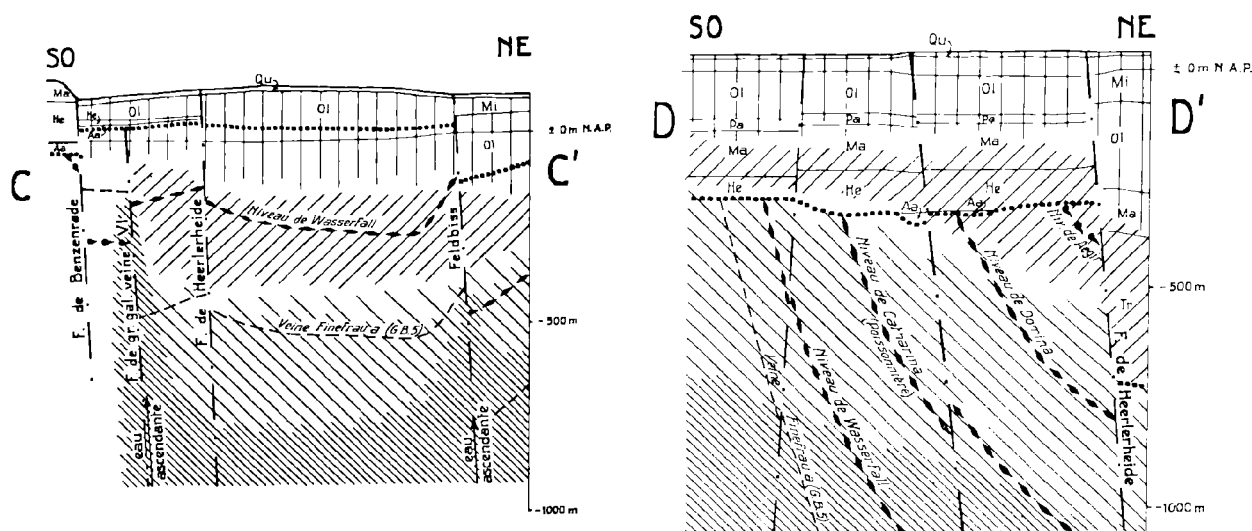


FIG. 1 à 4. — Coupes schématiques à travers les morts-terrains et le Houiller dans la région minière du Limbourg du Sud, montrant la division zonaire des différents types d'eau.

cas là où des eaux salées d'origine hypogène montent totalement dans le Houiller long du Feldbiss, grande faille normale de direction NW-SE. Ces eaux se mélangent, avec augmentation de la salinité, à des eaux normales calciques-bicarbonatées dans le Houiller et même dans l'Oligocène du bloc affaissé au NE de la faille (fig. 5). C'est donc un exemple de contamination de l'eau descendante par de l'eau ascendante salée.

II. — La zone des eaux bicarbonatées-sodiques

Partout dans la région minière, on trouve une zone des eaux bicarbonatées-sodiques au-dessous de la zone des eaux d'infiltration directe du type bicarbonaté-calcaïque (fig. 1 à 4).

Dans la partie ouest de la région minière, la zone des eaux douces et alcalines, c'est-à-dire la zone d'échange des bases, s'est produite aux dépens des eaux dures, à la base des morts-terrains crétacés, notamment dans les sables verts du Hervien et occasionnellement dans l'Aachénien, reposant immédiatement sur le Houiller. Par voie de conséquence, dans les Mines d'Etat Maurits et Emma, les eaux sodiques de la zone de captivité ont pénétré dans le Houiller jusqu'à une profondeur de 200 à 300 m, atteignant même localement 400 mètres (fig. 2 et 4).

D'autre part, vers l'est de la région minière, la continuation de la zone des eaux douces et alcalines s'est développée par échanges de base dans le

Houiller lui-même. L'épaisseur de cette zone y est comprise entre 150 et 300 mètres et s'étend jusqu'à une profondeur de 450 à 500 mètres, sous la surface du Houiller (fig. 1 et 2). Apparemment, les échanges de bases se sont développés non seulement dans les morts-terrains, essentiellement dans le Hervien glauconieux, mais également dans le Houiller. Quelques analyses typiques de cette zone sont indiquées ci-après, montrant les caractères suivants (tableau 2).

Tandis que les échanges des bases se manifestent progressivement et ont déjà commencé à se développer vers la base de la zone des eaux bicarbonatées-calcaïques, ces eaux sont encore intermédiaires entre les eaux nettement bicarbonatées-calcaïques et bicarbonatées-sodiques. La composition caractéristique des eaux à la base du Hervien est représentée par l'analyse Ea 87. La proportion relative des ions alcalino-terreux a diminué pour devenir très faible, tandis que celle des ions alcalins a augmenté conformément. Il s'ensuit que les échanges des bases sont en plein développement. Par conséquent, la dureté a baissé considérablement pour rester inférieure à 10 degrés hydrotimétriques et le rapport des bases a dépassé l'unité pour osciller entre 1 et 10. Les eaux sont douces et essentiellement sodiques. Il n'y a pas de changement notable dans la proportion de la teneur en carbonates, en sulfates et en chlorures par rapport à la zone précédente. Les eaux restent donc essentiellement bicarbonatées. La teneur totale en ions n'a pas changé sensiblement

<p>Wa 137 ; à 0 m dans le Houiller ; Morts-terrains : Oligocène</p> <p>TH = 14,5 TA = 14,5 TA = TH Na + K m ————— = 0,14 Ca + Mg Résidu sec = 220 mg/l.</p>	<p align="center">cations</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>m</th> <th>%</th> <th>mg/l.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Na =</td> <td>0,3</td> <td>4,5</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>K =</td> <td>0,1</td> <td>1,5</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Ca =</td> <td>2,0</td> <td>30,4</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>Mg =</td> <td>0,9</td> <td>13,6</td> <td>11</td> </tr> <tr> <td></td> <td>3,3</td> <td>50,0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		m	%	mg/l.	Na =	0,3	4,5	6	K =	0,1	1,5	3	Ca =	2,0	30,4	40	Mg =	0,9	13,6	11		3,3	50,0		<p align="center">anions</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>m</th> <th>%</th> <th>mg/l.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cl =</td> <td>0,4</td> <td>5,9</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td>SO₄ =</td> <td>0,2</td> <td>2,2</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>HCO₃ =</td> <td>2,9</td> <td>41,9</td> <td>176</td> </tr> <tr> <td></td> <td>3,5</td> <td>50,0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		m	%	mg/l.	Cl =	0,4	5,9	14	SO ₄ =	0,2	2,2	8	HCO ₃ =	2,9	41,9	176		3,5	50,0	
	m	%	mg/l.																																											
Na =	0,3	4,5	6																																											
K =	0,1	1,5	3																																											
Ca =	2,0	30,4	40																																											
Mg =	0,9	13,6	11																																											
	3,3	50,0																																												
	m	%	mg/l.																																											
Cl =	0,4	5,9	14																																											
SO ₄ =	0,2	2,2	8																																											
HCO ₃ =	2,9	41,9	176																																											
	3,5	50,0																																												
<p>Wa 121 ; à 140 m dans le Houiller ; Morts-terrains : Oligocène</p> <p>TH = 36,5 TA = 37,5 TA > TH Na + K m ————— = 0,21 Ca + Mg Résidu sec = 443 mg/l.</p>	<p align="center">cations</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>m</th> <th>%</th> <th>mg/l.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Na =</td> <td>1,0</td> <td>5,7</td> <td>22</td> </tr> <tr> <td>K =</td> <td>0,5</td> <td>2,8</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>Ca =</td> <td>4,1</td> <td>23,3</td> <td>81</td> </tr> <tr> <td>Mg =</td> <td>3,2</td> <td>18,2</td> <td>38</td> </tr> <tr> <td></td> <td>8,8</td> <td>50,0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		m	%	mg/l.	Na =	1,0	5,7	22	K =	0,5	2,8	20	Ca =	4,1	23,3	81	Mg =	3,2	18,2	38		8,8	50,0		<p align="center">anions</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>m</th> <th>%</th> <th>mg/l.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cl =</td> <td>0,2</td> <td>1,2</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>SO₄ =</td> <td>0,9</td> <td>5,2</td> <td>43</td> </tr> <tr> <td>HCO₃ =</td> <td>7,5</td> <td>43,6</td> <td>456</td> </tr> <tr> <td></td> <td>8,6</td> <td>50,0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		m	%	mg/l.	Cl =	0,2	1,2	7	SO ₄ =	0,9	5,2	43	HCO ₃ =	7,5	43,6	456		8,6	50,0	
	m	%	mg/l.																																											
Na =	1,0	5,7	22																																											
K =	0,5	2,8	20																																											
Ca =	4,1	23,3	81																																											
Mg =	3,2	18,2	38																																											
	8,8	50,0																																												
	m	%	mg/l.																																											
Cl =	0,2	1,2	7																																											
SO ₄ =	0,9	5,2	43																																											
HCO ₃ =	7,5	43,6	456																																											
	8,6	50,0																																												
<p>Ea 47 ; à 0 m dans le Houiller ; Morts-terrains : calcaire Maastrichtien</p> <p>TH = 29,0 TA = 35,5 TA > TH Na + K m ————— = 0,34 Ca + Mg Résidu sec = 408 mg/l.</p>	<p align="center">cations</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>m</th> <th>%</th> <th>mg/l.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Na =</td> <td>1,8</td> <td>12,0</td> <td>42</td> </tr> <tr> <td>K =</td> <td>0,1</td> <td>0,7</td> <td>5,2</td> </tr> <tr> <td>Ca =</td> <td>4,0</td> <td>26,7</td> <td>80</td> </tr> <tr> <td>Mg =</td> <td>1,6</td> <td>10,6</td> <td>19</td> </tr> <tr> <td></td> <td>7,5</td> <td>50,0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		m	%	mg/l.	Na =	1,8	12,0	42	K =	0,1	0,7	5,2	Ca =	4,0	26,7	80	Mg =	1,6	10,6	19		7,5	50,0		<p align="center">anions</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>m</th> <th>%</th> <th>mg/l.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cl =</td> <td>0,2</td> <td>1,3</td> <td>6,4</td> </tr> <tr> <td>SO₄ =</td> <td>0,3</td> <td>2,0</td> <td>13</td> </tr> <tr> <td>HCO₃ =</td> <td>7,1</td> <td>46,7</td> <td>435</td> </tr> <tr> <td></td> <td>7,6</td> <td>50,0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		m	%	mg/l.	Cl =	0,2	1,3	6,4	SO ₄ =	0,3	2,0	13	HCO ₃ =	7,1	46,7	435		7,6	50,0	
	m	%	mg/l.																																											
Na =	1,8	12,0	42																																											
K =	0,1	0,7	5,2																																											
Ca =	4,0	26,7	80																																											
Mg =	1,6	10,6	19																																											
	7,5	50,0																																												
	m	%	mg/l.																																											
Cl =	0,2	1,3	6,4																																											
SO ₄ =	0,3	2,0	13																																											
HCO ₃ =	7,1	46,7	435																																											
	7,6	50,0																																												
<p>Wa 139 ; à 50 m dans le Houiller ; Morts-terrains : Oligocène</p> <p>TA = 90,5 TA = 22,5 TA < TH Na + K m ————— = 0,25 Ca + Mg Résidu sec = 1540 mg/l.</p>	<p align="center">cations</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>m</th> <th>%</th> <th>mg/l.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Na =</td> <td>4,3</td> <td>9,6</td> <td>98</td> </tr> <tr> <td>K =</td> <td>0,2</td> <td>0,4</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>Ca =</td> <td>14,3</td> <td>31,6</td> <td>286</td> </tr> <tr> <td>Mg =</td> <td>3,8</td> <td>8,4</td> <td>46</td> </tr> <tr> <td></td> <td>22,6</td> <td>50,0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		m	%	mg/l.	Na =	4,3	9,6	98	K =	0,2	0,4	8	Ca =	14,3	31,6	286	Mg =	3,8	8,4	46		22,6	50,0		<p align="center">anions</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>m</th> <th>%</th> <th>mg/l.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cl =</td> <td>1,5</td> <td>3,4</td> <td>53</td> </tr> <tr> <td>SO₄ =</td> <td>16,3</td> <td>36,5</td> <td>702</td> </tr> <tr> <td>HCO₃ =</td> <td>4,5</td> <td>10,1</td> <td>276</td> </tr> <tr> <td></td> <td>22,3</td> <td>50,0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		m	%	mg/l.	Cl =	1,5	3,4	53	SO ₄ =	16,3	36,5	702	HCO ₃ =	4,5	10,1	276		22,3	50,0	
	m	%	mg/l.																																											
Na =	4,3	9,6	98																																											
K =	0,2	0,4	8																																											
Ca =	14,3	31,6	286																																											
Mg =	3,8	8,4	46																																											
	22,6	50,0																																												
	m	%	mg/l.																																											
Cl =	1,5	3,4	53																																											
SO ₄ =	16,3	36,5	702																																											
HCO ₃ =	4,5	10,1	276																																											
	22,3	50,0																																												
<p>Hk 28 ; à 0 m dans le Houiller ; Morts-terrains : Oligocène</p> <p>TH = 58,0 TA = 21,0 TA < TH Na + K m ————— = 2,6 Ca + Mg Résidu sec = ? mg/l.</p>	<p align="center">cations</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>m</th> <th>%</th> <th>mg/l.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Na + K =</td> <td>22,4</td> <td>33,0</td> <td>515</td> </tr> <tr> <td>Ca =</td> <td>7,5</td> <td>11,0</td> <td>150</td> </tr> <tr> <td>Mg =</td> <td>4,1</td> <td>6,0</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td></td> <td>34,0</td> <td>50,0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		m	%	mg/l.	Na + K =	22,4	33,0	515	Ca =	7,5	11,0	150	Mg =	4,1	6,0	50		34,0	50,0		<p align="center">anions</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>m</th> <th>%</th> <th>mg/l.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cl =</td> <td>28,8</td> <td>42,0</td> <td>1020</td> </tr> <tr> <td>SO₄ =</td> <td>1,3</td> <td>1,9</td> <td>65</td> </tr> <tr> <td>HCO₃ =</td> <td>4,2</td> <td>6,1</td> <td>255</td> </tr> <tr> <td></td> <td>34,3</td> <td>50,0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		m	%	mg/l.	Cl =	28,8	42,0	1020	SO ₄ =	1,3	1,9	65	HCO ₃ =	4,2	6,1	255		34,3	50,0					
	m	%	mg/l.																																											
Na + K =	22,4	33,0	515																																											
Ca =	7,5	11,0	150																																											
Mg =	4,1	6,0	50																																											
	34,0	50,0																																												
	m	%	mg/l.																																											
Cl =	28,8	42,0	1020																																											
SO ₄ =	1,3	1,9	65																																											
HCO ₃ =	4,2	6,1	255																																											
	34,3	50,0																																												

TABLEAU 1. — Analyses des eaux normales de la zone d'infiltration des eaux bicarbonatées-calciques et des eaux anormales sulfatées-calciques et chlorurées-sodiques.

<p>Ea 87 ; à 0 m dans le Houiller ; Morts-terrains : Hervien</p> <hr/> <p>TH = 7,0 TA = 30,0 TA > TH Na + K m ————— = 3,5 Ca + Mg Résidu sec : 371 mg/l.</p>	<p align="center">cations</p> <hr/> <table border="0"> <thead> <tr> <th></th> <th>m</th> <th>%</th> <th>mg/l.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Na</td> <td>4,8</td> <td>37,0</td> <td>110</td> </tr> <tr> <td>K</td> <td>0,3</td> <td>2,0</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>Ca</td> <td>0,8</td> <td>6,3</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>Mg</td> <td>0,6</td> <td>4,7</td> <td>7,4</td> </tr> <tr> <td></td> <td>6,5</td> <td>50,0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		m	%	mg/l.	Na	4,8	37,0	110	K	0,3	2,0	10	Ca	0,8	6,3	16	Mg	0,6	4,7	7,4		6,5	50,0		<p align="center">anions</p> <hr/> <table border="0"> <thead> <tr> <th></th> <th>m</th> <th>%</th> <th>mg/l.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cl</td> <td>0,4</td> <td>2,9</td> <td>13</td> </tr> <tr> <td>SO₄</td> <td>tr</td> <td>0,0</td> <td>tr</td> </tr> <tr> <td>HCO₃</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>+ CO₃</td> <td>6,0</td> <td>47,1</td> <td>358,7</td> </tr> <tr> <td></td> <td>6,4</td> <td>50,0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		m	%	mg/l.	Cl	0,4	2,9	13	SO ₄	tr	0,0	tr	HCO ₃				+ CO ₃	6,0	47,1	358,7		6,4	50,0	
	m	%	mg/l.																																															
Na	4,8	37,0	110																																															
K	0,3	2,0	10																																															
Ca	0,8	6,3	16																																															
Mg	0,6	4,7	7,4																																															
	6,5	50,0																																																
	m	%	mg/l.																																															
Cl	0,4	2,9	13																																															
SO ₄	tr	0,0	tr																																															
HCO ₃																																																		
+ CO ₃	6,0	47,1	358,7																																															
	6,4	50,0																																																
<p>Ea 68 ; à 124 m dans le Houiller ; Morts-terrains : Hervien</p> <hr/> <p>TH = 0,5 TA = 53,5 TA > TH Na + K m ————— = 117 Ca + Mg Résidu sec = 613 mg/l.</p>	<p align="center">cations</p> <hr/> <table border="0"> <thead> <tr> <th></th> <th>m</th> <th>%</th> <th>mg/l.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Na</td> <td>11,6</td> <td>49,2</td> <td>267</td> </tr> <tr> <td>K</td> <td>0,1</td> <td>0,4</td> <td>4,9</td> </tr> <tr> <td>Ca + Mg</td> <td>0,1</td> <td>0,4</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td></td> <td>11,8</td> <td>50,0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		m	%	mg/l.	Na	11,6	49,2	267	K	0,1	0,4	4,9	Ca + Mg	0,1	0,4	2		11,8	50,0		<p align="center">anions</p> <hr/> <table border="0"> <thead> <tr> <th></th> <th>m</th> <th>%</th> <th>mg/l.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cl</td> <td>0,5</td> <td>2,2</td> <td>18</td> </tr> <tr> <td>SO₄</td> <td>0,4</td> <td>1,7</td> <td>18</td> </tr> <tr> <td>HCO₃</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>+ CO₃</td> <td>10,7</td> <td>46,1</td> <td>609</td> </tr> <tr> <td></td> <td>11,6</td> <td>50,0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		m	%	mg/l.	Cl	0,5	2,2	18	SO ₄	0,4	1,7	18	HCO ₃				+ CO ₃	10,7	46,1	609		11,6	50,0					
	m	%	mg/l.																																															
Na	11,6	49,2	267																																															
K	0,1	0,4	4,9																																															
Ca + Mg	0,1	0,4	2																																															
	11,8	50,0																																																
	m	%	mg/l.																																															
Cl	0,5	2,2	18																																															
SO ₄	0,4	1,7	18																																															
HCO ₃																																																		
+ CO ₃	10,7	46,1	609																																															
	11,6	50,0																																																
<p>Wa 107 ; à 400 m dans le Houiller ; Morts-terrains : Oligocène</p> <hr/> <p>TH = 0,3 TA = 62,5 TA > TH Na + K m ————— = 270 Ca + Mg Résidu sec = 763 mg/l.</p>	<p align="center">cations</p> <hr/> <table border="0"> <thead> <tr> <th></th> <th>m</th> <th>%</th> <th>mg/l.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Na</td> <td>13,3</td> <td>48,0</td> <td>307</td> </tr> <tr> <td>K</td> <td>0,2</td> <td>1,6</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>Ca</td> <td>0,05</td> <td>0,4</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td></td> <td>13,55</td> <td>50,0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		m	%	mg/l.	Na	13,3	48,0	307	K	0,2	1,6	7	Ca	0,05	0,4	1		13,55	50,0		<p align="center">anions</p> <hr/> <table border="0"> <thead> <tr> <th></th> <th>m</th> <th>%</th> <th>mg/l.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cl</td> <td>0,7</td> <td>2,5</td> <td>23</td> </tr> <tr> <td>SO₄</td> <td>0,6</td> <td>2,2</td> <td>27</td> </tr> <tr> <td>HCO₃</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>+ CO₃</td> <td>12,5</td> <td>45,3</td> <td>736</td> </tr> <tr> <td></td> <td>13,8</td> <td>50,0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		m	%	mg/l.	Cl	0,7	2,5	23	SO ₄	0,6	2,2	27	HCO ₃				+ CO ₃	12,5	45,3	736		13,8	50,0					
	m	%	mg/l.																																															
Na	13,3	48,0	307																																															
K	0,2	1,6	7																																															
Ca	0,05	0,4	1																																															
	13,55	50,0																																																
	m	%	mg/l.																																															
Cl	0,7	2,5	23																																															
SO ₄	0,6	2,2	27																																															
HCO ₃																																																		
+ CO ₃	12,5	45,3	736																																															
	13,8	50,0																																																
<p>Ms 243 à 55 m dans le Houiller ; Morts-terrains : Hervien</p> <hr/> <p>TH = 12,0 TA = 64,0 TA > TH Na + K m ————— = 28,5 Ca + Mg Résidu sec = 4087 mg/l.</p>	<p align="center">cations</p> <hr/> <table border="0"> <thead> <tr> <th></th> <th>m</th> <th>%</th> <th>mg/l.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Na</td> <td>67,5</td> <td>47,8</td> <td>1552</td> </tr> <tr> <td>K</td> <td>0,9</td> <td>0,6</td> <td>34</td> </tr> <tr> <td>Ca</td> <td>1,2</td> <td>0,8</td> <td>24</td> </tr> <tr> <td>Mg</td> <td>1,2</td> <td>0,8</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td></td> <td>70,8</td> <td>50,0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		m	%	mg/l.	Na	67,5	47,8	1552	K	0,9	0,6	34	Ca	1,2	0,8	24	Mg	1,2	0,8	14		70,8	50,0		<p align="center">anions</p> <hr/> <table border="0"> <thead> <tr> <th></th> <th>m</th> <th>%</th> <th>mg/l.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cl</td> <td>54,8</td> <td>39,1</td> <td>1947</td> </tr> <tr> <td>SO₄</td> <td>2,4</td> <td>1,8</td> <td>117</td> </tr> <tr> <td>HCO₃</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>+ CO₃</td> <td>12,8</td> <td>9,1</td> <td>765</td> </tr> <tr> <td></td> <td>70,0</td> <td>50,0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		m	%	mg/l.	Cl	54,8	39,1	1947	SO ₄	2,4	1,8	117	HCO ₃				+ CO ₃	12,8	9,1	765		70,0	50,0	
	m	%	mg/l.																																															
Na	67,5	47,8	1552																																															
K	0,9	0,6	34																																															
Ca	1,2	0,8	24																																															
Mg	1,2	0,8	14																																															
	70,8	50,0																																																
	m	%	mg/l.																																															
Cl	54,8	39,1	1947																																															
SO ₄	2,4	1,8	117																																															
HCO ₃																																																		
+ CO ₃	12,8	9,1	765																																															
	70,0	50,0																																																

TABLEAU 2. Analyses des eaux normales de la zone des échanges des bases, des eaux bicarbonatées-sodiques et des eaux anormales chlorurées-sodiques.

ou, tout au plus, ne montre qu'un faible accroissement. Le poids du résidu sec reste encore inférieur à 0,5 gramme.

En descendant dans le Houiller et en suivant le sens du cheminement des eaux, on peut observer non seulement une augmentation du poids du résidu sec de 0,5 à 1 g par litre, et par conséquent un accroissement de la teneur totale en ions, mais

encore un extrême développement des échanges de bases (Ea 68 et Wa 107). Le rapport des bases atteint 100 et peut même approcher de 300. La teneur en ions alcalino-terreux a tellement diminué que la dureté reste inférieure à 0,5°. Outre une accentuation des échanges des bases, il se produit encore un apport incontestable d'ions sodium, tandis que chez les anions, seule la teneur en bicar-

bonates a augmenté. Ces eaux très nettement du type bicarbonaté-sodique appartiennent par conséquent à la zone des échanges des bases maximum.

Enfin, dans l'extrême SW et S de la mine d'Etat Maurits, à l'ouest de la région minière, les eaux qui s'infiltrent dans la base du Hervien sont bien salées (Ms 243). Ces eaux, dont le résidu sec oscille autour de 4 grammes, appartiennent au type chloruré-sodique. La dureté, de 12° hydrotimétriques, est assez faible. Le rapport des bases est élevé et monte à 28,5, tandis que la teneur en chlorures, montant à 55 mEq, est considérable.

L'origine de cette eau chloruré-sodique dans les morts-terrains est inconnue. Il ne me semble cependant nullement exclu qu'elle puisse contenir également une certaine part d'eau plus salée d'origine ascendante. Elle représenterait, en ce cas, un autre exemple de contamination des eaux bicarbonatées-sodiques. Il n'y a aucune indication d'une provenance éventuelle des eaux chlorurées du Trias au voisinage du Nord de la faille de Heerlerheide.

Le Trias, en effet, contient typiquement des eaux du type bicarbonaté-sodique (fig. 3 et 4). D'autre part, comme je l'ai déjà indiqué antérieurement (Kimpe 1962), on a pu constater dans un forage à Maastricht (« source de Trega », Jongmans et Driessen 1932), la présence d'eaux ascendantes thermales et gazeuses avec une teneur en chlorures de 25 à 43 mEq à la base du Hervien, dans l'Aachénien et dans les ampélites remaniées au sommet du Carbonifère.

III. — La zone des eaux chlorurées-sodiques

Vers la base de la zone des eaux bicarbonatées-sodiques dans le Houiller de la région minière, il se produit une augmentation progressive de la teneur en chlorures. Le poids du résidu sec augmente toujours en relation évidemment avec l'augmentation de la teneur totale des ions. On peut dire que la zone des eaux chlorurées-sodiques commence à se manifester dans la partie est de la région minière à une profondeur d'environ 500 m

Ms 213; à 110 m dans le Houiller	cations			anions		
	m	%	mg/l.	m	%	mg/l.
TH = 7,0	Na = 51,6	48,1	1186	Cl = 42,2	39,3	1500
TA = 54,5	K = 0,6	0,6	24	SO ₄ = 0,6	0,6	29
TA > TH	Ca = 0,6	0,6	12	HCO ₃ = 10,9	10,1	667
Na + K	Mg = 0,8	0,7	9			
m = 37,3						
Ca + Mg	53,6	50,0		53,7	50,0	
Résidu sec = 3847 mg/l.						
Ea 54; à 470 m dans le Houiller	cations			anions		
	m	%	mg/l.	m	%	mg/l.
TH = 5,5	Na = 52,2	48,5	1200	Cl = 38,2	35,5	1353
TA = 77,5	K = 0,4	0,4	16	SO ₄ = 0,1	0,1	2,4
TA > TH	Ca = 0,7	0,7	14	HCO ₃		
Na + K	Mg = 0,4	0,4	5	+ CO ₃ = 15,5	14,4	892
m = 47,8						
Ca + Mg	53,7	50,0		53,8	50,0	
Résidu sec = 3063 mg/l.						
Ms 379; à 440 m dans le Houiller	cations			anions		
	m	%	mg/l.	m	%	mg/l.
TH = 60,5	Na = 181,3	46,5	4170	Cl = 155,4	39,9	5511
TA = 178	K = 1,8	0,5	72	SO ₄ = 3,9	1,0	188
TA > TH	Ca = 4,9	1,2	99	HCO ₃ = 35,6	9,1	2173
Na + K	Mg = 7,2	1,8	88			
m = 15,1						
Ca + Mg	195,2	50,0		194,9	50,0	
Résidu sec = 11198 mg/l.						

TABLEAU 3. — Analyses des eaux chlorurées-bicarbonatées-sodiques et chlorurées-sodiques.

dans le Houiller et diminue vers l'ouest, par suite de l'inclinaison de la surface du Houiller. Elle coïncide enfin avec les eaux chlorurées-sodiques du Hervien dans l'extrême ouest. Quelques analyses représentatives donnent les caractéristiques suivantes en ce qui concerne cette zone (tableau 3).

Ms 258 ; à 490 m dans le Houiller	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">cations</th> </tr> <tr> <th>m</th> <th>%</th> <th>mg/l.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Na = 407,1</td> <td>45,0</td> <td>9364</td> </tr> <tr> <td>K = 3,0</td> <td>0,4</td> <td>118</td> </tr> <tr> <td>Ca = 19,1</td> <td>2,1</td> <td>382</td> </tr> <tr> <td>Mg = 22,5</td> <td>2,5</td> <td>273</td> </tr> <tr> <td>451,7</td> <td>50,0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	cations			m	%	mg/l.	Na = 407,1	45,0	9364	K = 3,0	0,4	118	Ca = 19,1	2,1	382	Mg = 22,5	2,5	273	451,7	50,0		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">anions</th> </tr> <tr> <th>m</th> <th>%</th> <th>mg/l.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cl = 447,6</td> <td>49,3</td> <td>15890</td> </tr> <tr> <td>SO₄ = 0,0</td> <td>0,0</td> <td>2,0</td> </tr> <tr> <td>HCO₃ = 6,0</td> <td>0,7</td> <td>370</td> </tr> <tr> <td>453,6</td> <td>50,0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	anions			m	%	mg/l.	Cl = 447,6	49,3	15890	SO ₄ = 0,0	0,0	2,0	HCO ₃ = 6,0	0,7	370	453,6	50,0	
cations																																									
m	%	mg/l.																																							
Na = 407,1	45,0	9364																																							
K = 3,0	0,4	118																																							
Ca = 19,1	2,1	382																																							
Mg = 22,5	2,5	273																																							
451,7	50,0																																								
anions																																									
m	%	mg/l.																																							
Cl = 447,6	49,3	15890																																							
SO ₄ = 0,0	0,0	2,0																																							
HCO ₃ = 6,0	0,7	370																																							
453,6	50,0																																								
<p>TH = 208,0 TA = 30,0 TA < TH Na + K m ————— = 9,9 Ca + Mg Résidu sec = 27746 mg/l.</p>																																									
Ea 74 ; à 650 m dans le Houiller	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">cations</th> </tr> <tr> <th>m</th> <th>%</th> <th>mg/l.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Na = 286,2</td> <td>46,2</td> <td>6582</td> </tr> <tr> <td>K = 2,6</td> <td>0,4</td> <td>103</td> </tr> <tr> <td>Ca = 12,4</td> <td>2,0</td> <td>247</td> </tr> <tr> <td>Mg = 8,8</td> <td>1,4</td> <td>105</td> </tr> <tr> <td>310,0</td> <td>50,0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	cations			m	%	mg/l.	Na = 286,2	46,2	6582	K = 2,6	0,4	103	Ca = 12,4	2,0	247	Mg = 8,8	1,4	105	310,0	50,0		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">anions</th> </tr> <tr> <th>m</th> <th>%</th> <th>mg/l.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cl = 301,1</td> <td>48,6</td> <td>10689</td> </tr> <tr> <td>SO₄ = 1,3</td> <td>0,2</td> <td>65</td> </tr> <tr> <td>HCO₃ = 7,6</td> <td>1,2</td> <td>465</td> </tr> <tr> <td>310,0</td> <td>50,0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	anions			m	%	mg/l.	Cl = 301,1	48,6	10689	SO ₄ = 1,3	0,2	65	HCO ₃ = 7,6	1,2	465	310,0	50,0	
cations																																									
m	%	mg/l.																																							
Na = 286,2	46,2	6582																																							
K = 2,6	0,4	103																																							
Ca = 12,4	2,0	247																																							
Mg = 8,8	1,4	105																																							
310,0	50,0																																								
anions																																									
m	%	mg/l.																																							
Cl = 301,1	48,6	10689																																							
SO ₄ = 1,3	0,2	65																																							
HCO ₃ = 7,6	1,2	465																																							
310,0	50,0																																								
<p>TH = 106,0 TA = 38,0 TA < TH Na + K m ————— = 13,6 Ca + Mg Résidu sec = 18356 mg/l.</p>																																									
Ms 234 ; à 500 m dans le Houiller	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">cations</th> </tr> <tr> <th>m</th> <th>%</th> <th>mg/l.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Na = 391,2</td> <td>45,0</td> <td>9005</td> </tr> <tr> <td>K = 2,5</td> <td>0,3</td> <td>96</td> </tr> <tr> <td>Ca = 22,2</td> <td>2,4</td> <td>444</td> </tr> <tr> <td>Mg = 20,4</td> <td>2,3</td> <td>248</td> </tr> <tr> <td>436,3</td> <td>50,0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	cations			m	%	mg/l.	Na = 391,2	45,0	9005	K = 2,5	0,3	96	Ca = 22,2	2,4	444	Mg = 20,4	2,3	248	436,3	50,0		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">anions</th> </tr> <tr> <th>m</th> <th>%</th> <th>mg/l.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cl = 432,8</td> <td>49,3</td> <td>15634</td> </tr> <tr> <td>SO₄ = 0,0</td> <td>0,0</td> <td>0,0</td> </tr> <tr> <td>HCO₃ = 6,2</td> <td>0,7</td> <td>380</td> </tr> <tr> <td>439,0</td> <td>50,0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	anions			m	%	mg/l.	Cl = 432,8	49,3	15634	SO ₄ = 0,0	0,0	0,0	HCO ₃ = 6,2	0,7	380	439,0	50,0	
cations																																									
m	%	mg/l.																																							
Na = 391,2	45,0	9005																																							
K = 2,5	0,3	96																																							
Ca = 22,2	2,4	444																																							
Mg = 20,4	2,3	248																																							
436,3	50,0																																								
anions																																									
m	%	mg/l.																																							
Cl = 432,8	49,3	15634																																							
SO ₄ = 0,0	0,0	0,0																																							
HCO ₃ = 6,2	0,7	380																																							
439,0	50,0																																								
<p>TH = 213,0 TA = 31,0 TA < TH Na + K m ————— = 9,2 Ca + Mg Résidu sec = 26140 mg/l.</p>																																									
Ea 94 ; à 520 m dans le Houiller	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">cations</th> </tr> <tr> <th>m</th> <th>%</th> <th>mg/l.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Na = 231,0</td> <td>46,8</td> <td>5314</td> </tr> <tr> <td>K = 2,1</td> <td>0,4</td> <td>80</td> </tr> <tr> <td>Ca = 8,4</td> <td>1,7</td> <td>168</td> </tr> <tr> <td>Mg = 5,6</td> <td>1,1</td> <td>68</td> </tr> <tr> <td>247,1</td> <td>50,0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	cations			m	%	mg/l.	Na = 231,0	46,8	5314	K = 2,1	0,4	80	Ca = 8,4	1,7	168	Mg = 5,6	1,1	68	247,1	50,0		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">anions</th> </tr> <tr> <th>m</th> <th>%</th> <th>mg/l.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cl = 239,6</td> <td>48,6</td> <td>8506</td> </tr> <tr> <td>SO₄ = 0,0</td> <td>0,0</td> <td>0,0</td> </tr> <tr> <td>HCO₃ = 7,1</td> <td>1,4</td> <td>433</td> </tr> <tr> <td>246,7</td> <td>50,0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	anions			m	%	mg/l.	Cl = 239,6	48,6	8506	SO ₄ = 0,0	0,0	0,0	HCO ₃ = 7,1	1,4	433	246,7	50,0	
cations																																									
m	%	mg/l.																																							
Na = 231,0	46,8	5314																																							
K = 2,1	0,4	80																																							
Ca = 8,4	1,7	168																																							
Mg = 5,6	1,1	68																																							
247,1	50,0																																								
anions																																									
m	%	mg/l.																																							
Cl = 239,6	48,6	8506																																							
SO ₄ = 0,0	0,0	0,0																																							
HCO ₃ = 7,1	1,4	433																																							
246,7	50,0																																								
<p>5 H = 70,0 TA = 35,5 TA < TH Na + K m ————— = 16,7 Ca + Mg Résidu sec = 14752 mg/l.</p>																																									
Hk 49 ; à 100 m dans le Houiller	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">cations</th> </tr> <tr> <th>m</th> <th>%</th> <th>mg/l.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Na = 208,2</td> <td>43,8</td> <td>4786</td> </tr> <tr> <td>K = 2,4</td> <td>0,5</td> <td>92</td> </tr> <tr> <td>Ca = 11,2</td> <td>2,4</td> <td>225</td> </tr> <tr> <td>Mg = 15,9</td> <td>3,3</td> <td>193</td> </tr> <tr> <td>237,7</td> <td>50,0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	cations			m	%	mg/l.	Na = 208,2	43,8	4786	K = 2,4	0,5	92	Ca = 11,2	2,4	225	Mg = 15,9	3,3	193	237,7	50,0		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">anions</th> </tr> <tr> <th>m</th> <th>%</th> <th>mg/l.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cl = 226,9</td> <td>48,0</td> <td>8046</td> </tr> <tr> <td>SO₄ = 0,0</td> <td>0,0</td> <td>0,0</td> </tr> <tr> <td>HCO₃ = 9,3</td> <td>2,0</td> <td>570</td> </tr> <tr> <td>236,2</td> <td>50,0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	anions			m	%	mg/l.	Cl = 226,9	48,0	8046	SO ₄ = 0,0	0,0	0,0	HCO ₃ = 9,3	2,0	570	236,2	50,0	
cations																																									
m	%	mg/l.																																							
Na = 208,2	43,8	4786																																							
K = 2,4	0,5	92																																							
Ca = 11,2	2,4	225																																							
Mg = 15,9	3,3	193																																							
237,7	50,0																																								
anions																																									
m	%	mg/l.																																							
Cl = 226,9	48,0	8046																																							
SO ₄ = 0,0	0,0	0,0																																							
HCO ₃ = 9,3	2,0	570																																							
236,2	50,0																																								
<p>TH = 135,5 TA = 46,5 TA < TH Na + K m ————— = 7,8 Ca + Mg Résidu sec = 14185 mg/l.</p>																																									

TABLEAU 4. — Analyses des eaux chlorurées-sodiques à chlorures d'alcalino-terreux et, en général, dépourvues de sulfates.

Les eaux restent essentiellement natroniques. Le rapport des bases est supérieur à 15 et peut même approcher 50, ce qui correspond à plus de 47 % d'ions alcalins parmi le total des cations. La dureté peut être très faible ou très élevée, oscillant entre 5 et 60 degrés hydrotimétriques, ce qui correspond à la concentration en chlorures, qui peut monter à 100 et même à plus de 200 mEq par litre d'eau. La teneur en carbonates montre également de grandes variations mais, proportionnellement, elle est toujours plus faible que dans les eaux bicarbonatées-sodiques. La teneur en sulfates est toujours très faible. Les eaux sont donc du type chloruré-bicarbonaté-sodique, ou même chloruré-sodique.

Je les considère comme représentant des mélanges des eaux bicarbonatées-sodiques de la zone des eaux des échanges de bases maximum, plus ou moins contaminées par des eaux ascendantes sursalées. Elles appartiennent — pour ainsi dire — à une zone supérieure de contamination.

IV. — La zone des eaux chlorurées-sodiques contenant des chlorures de métaux alcalino-terreux et dépourvues des sulfates

Les eaux de ce type se trouvent presque exclusivement au maximum de profondeur des mines, de 500 à 700 mètres au-dessous de la surface du Houiller. La composition de quelques analyses représentatives est conforme aux données suivantes (tableau 4).

Le résidu sec de ces eaux peut monter de 15 à 30 grammes. Leur dureté est considérable et dépasse fréquemment les 200 degrés hydrotimétriques. Le rapport des bases a diminué notablement et est compris entre 17 et 8. En ce qui concerne les métaux alcalins et comme pour la zone précédente, la teneur en potassium est, proportionnellement, inférieure à celle des eaux bicarbonatées-sodiques et bicarbonatées-calciques. Au contraire, l'étude des alcalino-terreux montre que la teneur en magnésium est proportionnellement plus élevée. Ces phénomènes sont étroitement liés à la capacité d'échange de bases des différents composants.

A mesure que la teneur en chlorures monte, dépassant 430 mEq (analyse Ms 258, max. 477,6) et approche celle de l'eau de mer (ca. 540 mEq), la teneur en bicarbonates diminue graduellement. La teneur en sulfates est en diminution d'une telle manière que les eaux sont souvent dépourvues de sulfates. La teneur en ions Cl de ces eaux du type chlorurées-sodiques de haute salure, est toujours

supérieure à celle en ions alcalins, de sorte qu'elles contiennent des chlorures alcalino-terreux.

Selon la théorie et la méthode d'interprétation de M. Delecourt (1948, 1952), ces eaux appartiendraient à la zone VIII des eaux perconnées, premières et deuxième et notamment aux perconnées premières, pour autant qu'elles sont dépourvues de sulfates.

Il n'y a cependant, à mon avis, aucune indication hydrochimique, aucune raison géologique, ni aucun fait de l'histoire de la composition des eaux océaniques comme il a été proposé par M. Delecourt (1946, 1948, 1952), pour supposer une origine connée houillère à ces eaux (Kimpe 1952). Il y a, d'autre part, des indications évidentes montrant que ces eaux fortement chlorurées appartiennent à une zone de contamination plus intensive — pour ainsi dire une zone de contamination inférieure — par des eaux ascendantes de haute salure.

V. — Les eaux ascendantes chlorurées-sodiques thermales et gazeuses

Des afflux d'eau anormaux aux points de vue chimique et physique, si l'on considère leur profondeur et la division spatiale zonaire des différents types d'eau dans le Houiller, se sont présentés à plusieurs reprises ces dernières années. Ils sont répandus aux divers endroits dans la région minière, notamment dans ou à proximité de quelques grandes failles normales NW-SE, comme le Feldebiss et la faille de Grondgalerij veine VI et sur les flancs de l'Anticlinal de Waubach (fig. 5). Leur débit est en général notable et prolongé, montant parfois à 2 ou même 3 m³ par minute.

Ces eaux se distinguent d'une manière bien typique par une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

1) Un résidu sec, donc une concentration totale des ions, et notamment une teneur en chlorures très élevée en comparaison des eaux normales du voisinage et de la même profondeur.

2) Une température trop élevée, géothermiquement, pour correspondre à la profondeur.

3) La présence des gaz accompagnants ou en solution d'origine juvénile.

4) Pour un seul point d'afflux d'eau, des variations graduelles ou progressives des composants au cours du temps qui se manifestent surtout par un accroissement de la teneur en chlorures et par une élévation de la température.

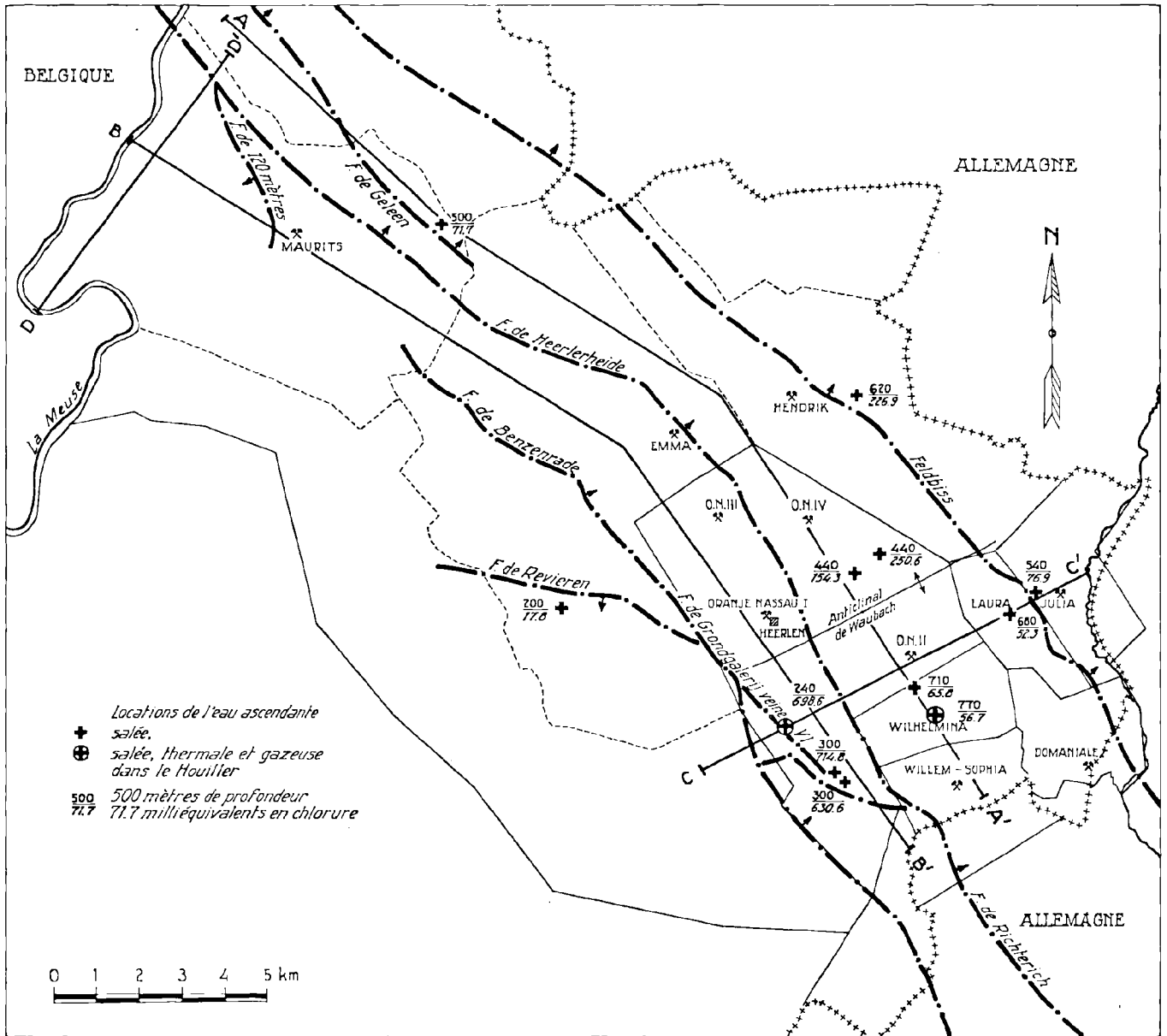


FIG. 5. — Localisations de l'eau ascendante, parfois thermique et gazeuse dans le Houiller de la région minière limbourgeoise.

Ces phénomènes révèlent une provenance ascendante de ces eaux, montées le long des failles, jeunes, normales, de direction NW-SE.

Quelques exemples représentatifs seront envisagés d'une façon plus détaillée.

a) Dans un travers banc qui a atteint la grande faille de Grondgalerij veine VI, une faille intensivement minéralisée (quartz, barytine, blende, galène, pyrite), s'est produit un afflux considérable d'eau thermominérale et gazeuse (fig. 5, tableau 5, O.N.I. 133 a et 4), à une profondeur de 170 mètres dans

O.N. I 133 a; à 170 m dans le Houiller	cations			anions				
T H = 600,5 T A = 65 T A < T H Na + K m ————— = 5,1 Ca + Mg Résidu sec = 44760 mg/l. CO ₂ libre ± 100 mg/l. Température 50° C	Na =	591,6	40,7	13610	Cl =	698,6	48,5	24760,0
	K =	14,7	1,0	573	SO ₄ =	13,0	0,9	622,0
	Ca =	92,6	6,4	1852	HCO ₃ =	8,5	0,6	518,0
	Mg =	27,5	1,9	334				
		726,4	50,0			720,1	50,0	
O.N. I 4	Composition du gaz accompagnant en pourcentage de volume							
Components	Résultats d'analyse		Résultats d'analyse réduits sans air		Composition de l'air atmosphérique			
CO ₂	32,5		70,2		0,03			
Ar	0,7		0,4		0,93			
O ₂	11,3		0,0		20,95			
N ₂	52,6		22,7		78,08			
CH ₄	2,7		5,9		—			
He	0,18		0,4		0,0005			
H ₂ S	0,17 (2,57 mg/l.)		0,4		—			
	100,15		100,0					
Wa 272; à 670 m dans le Houiller	cations			anions				
T H = 15,0 T A = 68 T A > T H Na + K m ————— = 22,2 Ca + Mg Résidu sec = 3650 mg/l. Température 38° C	Na =	65,5	47,1	1507	Cl =	56,7	40,0	2011
	K =	1,0	0,7	40	SO ₄ =	0,6	0,4	29
	Ca =	1,5	1,1	30	HCO ₃ =	13,6	9,6	836
	Mg =	1,5	1,1	18				
		69,5	50,0			70,9	50,0	
Wa 4	Composition du gaz accompagnant en pourcentage de volume							
Components	Résultats d'analyse		Résultats d'analyse réduits sans air		Composition de l'air atmosphérique			
CO ₂	2,0		2,02		0,03			
Ar	0,91		0,91		0,93			
O ₂	0,2		0,00		20,95			
N ₂	90,0		90,15		78,08			
CH ₄	2,9		2,93		—			
He	2,25		2,27		0,0005			
H ₂	1,7		1,72		—			
	99,96		100,00					

TABLEAU 5. — Analyses des eaux ascendantes et leurs gaz accompagnants.

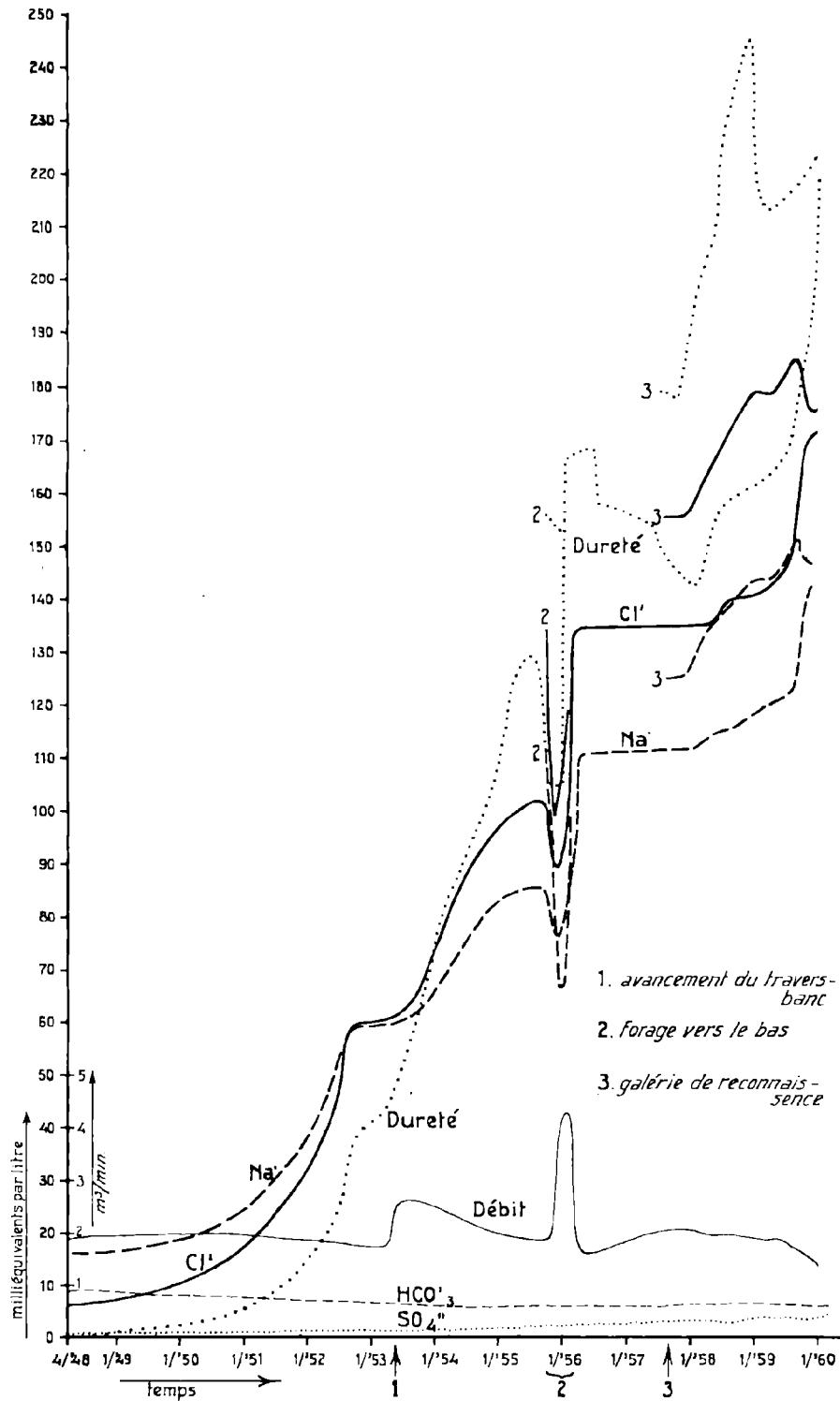


FIG. 6. — Variations avec le temps du chimisme de l'eau, affluant dans un travers-banc de la mine Oranje-Nassau IV. Originellement du type bicarbonaté-sodique, l'eau devient de plus en plus chlorurée pour arriver à une teneur en chlorures de 180 mEq/l, par suite d'un accroissement relatif de la quantité d'eau ascendante très chlorurée par rapport à l'eau descendante. Des variations brusques (1, 2 et 3) se manifestent surtout pendant les travaux exécutés dans le travers-banc.

le Houiller, ce qui correspond à 250 mètres sous la surface. L'eau est plus salée que l'eau de mer. Le résidu sec approche de 45 grammes par litre d'eau. La teneur en potassium est relativement plus élevée que celle des eaux précédentes. La dureté est extrêmement élevée, montant à 600 degrés hydrotimétriques. La teneur en chlorures, approchant 700 mEq, est beaucoup plus élevée que celle en alcalins. L'eau, du type chloruré-sodique-calcique, contient donc des chlorures alcalino-terreux. Des sulfates sont présents et presque deux fois plus importants que les bicarbonates. L'eau appartient à la zone VIII des eaux perennées, selon M. Delecourt (1952). Il s'agit cependant d'une eau thermale et gazeuse typique, très chaude, d'une température de 50° Celsius, donc 31° plus élevée que ne le voudrait la profondeur dans le Houiller. On peut en déduire que l'eau remonte de 800 mètres au moins et provient du Calcaire carbonifère. L'analyse du gaz montre une composition d'origine nettement juvénile, donc très riche en acide carbonique, en acide sulfhydrique et en hélium (tableau 5, O.N.I., 4).

Cela me fait penser que cet échantillon peut contenir, pour une certaine partie, de l'eau d'origine juvénile. Cela est peut-être en partie la cause de la teneur élevée en chlorures, comme l'ont supposé Patteisky (1954) et Semmler (1960) pour les « Thermalen Tiefsensolen » du Houiller de la Ruhr. Les différents composants de cette eau hydro-thermale pourraient être empruntés aux émanations d'une masse magmatique quelconque, située profondément dans l'écorce terrestre (Pilger 1956).

b) Un deuxième exemple bien net d'eau ascendante du type chloruré-sodique, peu minéralisée à cause de sa dilution et moins chaude (38° Celsius) essentiellement azotée (N₂ 90 %) et montrant une teneur en hélium très élevée (He 2,25 %) s'est produit au SE de l'anti-clinal de Waubach (fig. 5) à une profondeur de 670 mètres dans le Houiller (tableau 5, Wa 272 et Wa 4).

c) Le plus bel exemple (au flanc NW de l'anti-clinal de Waubach) d'un afflux d'eau considérable devenant de plus en plus chlorurée avec le temps et, par conséquent, contaminée par une quantité d'eau salée ascendante, est représentée par la fig. 6. Pendant un laps de temps de 12 années, la composition de l'eau a changé totalement. La teneur en alcalins a augmenté graduellement de 16 à 150 mEq, tandis que celle en chlorures s'est accrue de 6 à 180 mEq. La teneur en chlorures d'alcalino-terreux, encore absents avant juin 1952, se trouve

done, depuis cette date, en progression. La dureté a augmenté de 6 à 230 degrés hydrotimétriques. La teneur en carbonates a diminué, celle en sulfates a, au contraire, augmenté faiblement. La composition originelle de l'eau s'est modifiée par conséquent du type bicarbonaté-sodique au type chloruré-sodique avec une concentration totale considérable. Ces changements se sont souvent manifestés de façon très nette chaque fois qu'on a poussé le travers-banc (fig. 6, n° 1), qu'on a foré vers le bas (fig. 6, n° 2) ou quand on a percé une petite galerie de reconnaissance jusqu'à une faille fournissant de l'eau (fig. 6, n° 3). Chaque fois, le débit a augmenté temporairement, à cause de ces travaux.

Conclusions

Dans les morts-terrains et dans le Houiller de la région minière du Limbourg du Sud néerlandais, se manifeste très nettement une division spatiale zonaire de différents types d'eau tant au point de vue chimique qu'au point de vue provenance. Une notation schématique en est présentée dans le tableau synoptique 6.

En quelques endroits, même dans les morts-terrains, et notamment dans les sables verts du Hervien et dans les sables de l'Oligocène, se manifestent des phénomènes de contamination faible des eaux bicarbonatées-sodiques et bicarbonatées-calciques par la présence des eaux assez chlorurées ascendantes.

En plusieurs endroits, surtout dans la partie est de la région minière et à différentes profondeurs dans le Houiller, notamment dans ou à proximité de quelques grandes failles normales NW-SE (faille de Grondgalerij veine VI, Feldbiss) plus ou moins minéralisées et à proximité de l'anti-clinal de Waubach, se sont présentées des eaux ascendantes thermo-minérales, chargées parfois de gaz d'origine hypogène et juvénile, par exemple l'acide carbonique, l'azote, l'acide sulfhydrique et l'hélium.

En ce qui concerne la provenance des eaux fortement chlorurées de la région minière, il n'y a pas d'indications ni pour une origine connue houillère, ni pour une origine par lessivage des gîtes salifères triasiques (Semmler 1960). Il n'y a non plus une relation stratigraphique prépondérante avec la division zonaire des différents types d'eau.

Pour interpréter l'évolution du chimisme des eaux, il y a bien plutôt, au point de vue hydrochimique comme au point de vue provenance de l'eau dans le Houiller et dans les morts-terrains, des causes de minéralisation latérales et descen-

dantes (échanges des bases) d'une part et, d'autre des eaux salées thermo-minérales, chargées de composants hypogènes, probablement même juvéniles.

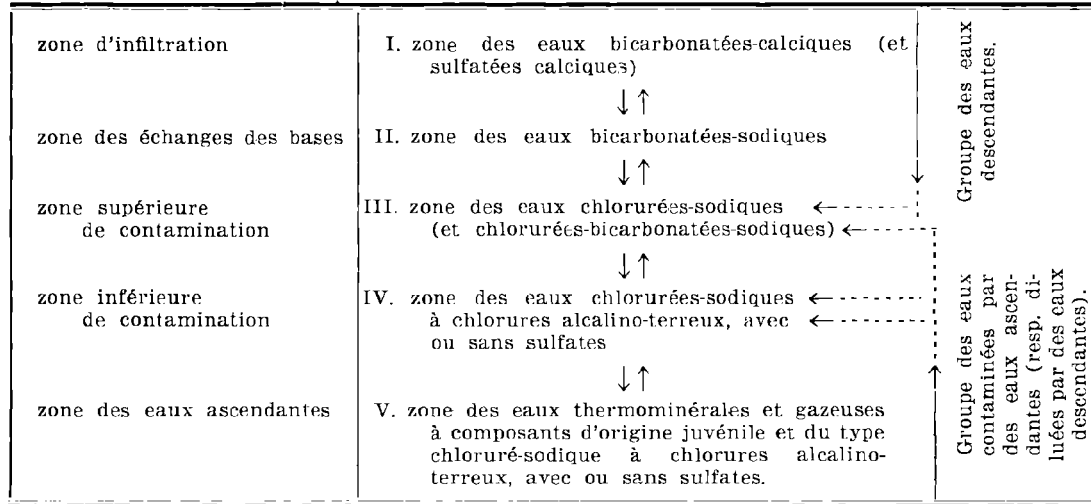


TABLEAU 6

REFERENCES

DELECOURT J. (1946). — Deux dates mémorables dans l'histoire des océans. *Bull. Soc. belge de Géol.*, etc. t. 55, p. 130-146.

— (1948). — Géochimie des eaux houillères du Hainaut. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, t. 71, p. B 407-419.

— (1952). — Géochimie des eaux houillères des Pays-Bas au III^e congrès d'Heerlen (1951). *Bull. Soc. Belg. de Géol.*, t. 61, p. 278-288.

JONGMANS W.J. en Cl. G. DRIESSEN (1932). — De mineraalwaterbron te Maastricht. *Water*, t. 16, p. 3-11.

KIMPE W.F.M. (1952). — Notes additionnelles à propos de la composition chimique et essai de détermination de la stabilité hydrostratigraphique des eaux dans le Houiller du Limbourg du Sud. *C.R. 3^e congrès strat. Géol. carbonifère*. Heerlen 1951, p. 311-324.

— (1962). — Le chimisme des eaux de la Craie du Limbourg néerlandais. (Même vol.).

PATTEISKY K. (1954). — Die Thermalen Solen des Ruhrgebietes und ihre juvenilen Quellgase, I. *Glückauf*, T. 90, p. 1334-1348 et II. *ibidem*, p. 1508-1519.

FILGER A. (1956). — Über die Teufenlage der Plutone im Ruhrgebiet. *Neues Jahrb. Mineral., Mh.*, p. 161-168.

SEMMLER W. (1960). — Die Herkunft der Grubenwasserzuströme im Ruhrgebiet. *Glückauf*, t. 96, p. 502-511.

*
**

M. Michel WATERLOT demande si M. KIMPE peut expliquer la diminution de la teneur des eaux en sulfates. La présence de barytine signalée par M. KIMPE comme remplissage des diaclases pourrait expliquer ce phénomène. Sur une réponse négative de M. KIMPE, M. M. WATERLOT signale que dans le bassin houiller du Nord de la France, où la barytine est presque totalement absente, il a émis l'hypothèse que la réduction des sulfates pouvait être due à des bactéries.

M. HACQUAERT croit utile de rappeler que le Houiller néerlandais renferme des venues de roches magmatiques qui ne sont connues ni en France ni en Belgique.

M. BOUROZ demande si les eaux étudiées par M. KIMPE sont des eaux fossiles ou des eaux de circulation et quelle est leur teneur ?

M. KIMPE précise qu'il s'agit bien d'eaux de circulation qui font apparaître une zone de salure le long de la faille qui les rend ascendantes. Leur teneur maximum en résidu sec est de 45 g/l.

M. BOUROZ signale que, dans le Pas-de-Calais, des eaux à 150 g/l ont été rencontrées.

M. MARLIÈRE ajoute que dans le Hainaut on connaît des eaux à 228 g/l.

M. G. WATERLOT conclut en signalant que les résultats de M. KIMPE ne sont pas comparables à ceux que M. Michel WATERLOT a dégagés dans une étude, encore inédite, sur le chimisme des eaux du bassin houiller du Nord de la France. Dans le bassin houiller du Nord, les eaux sont totalement dépourvues de sulfates et sont uniquement chlorurées.

M. G. WATERLOT remercie M. KIMPE et prend la parole pour présenter la communication suivante.

— « » —

Sur les variations du chimisme de l'eau de la craie du Nord de la France dans les zones de recouvrement tertiaire

par Gérard WATERLOT

Lorsque la craie s'enfonce sous un recouvrement de terrains tertiaires, le réseau aquifère de la craie (ou improprement : la nappe de la craie) devient, en général, rapidement captif et le chimisme de l'eau évolue suivant un processus actuellement bien connu (M. LOBEST, 1911 ; G. GILLET, 1912 ; J. LEPERSONNE, 1934 ; G. WATERLOT, 1950, 1958 ; D. PFEFFER, 1959). Le phénomène est dû à des échanges de bases entre les éléments en dissolution dans l'eau et ceux que contient le terrain parcouru par cette eau.

Toutefois, il n'en va pas toujours ainsi et, dans certaines circonstances, le chimisme de l'eau varie sous une influence nettement distincte de la question des échanges de bases, de sorte que la nature chimique de l'eau peut prendre un tout autre aspect.

Deux cas sont à examiner suivant la nature des sédiments qui recouvrent directement la craie et qui peuvent être argileux et imperméables ou sableux et perméables.

Premier cas : Craie recouverte par un sédiment argileux.

Ce cas est observé dans les Flandres, en Artois et dans le bassin d'Orchies. La craie plonge sous les terrains tertiaires et se trouve recouverte d'abord par de l'argile de Louvil, puis par des sables verts d'Ostricourt (étage landénien) sur lesquels vient reposer l'argile d'Ypres (étage yprésien). L'argile de Louvil étant imperméable, la nappe aquifère de la craie devient rapidement captive. Une modification graduelle du chimisme de l'eau s'opère dès que la captivité commence et s'accroît avec l'éloignement du début de la mise en captivité.

Afin de mieux marquer la différence qui existe entre les caractères chimiques de l'eau, dans ce

régime évolutif, et ceux de l'eau dans les conditions de gisement qui seront examinées en second lieu, je rappellerai comment s'opère l'évolution en régime captif. Comme dans mes notes antérieures (G. WATERLOT, 1950, 1958), les analyses seront indiquées sous la forme ionique, chaque élément dosé figurant avec le nombre correspondant de milliéquivalents ou quantités en réaction (r) auquel j'ajouterai le poids en milligrammes (mg) par litre d'eau (l). Les teneurs en éléments alcalins seront, en général, calculées par différence et exprimées conventionnellement en sodium. Il sera tenu compte du titre hydrotimétrique total (Th), exprimé en degrés français, correspondant à la relation $Th = 5 \times r (Ca + Mg)$ et indiquant la dureté de l'eau ; du titre alcalimétrique (Ta), exprimé également en degrés ($Ta = 5 \times r CO_3$) ; des relations $Ta < Th$, indiquant la présence de chlorures ou de sulfates alcalino-terreux, ou $Ta > Th$, décelant l'existence de bicarbonates alcalins, et enfin du rapport des bases ($r Na/r (Ca + Mg)$) qui marque l'apport des alcalins.

A cela, j'ajouterai le titre natronique (Tn) tel qu'il a été défini par J. DELECOURT (1942). L'indice natronique correspond à la valeur $r Na - r Cl$ qui précède, si elle est positive, le nombre de milliéquivalents alcalins non joints au chlore mais associés à des carbonates ou à des sulfates pour donner des sels natroniques. Si cette valeur est négative, elle indique la présence de chlorures alcalino-terreux. Exprimé en degrés (un degré valant cinq milliéquivalents), il devient le titre natronique (Tn) comparable au Th et au Ta .

Dans la zone d'alimentation de la nappe aquifère (nappe en régime libre) et dans les régions non industrielles où cette nappe ne risque pas d'être polluée chimiquement, la composition chimique de l'eau est du type suivant :

ESQUERCHIN (Nord) :

résidu sec : 366 mg/l	anions		cations	
	r	mg/l	r	mg/l
Th = 28,4°	CO ³ = 5,10	153	Ca = 5,03	100,6
Ta = 25,5°	SO ⁴ = 0,29	13,9	Mg = 0,65	7,8
Th > Ta	Cl = 0,56	19,9	Ca = 0,74	17
Tn = + 0,9°	NO ³ = 0,47	29,1		
r Na/r (Ca + Mg) = 0,13		6,42		6,42

L'eau est dure, bicarbonatée calcique et nettement plus riche en éléments alcalino-terreux qu'en alcalins.

A THUMERIES (Nord), pour un forage éloigné de 6,5 km du début de la mise en captivité de la nappe, l'eau présente les caractéristiques suivantes :

résidu sec : 500 mg/l	anions		cations	
	r	mg/l	r	mg/l
Th = 21,85°	CO ³ = 6,20	186	Ca = 2,22	44
Ta = 31°	SO ⁴ = 1,49	72	Mg = 2,15	26
Ta > Th	Cl = 1,18	42	Na = 4,50	104
Tn = + 16,60°				
r Na/r (Ca + Mg) = 1,03		8,87		8,87

A l'éloignement de la bordure du recouvrement tertiaire, correspond une variation bien caractérisée de la composition chimique de l'eau de la craie : diminution de la concentration en éléments alcalino-terreux qui a pour effet de faire baisser le titre hydrotimétrique ; augmentation des ions alcalins bien marquée par le rapport des bases et le titre natronique. Les échanges de bases sont donc en cours, accompagnés d'une progression de la teneur

en sulfates et chlorures. L'eau reste encore du type bicarbonaté calcique et magnésien mais elle contient également du bicarbonate de soude, ce qui est bien souligné par le titre alcalimétrique supérieur au titre hydrotimétrique. L'apport d'éléments augmente le résidu sec (fig. 1).

A ORCHIES (Nord), les forages de la ville se situent à 10 km des affleurements et donc du début de captivité de la nappe ; l'eau se définit ainsi :

résidu sec : 540 mg/l	anions		cations	
	r	mg/l	r	mg/l
Th = 8,15°	CO ³ = 6,20	186	Ca = 0,93	18,6
Ta = 31°	SO ⁴ = 1,63	78,2	Mg = 0,70	8,4
Ta > Th	Cl = 1,30	46,1	Na = 7,50	172,5
Tn = + 31°				
r Na/r (Ca + Mg) = 4,60		9,13		9,13

L'éloignement de la bordure du manteau tertiaire qui rend captive l'eau de la craie est plus important que dans le cas précédent ; la variation du chimisme de l'eau s'est accentuée. La diminution

de la concentration en ions alcalino-terreux s'est poursuivie et fait baisser davantage le titre hydrotimétrique ; les échanges de bases se sont développés, de sorte que la valeur des ions alcalins est

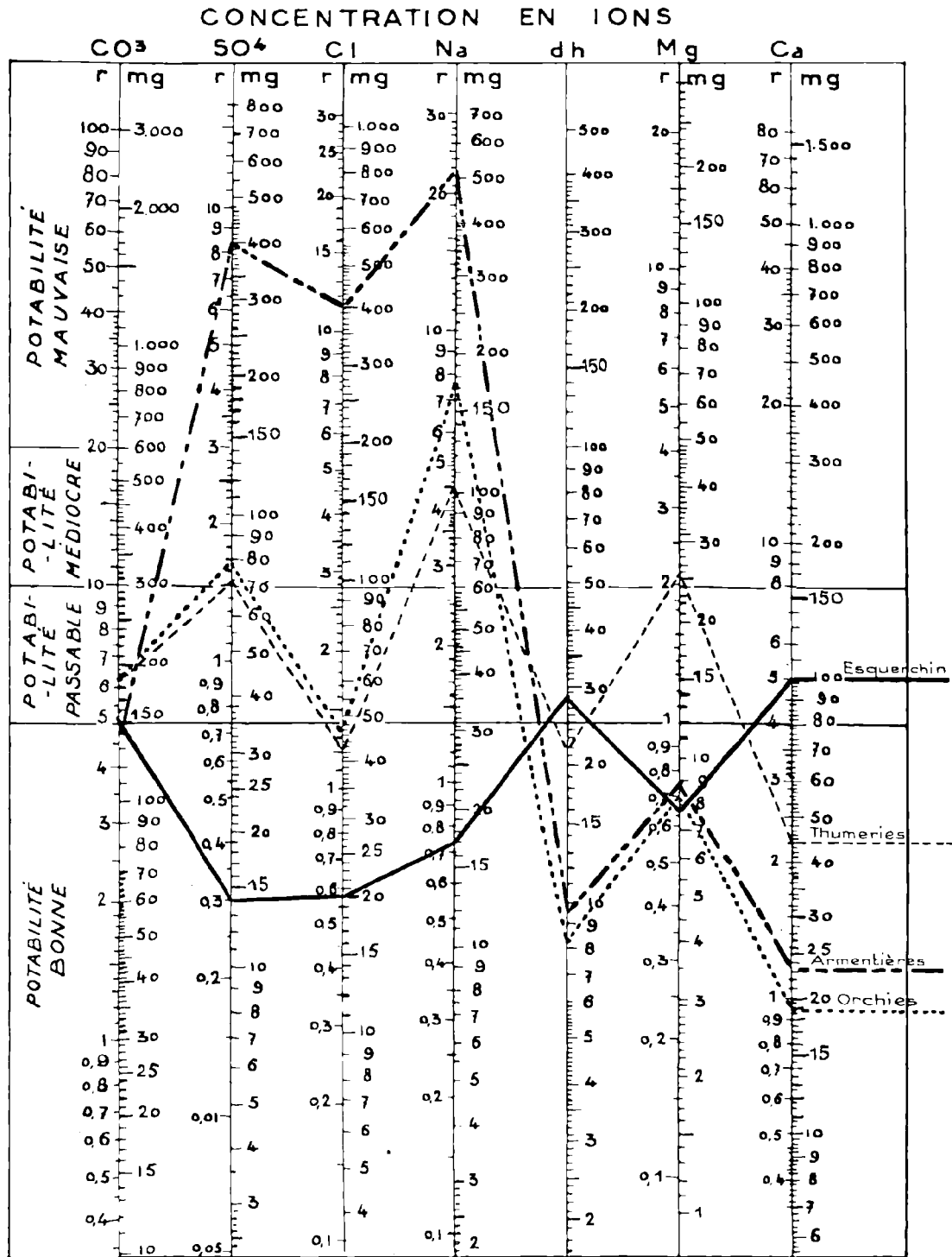


DIAGRAMME LOGARITHMIQUE

FIG. 1. — Diagramme des eaux évoluées de la nappe de la cruie.

nettement supérieure à celle des éléments alcalino-terreux ; ce fait se traduit par un rapport des bases supérieur à l'unité et un titre natronique élevé. L'eau s'est considérablement adoucie ; elle est devenue alcaline, du type bicarbonaté sodique. En plus des échanges de bases, il faut signaler un apport d'éléments : sulfates et chlorures d'une part,

alcalins d'autre part, augmentant la concentration et donc le résidu sec.

A ARMENTIÈRES (Nord), pour un éloignement encore supérieur de la bordure tertiaire (12 km), la variation du chimisme est encore davantage accentuée :

résidu sec : 1.514 mg/l	anions		cations	
	r	mg/l	r	mg/l
Th = 9,6°	CO ³ = 4,70	141	Ca = 1,18	23,6
Ta = 23,5°	SO ⁴ = 8,28	397,4	Mg = 0,74	8,9
Ta > Th	Cl = 11,30	401,1	Na = 22,43	515,9
Tn = + 55,65°	NO ³ = 0,02	1,2	—	—
r Na/r (Ca + Mg) = 11,68	—	—	—	—
	24,30		24,35	

Les échanges de bases restent à peu près ce qu'ils étaient dans le cas précédent, de sorte que la concentration en ions alcalino-terreux et le titre hydrotimétrique sont sensiblement semblables. Mais l'apport signalé précédemment s'est amplifié à la fois en cations Na et anions SO⁴ et Cl ; de ce fait, la concentration totale en éléments ainsi naturellement que le résidu sec sont en forte augmentation. L'eau est nettement chlorurée et sulfatée sodique. En même temps, on constate un abaissement relatif du taux des carbonates qui peut être dû à une précipitation de carbonate de chaux dans le sous-sol (vraisemblablement à l'état de calcite cristallisée comme on en rencontre dans les fissures des calcaires qui ont constitué, à une époque donnée, le sous-sol profond) ou encore à un mélange plus accentué des eaux de la nappe de la craie à des eaux fossiles résiduelles d'origine marine.

Ainsi, l'eau de la nappe de la craie, en circulation dans un sous-sol recouvert par un manteau de terrains tertiaires imperméables, évolue de la même façon que dans le calcaire carbonifère (G. WATERLOT, 1950) : avec l'éloignement de la bordure de mise en captivité, la concentration en éléments alcalino-terreux diminue, tandis qu'augmentent les concentrations en alcalins, en sulfates et en chlorures ; de bicarbonatée calcique, l'eau devient d'abord bicarbonatée sodique puis sulfatée et surtout chlorurée sodique.

Comme on va le voir, il en va tout autrement dans le cas suivant où la nature des terrains tertiaires recouvrants diffère par sa perméabilité.

Deuxième cas : Craie recouverte par un sédiment perméable.

Dans la bordure du bassin parisien, comme dans le département de l'Aisne, par exemple, la craie plonge sous les terrains tertiaires et supporte d'abord l'étage des Sables de Bracheux (Thanétien ou Landénien). Il s'agit d'une masse de sable blanc jaunâtre, plus ou moins glauconieux, avec quelques lentilles d'argile ; à la base, le sable est aggloméré en un grès tendre (le tuffeau de La Fère), plus ou moins cohérent et parfois complètement meuble. La nappe des sables de Bracheux est retenue par le tuffeau de La Fère, un peu moins perméable. Toutefois, la nappe des sables peut filtrer lentement à travers ce tuffeau, de sorte qu'elle finit par communiquer avec celle de la craie. En définitive, l'eau recueillie par les sables passe aisément dans la nappe aquifère de la craie et c'est pourquoi celle-ci reste riche en eau, même dans des secteurs très éloignés des affleurements, contrairement à ce qui se passe en Flandre.

De cette situation, il résulte que la nappe de la craie n'est pas, comme dans le cas précédent, mise immédiatement en régime captif mais reste bien en régime libre pour ne passer en captivité que par le recouvrement de l'ensemble craie et sables de Bracheux par l'argile à lignites. L'évolution du chimisme précédemment examinée ne peut pas se produire rapidement dans ces conditions. Du fait qu'il y a mélange des eaux des sables de Bracheux avec celles de la craie, il pourrait simplement exister une certaine interférence des deux types de composition chimique. Pratiquement, on

n'observe pas de changement, du fait que l'eau des Sables de Bracheux est d'un type analogue à celui de l'eau de la craie.

Par exemple, l'eau des Sables de Bracheux, au forage de GUVRY (Aisne), présente la composition suivante (D. PEFFER, 1959) :

résidu sec : 334 mg/l	anions		cations	
	r	mg/l	r	mg/l
Th = 25,8°	CO ³ = 5,40	162	Ca = 4,21	84,2
Ta = 27°	SO ⁴ = 0,20	9,6	Mg = 0,95	11,4
Ta > Th	Cl = 0,40	14,2	Na = 0,84	19,3
Tn = + 2,20°				
r Na/r (Ca + Mg) = 0,16		6,00		6,00

On peut aisément comparer cette analyse à celle de l'eau de la nappe libre de la craie à Esquerehin. C'est une eau bicarbonatée calcique, tout à fait classique. Il est évident que si une telle eau vient se mélanger à celle de la craie, on ne peut constater aucun changement dans la composition chimique de cette dernière.

Lorsqu'on s'éloigne plus nettement des zones d'affleurement de la craie, on voit bientôt une autre série de couches se superposer aux sables de

Bracheux : celle des argiles à lignites (Sparnacien ou Yprésien inférieur). Il s'agit d'argiles plus ou moins plastiques, blanches et grises, avec des niveaux subordonnés de lignites pyriteux, le tout alternant localement avec des sables et grès. La nappe aquifère des argiles à lignites se tient dans les masses de sables en intercalation dans les argiles. Or, par suite de l'oxydation des pyrites, l'eau de cette nappe peut devenir sulfatée comme l'indique l'analyse suivante (J. DOLLÉ, 1950) d'une eau prise à SAINT-GOBAIN (Aisne) :

résidu sec : 981 mg/l	anions		cations	
	r	mg/l	r	mg/l
Th = 48,75°	CO ³ = 4,60	138	Ca = 8,35	167
Ta = 23°	SO ⁴ = 5,12	245,7	Mg = 1,40	16,8
Th > Ta	Cl = 1,35	47,9	Na = 1,32	30,3
Tn = - 0,15°				
r Na/r (Ca + Mg) = 0,13		11,07		11,07

Si on la compare à l'analyse précédente ou à celle de l'eau de la craie en régime libre, on voit qu'elle en diffère essentiellement par un titre hydrochimétrique plus élevé, dû à une plus grande concentration d'ions alcalino-terreux, et par une plus grande abondance de sulfates ; l'eau est donc sulfatée calcique.

Or, sur les flancs de coteaux, la nappe des argiles à lignites donne naissance à des sources dont l'eau peut se réintroduire dans le sol, c'est-à-dire dans les sables de Bracheux. Ayant ainsi gagné cette nappe, elle ne tardera pas à pénétrer dans la craie et à venir ainsi modifier le chimisme de ses eaux dans des proportions parfois considérables (fig. 2).

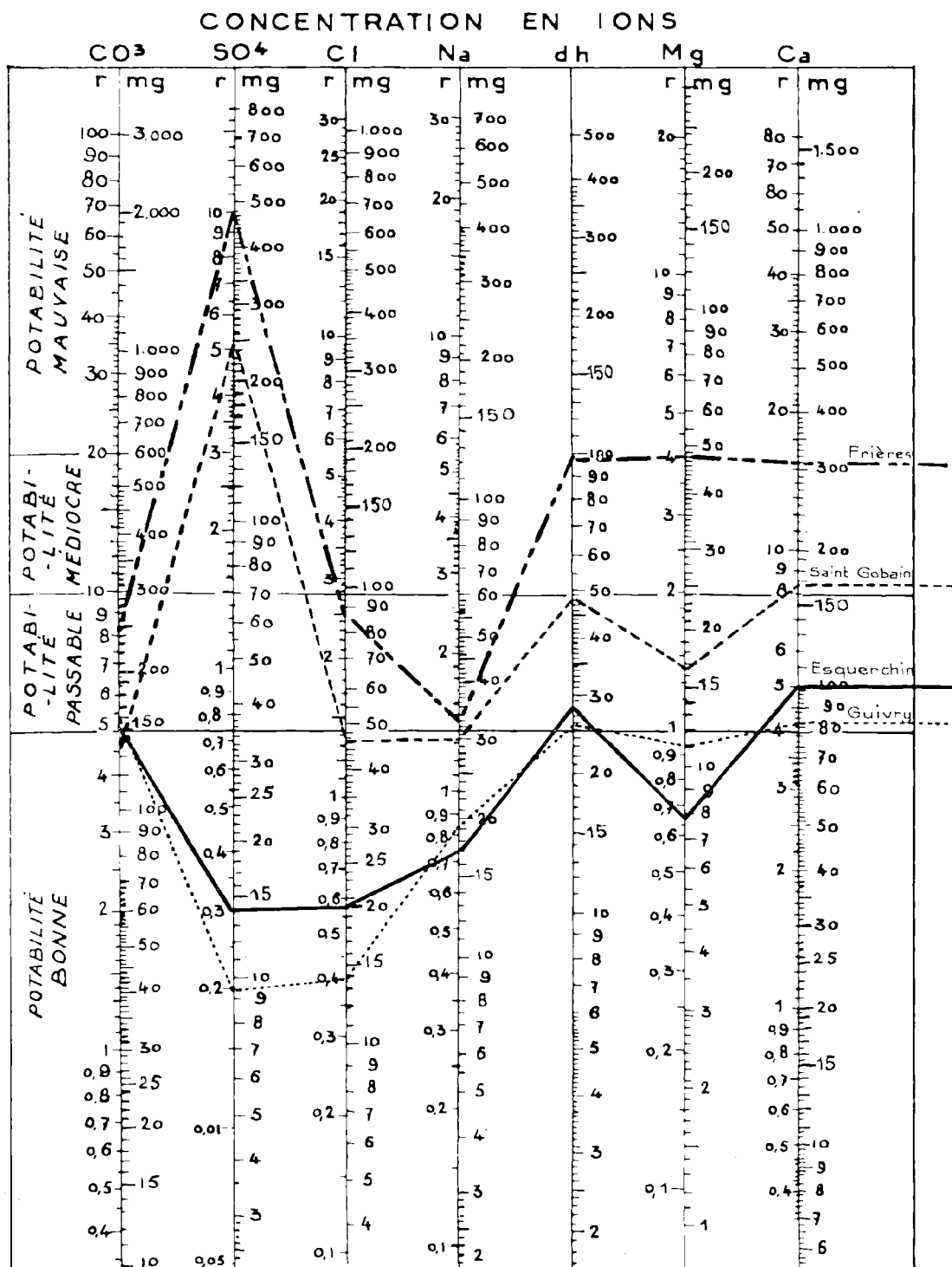


DIAGRAMME LOGARITHMIQUE

FIG. 2. — Diagramme des eaux polluées de la nappe de la cruie.

Ainsi, à FRIÈRES-FAILLOUËL (Aisne), le forage a traversé les argiles à lignites et les sables de Bracheux avant d'atteindre la craie dont il exploite la nappe. L'eau présente les caractères suivants (J. DOLLÉ, 1950, p. 99) :

résidu sec : 1.348 mg/l Th = 97,15° Ta = 41° Th > Ta Tn = - 5,3° $r \text{ Na}/r \text{ (Ca + Mg)} = 0,07$	anions		cations	
	r	mg/l	r	mg/l
	CO ³ = 8,20	246	Ca = 15,43	309
	SO ⁴ = 9,92	476	Mg = 4,00	49
	Cl = 2,48	88	Na = 1,42	33
	NO ³ = 0,25	15		
		20,85		20,85

C'est une eau sulfatée calcique, analogue à la précédente (eau des argiles à lignites) et même plus concentrée et plus dure. On voit nettement qu'il s'agit ici d'une pollution chimique de l'eau de craie par celle des argiles à lignites : d'une part, à cause de l'analogie de ces bulletins d'analyse et, d'autre part, à cause de l'opposition qui existe entre le type d'eau de Frières et celui d'une eau de la craie évoluée, toujours moins dure et sulfatée sodique (et non calcique). D'ailleurs, dans ce cas, l'évolution ne serait guère encore sensible puisque le

forage de Frières-Failloüel se situe à 2.250 m seulement des affleurements de craie.

Les cas d'ANIZY-PINON (Aisne) est analogue au précédent, bien que l'ouvrage se trouve situé beaucoup plus loin de la bordure du recouvrement tertiaire. Le forage a été creusé, en effet, à 9,6 km des affleurements de craie. S'il était situé dans des conditions géologiques analogues à celle des Flandres, il aurait des chances de fournir une analyse comparable à celle d'Orchies, avec une eau bicarbonatée sodique, relativement douce. Or, l'analyse est la suivante (D. PFEFFER, 1959) :

Th = 51° Ta = 37° Th > Ta Tn = - 1,5° $r \text{ Na}/r \text{ (Ca + Mg)} = 0,03$	anions		cations	
	r	mg/l	r	mg/l
	CO ³ = 7,40	222	Ca = 10,80	
	SO ⁴ = 3,10	148,8	Mg = 0,30	6,9
	Cl = 0,60	21,3		
		11,10		11,10

C'est une eau dure, bicarbonatée et sulfatée calcique, donc très différente de celle d'Orchies. Ici encore, il s'agit nettement d'une pollution chimique par l'introduction de l'eau de la nappe des argiles à lignites dans celle de la craie, par l'intermédiaire des sables de Bracheux. En effet, le forage d'Anizy-Pinon n'est situé qu'à un kilomètre de la limite des argiles à lignites (il a traversé 13 m de ces argiles et 14 m de sables de Bracheux avant d'atteindre la craie) ; avant d'arriver à cette limite, la nappe de la craie était donc encore libre et la distance à parcourir depuis cette limite jusqu'au forage est bien trop faible pour que l'évo-

lution du chimisme de l'eau puisse être remarquée. Il ne peut donc s'agir que d'une pollution chimique qui, par ailleurs, peut aussi provenir d'une défécosité du tube de forage.

Lorsque l'eau de la craie s'éloigne davantage de la bordure des argiles à lignites, il est vraisemblable qu'une évolution puisse se produire dans sa nature chimique, à la façon de ce qui se passe dans le cas des Flandres. Mais le phénomène se produit alors sur une eau défigurée et il devient plus délicat de l'apprécier à sa juste valeur.

REFERENCES

- DELECOURT J. (1942). — Le titre natronique. *Bull. Soc. belge Géol.*, t. 50, p. 152-166.
- DOLIÉ J. (1950). — Etude géologique du massif tertiaire de Saint-Gobain. *Thèse d'Université*, Lille.
- GILLET G. (1912). — Composition des eaux du Crétacé de Hesbaye et de Campine. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, t. 39, p. B 209-212.
- LEPERSONNE J. (1934). — Les eaux alcalines de la nappe de la craie dans le bassin de Londres. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, t. 58, p. 38-63.
- LOHEST M. (1911). — A propos de la composition chimique des eaux du Crétacé. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, t. 38, p. B 246-268.
- PFEFFER D. (1959). — Etude du chimisme de la nappe aquifère des terrains crétacés sous recouvrement tertiaire ou alluvionnaire dans la bordure septentrionale du bassin parisien. *Diplôme d'Etudes supérieures*, Lille.
- WATERLOT G. (1950). — L'évolution du chimisme des eaux du calcaire carbonifère de Lille-Roubaix-Tourcoing et régions limitrophes. *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. 70, p. 79-109.
- WATERLOT G. (1958). — Remarques sur les variations du chimisme des eaux profondes de la craie. *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. 78, p. 234-243.

*

**

M. MARLIÈRE demande si les terrains tertiaires du Nord de la France contiennent de la pyrite ou de la marcassite ?

M. G. WATERLOT répond que ces terrains peuvent contenir de la pyrite mais celle-ci ayant été oxydée dans les zones d'aération a libéré de l'acide sulfurique qui, en réagissant sur le calcaire des coquilles fossiles, a produit du sulfate hydraté de calcium. On trouve, en effet, dans les terrains tertiaires, des fossiles à l'état de moules internes et des cristaux de gypse qui occasionnent la présence d'eaux sulfatées dans les nappes tertiaires.

M. MARLIÈRE signale qu'en Belgique on incrimine souvent les terrils de mine pour expliquer la présence de sulfates dans la nappe de la craie.

M. WATERLOT admet que les terrils peuvent jouer un rôle mais pense que de nombreuses pollutions en sulfates, constatées dans des forages, sont dues à des infiltrations provenant du Tertiaire.

M. BOGOMOLOV signale que des faits analogues ont été constatés en U.R.S.S. Pour isoler la nappe crétacée des nappes sus-jacentes, un tubage double est mis en place. Malgré cette précaution, des pompages trop intensifs provoquent des venues d'eau de la nappe superficielle. Ces fuites se traduisent par une augmentation de la teneur en sulfates. Une réduction des débits fait décroître cette teneur.

— « » —

Contribution à la discussion sur la "chimie de l'eau du Crétacé"

par Jack INFESON

La section hydrogéologique du Service géologique a étudié le chimisme des eaux de la nappe de la craie d'Angleterre, soit au cours d'inventaires hydrogéologiques régionaux, soit dans le cadre d'un programme de recherches. Les répartitions des plus importantes caractéristiques chimiques ont été figurées schématiquement de façon à montrer les variations régionales (A.W. WOODLAND, 1946, « Water Supply from Underground Sources of Cambridge. Ipswich District ». *Mem. Geol. Surv. Great Britain*, Wartime Pamphlet, n° 26, 10^e partie). Plus récemment, on a prêté une attention particulière à la répartition de quelques-uns des ions mineurs. Des zones d'infiltration saline ont été détectées le long de la côte, où la nappe aquifère est en continuité hydraulique avec la mer. De l'eau saumâtre connue a d'autre part été rencontrée dans la craie de l'est de l'Angleterre.

Des différences dans le chimisme des eaux de la nappe de la craie inférieure, moyenne et supérieure ont été observées en affleurement. Des variations de la qualité chimique, saisonnières et, dans certains cas, quotidiennes, ont été mises en évidence.

Là où la craie s'enfonce sous la couverture tertiaire, on a reconnu des changements systématiques dans le chimisme des eaux de la nappe de la craie, pour ce qui est par exemple de l'échange des cations (S. BUCHAN, 1958, « Variations in mineral content of some ground waters », *Proc. Soc. Water Treatment and Examination*, vol. 7, p. 11). A partir d'une étude détaillée des variations du chimisme des eaux de la nappe de la craie s'écoulant des affleurements vers le centre du bassin de Londres occupé par des dépôts tertiaires, on a proposé une classification des eaux souterraines de la craie (J. INFESON et R.A. DOWNING, 1960, « Changes in the Chemistry of ground waters of the chalk passing beneath argillaceous strata », *Bull. Geol. Surv. Great Britain* (en cours de publication). La base de cette classification est essentiellement une analyse de changements systématiques en dureté, à la fois en carbonates et autres substances, en en alcalinité, ainsi que d'autres paramètres ioniques. Cette classification générale a été confirmée ailleurs dans la craie, et a été étendue à d'autres calcaires et même à des nappes arénacées.

*
**

M. RICOUR corroborant l'idée émise par M. G. WATERLOT, pense que, dans la région du Nord, certaines des transformations du chimisme de l'eau de la nappe de la craie sont dues à des percolations de la nappe du Tertiaire. Il est bien connu que, dans certains forages, on peut entendre, de la surface, l'eau de la nappe du Tertiaire qui s'écoule dans le fond des ouvrages. Dans de tels cas, on ne peut absolument pas douter de l'existence de fuites. Si l'eau peut descendre, c'est que le tubage n'existe plus ou ne joue plus son rôle. Ce sont les tubages et les cimentations qui n'ont pas résisté aux eaux séléniteuses. Dans des régions très industrialisées où il y a énormément de vieux forages, comme la région de Lille, Roubaix, Tourcoing, il est très difficile de remédier à cet état de choses. Pour prévenir de telles pollutions dans des régions non encore atteintes, il faut réaliser correctement l'isolement des nappes en utilisant des tubages durables (acier spécial ou matière plastique) et en réalisant les cimentations avec des ciments fondus ou de laitiers (mais onéreux) qui résistent aux eaux séléniteuses.

Les cimentations doivent, d'autre part, être réalisées chaque fois que cela sera possible par injection remontante entre le tubage et le terrain.

M. FOURMABIER reprend la présidence pour clôturer le colloque. Il remercie tous ceux qui y ont participé, souligne les grandes lignes qui se sont dégagées des discussions et insiste sur la nécessité de poursuivre les activités de la Commission de la nappe de la craie de l'Association internationale des hydrogéologues.

— 0 —

L'hydrogéologie des dépôts du Crétacé supérieur dans certaines régions de la partie européenne de l'U.R.S.S.

par G.V. BOGOMOLOV (1)

Les dépôts du Crétacé supérieur sont largement répandus sur le territoire de l'U.R.S.S. Dans la partie européenne de l'Union soviétique, ils se rencontrent sur les plateaux et dans les travaux souterrains. Le flanc sud de la dépression Dniepr-Donetz est une énorme superficie où les roches du Crétacé supérieur affleurent ou gisent à faible profondeur sous une couche d'alluvions quaternaires ou tertiaires. Il a été étudié sous le rapport hydrogéologique dans les limites des régions de Smolensk, Briansk, Oriol, Kursk, et de la partie méridionale des districts de Voronège et de Penza (fig. 1).

Des dépôts du Crétacé supérieur occupent aussi une superficie considérable au Sud de la ville d'Aktubinsk et dans le bassin du fleuve Emba. Il faut aussi noter des roches du même âge formant les hauteurs de Iaila Dagh en Crimée. Des roches du Crétacé supérieur sont aussi largement répandues dans le Caucase. Sous le rapport lithologique, les dépôts du Crétacé supérieur dans les lieux bas sont des glauconies aquifères cénomaniennes de grains différents d'une puissance de 20 à 100 m, que laire Dniepr-Donetz, du Nord vers le Sud, les anciens horizons du Crétacé supérieur sont remplacés par des plus jeunes : Turonien, Coniacien, Santonien, Campanien. Dans la partie centrale de la dépression, dans les parties supérieures de la coupe, il a été trouvé des roches du Maëstrichtien et du Danien. Les dépôts daniens sont représentés par une épaisseur terrigène thalassique.

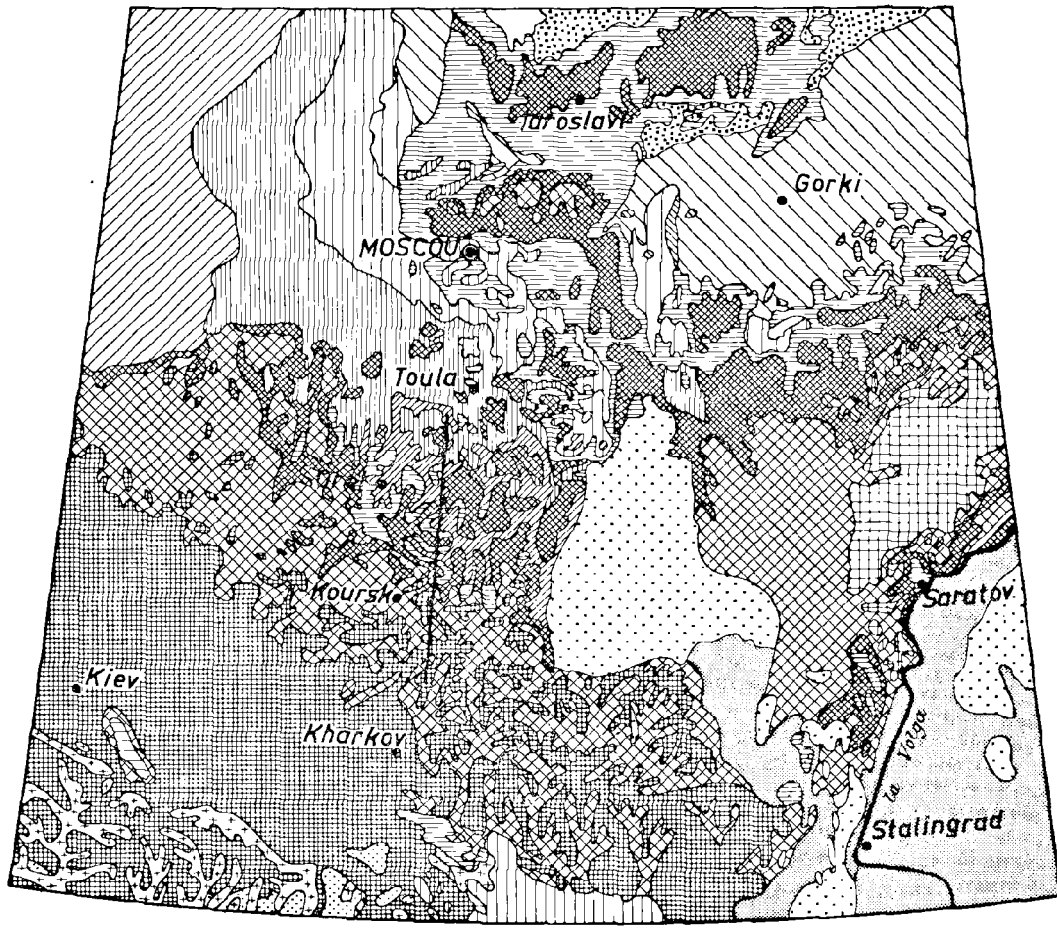
Dans la coupe de l'épaisseur homogène des roches du Crétacé supérieur, c'est la craie et les marnes qui dominent ; elles sont employées dans de nombreuses régions pour la production de ciments de différentes qualités. La partie supérieure des roches crayeuses est en général fissurée,

et dans de nombreux lieux contient des cavités karstiques. Il a été établi qu'avec la profondeur, la fissuration et les cavités karstiques diminuent, et à des profondeurs de plus de 200 m la porosité des roches crayeuses diminue fortement. Les dimensions des entonnoirs karstiques vont de quelques mètres de diamètre dans la partie supérieure de la coupe, jusqu'à quelques centimètres dans la zone inférieure. Dans les lieux d'affleurement des roches crayeuses, les précipitations atmosphériques et les eaux de surface sont rapidement absorbées et vont dans les horizons aquifères, s'écoulant vers le Sud suivant la pente des roches du Crétacé supérieur.

Des études dans les régions de l'anomalie magnétique de Kursk ont permis d'établir que la fissuration et l'effritement les plus importants des roches crayeuses se rencontrent dans les vallées des cours d'eau et les ravins où, dans certains sondages, on rencontre assez souvent de la « craie fluide » au lieu de craie solide.

Lors d'exécution de travaux de forage de puits et d'ouverture de carrières pour l'extraction de craie, il a été établi que les cavités karstiques suivant la pente sud de la dépression Dniepr-Donetz sont très souvent remplies de roches d'âge tertiaire, ce qui prouve que la formation du karst est postérieure au Crétacé. L'étude de l'apparition du karst donne un matériel très important pour l'établissement des conditions paléogéologiques et des particularités tectoniques existant dans les limites de la dépression Dniepr-Donetz et de ses flancs après la période du Crétacé supérieur. Des coupes géologiques schématiques (fig. 2) on relève une augmentation de la puissance des roches du Crétacé supérieur allant du Nord au Sud, et des sondages à grandes profondeurs (plusieurs centaines de mètres) dans des horizons aquifères des régions centrales du bassin montrent que l'épaisseur des roches crayeuses et marneuses y atteint 300 à 400 m au lieu de 15 à 20 m dans ses parties nord.

(1) Académie des sciences de l'U.R.S.S.



Tracé de la coupe géologique

Légende

Q ₁₋₃ Pléistocène	T ₁ Trias inférieur	D ₃ Dévonien sup ^Γ
N ₂ Pliocène	P ₂ Tartarien	D _{3fm} Famennien
N ₁ Miocène	P ₁ Permien inférieur	C _{r2} Cambrien moyen
Pg ₃ Oligocène	C ₃ Carbonifère sup ^Γ	C _{r1} Cambrien inférieur
J Jurassique	C ₂ Carbonifère moyen	δ ₁ Prépaléozoïque
J ₃ Jurassique sup ^Γ	C ₁ Carbonifère inférieur	

FIG. 1. — Extrait de la carte géologique de l'U.R.S.S. réduite au 1/10.000.000 environ.

L'étude des puissances et des faciès des dépôts de la période crétacée supérieure répandus dans la partie centrale du bassin Dniepr-Donetz et sur ses flancs permet de tirer la conclusion que la partie centrale de ce bassin s'est incurvée plus intensé-

ment, et ses flancs beaucoup plus lentement. Le passage depuis les flancs vers la partie profonde du bassin est compliqué par de grands accidents tectoniques, des failles en gradins.

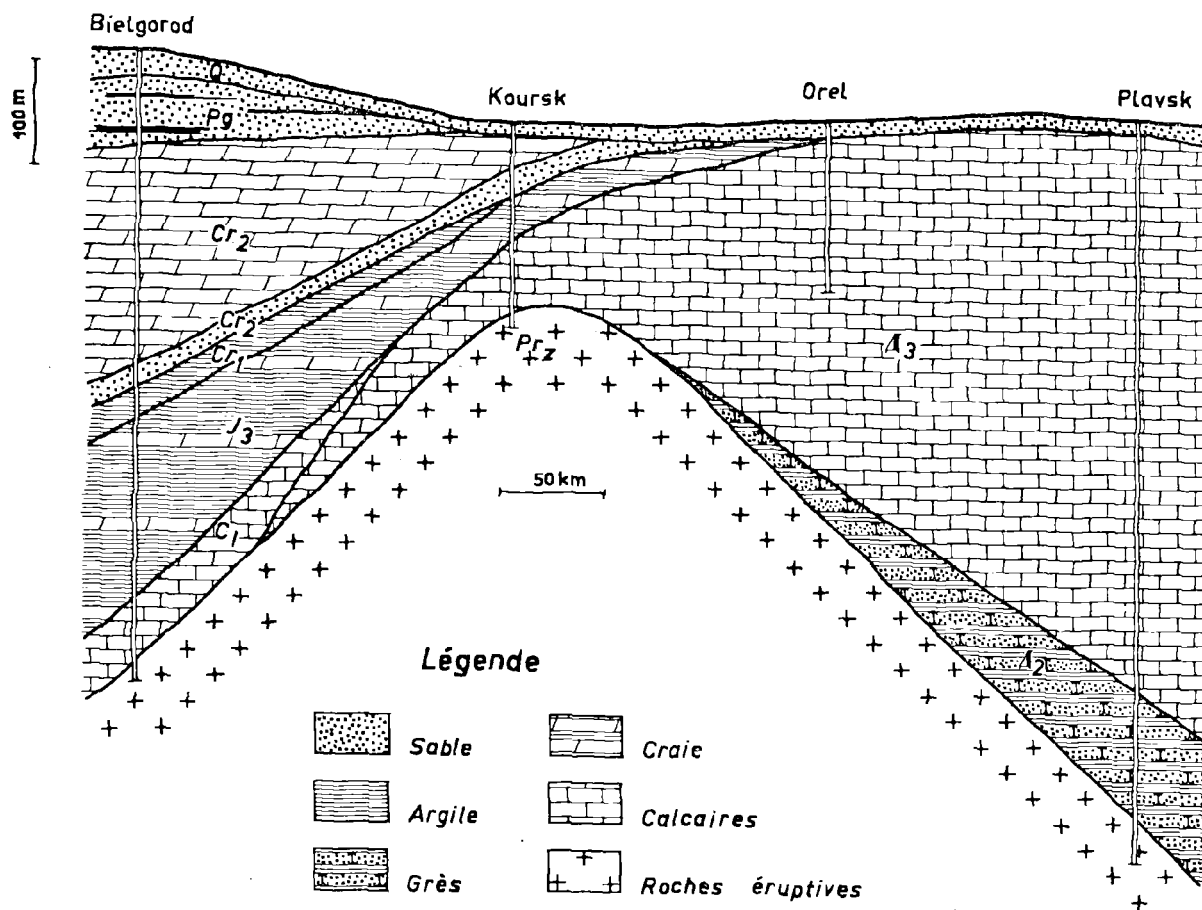


FIG. 2. — Profil géologique-hydrogéologique schématique le long de la ligne Bielgorod-Plavsk.

Comme le montrent les figures 1 et 2, le flanc méridional du bassin est une zone d'alimentation des horizons aquifères dont les dépôts crayeux se trouvent dans une zone avec excédent d'humidité, où la quantité totale des précipitations atteint plus de 500 mm par an.

Dans les limites de la partie nord du flanc méridional, les roches du Crétacé supérieur gisent sur des dépôts dévonien qui, en direction vers le centre du bassin, sont recouverts par des dépôts d'âge plus jeune.

En relation avec le pendage des roches du Crétacé supérieur, dirigé du Nord au Sud, les poussées piézométriques augmentent dans le même sens, atteignant dans les régions de Bielgorod et de Kharkov un niveau de 300 à 400 m supérieur

au toit des roches indiquées. Dans certaines régions de dépôts du Crétacé supérieur, on capte de l'eau artésienne. En direction sud on observe aussi un ruissellement général souterrain. De ce qui vient d'être exposé, il ressort que d'après le caractère des roches du Crétacé supérieur et les conditions de leur gisement la pente méridionale de la dépression Dniepr-Donetz rappelle beaucoup le flanc analogue du bassin artésien parisien, dont la zone d'alimentation se trouve dans les régions septentrionales de la France (ville de Lille) avec quantité élevée de précipitations atmosphériques (plus de 500 mm par an).

Dans les régions septentrionales de la dépression Dniepr-Donetz où les roches du Crétacé supérieur sont coupées par les vallées des cours d'eaux et

des ravins, l'alimentation se fait au compte du ruissellement souterrain. De tels secteurs d'alimentation souterraine ont été relevés actuellement sur les cours d'eaux Dnicpr, Sojé, Donetz du Nord, Pripet, Oskoletz, etc. En certains points de ces cours d'eaux on observe des sources ascendantes d'eau douce.

Selon le caractère et le degré de fissuration, et aussi la présence de cavités karstiques, le débit des puits dans l'épaisseur craie-marne varie de 10 m³/heure jusqu'à 150 m³, avec abaissement du niveau par pompage de 15 mètres et plus depuis le statique. Le coefficient de filtration des roches de cet horizon aquifère varie suivant les données des pompages de 5 m à 35 m par 24 heures.

L'horizon aquifère coïncidant avec les roches mentionnées est actuellement largement utilisé pour l'alimentation en eau de grandes villes et de lieux habités importants. Dans les lieux d'extraction de roches crayeuses, dans des carrières, les débits d'eau atteignent de 10 à 12.000 m³/jour.

Les horizons aquifères des dépôts crayeux ont une grande importance pour l'exploitation des gisements de minerais de fer dans la région de l'anomalie magnétique de Koursk. Pour la sécurité du travail dans des carrières de 200 m et plus de profondeur à ciel ouvert, l'eau est pompée dans les horizons aquifères en terrains marneux, crayeux, etc., par des puits spécialement creusés dans ce but. Dans certaines carrières, le débit total des pompes profondes en action sera de plusieurs mètres cubes d'eau à la seconde.

Les horizons aquifères situés dans des sables crayeux du Cénomaniens ont un coefficient de filtration de 1 m à 15 m par 24 heures.

Lors du pompage il s'établit une liaison hydraulique entre les horizons aquifères situés dans des roches craie-marne et ceux des sables cénomaniens.

La composition chimique des eaux souterraines des horizons indiqués est complètement satisfaisante

et peut être caractérisée par les données suivantes en milligrammes par litre :

Résidu sec	300 à 500
Chlorures	3 à 10
Sulfates	50 à 80
Fer	0,1 à 0,5
Hydrogène sulfuré	traces

Dans certaines régions de l'U.R.S.S., dans les roches du Crétacé supérieur il a été rencontré des horizons aquifères contenant non seulement de l'eau douce, mais aussi des eaux minérales. Par exemple, suivant les données de prospecteurs, dans le Caucase du Nord les sources d'eau douce de Iutsk, Djénal, Békensboudag, avec une température de l'eau de 7 à 15° C, ont un débit de 20.000 à 50.000 m³/jour. De ces dépôts, dans la vallée de la rivière Tchanta-Argoun, il jaillit une source à très faible teneur en hydrogène sulfuré avec débit de 2.000 m³/jour.

Dans les villes de Jéleznovodsk et d'Essentouky, à des profondeurs de plus de 650 m, dans des roches du crétacé supérieur (calcaires et marnes) on a trouvé de l'eau médicinale chlorurée-carbonique-sodique avec teneur en principes minéraux allant jusqu'à 5 g/l et température de 37°. Le débit libre des fontaines atteint 2.600 m³/jour.

Dans l'est du Caucase antérieur (ville de Boudenovsk) depuis des dépôts du Crétacé supérieur 100° C avec débit de 300 m³/jour.

Un sondage dans des terrains pétrolifères de Bérékisk à une profondeur de 815 à 844 m, dans des calcaires du Crétacé supérieur, a rencontré de l'eau avec teneur en principes minéraux de plus de 70 g/l à une température de 62° C et débit de 30.000 m³/jour.

Lors d'un sondage dans la ville d'Astrakan, à une profondeur de 608-810 m dans des roches du Crétacé supérieur, il a été trouvé de l'eau de type chlorurée-calcaïque avec teneur en principes minéraux de 41 à 73 g/l et débit de 32 m³ par jour.

*

**

M. DESTOMBES demande quelle est la différence de salinité entre la nappe de la craie (Sénonien et Turonien) et celle du Cénomanién ?

M. BOGOMOLOV lui répond que les salinités sont de toute façon faibles : 500 mg/l pour la craie et 300 mg/l pour le Cénomanién. La minéralisation des eaux du Cénomanién semble liée à la nature des sables volcaniques intercalés dans le Cénomanién. Ces sables sont susceptibles d'adoucir l'eau.

La dureté de l'eau du Cénomanién est de 10° alors que celle de la nappe de la craie est voisine de 20 à 25°.

M. LÉVY demande s'il existe des séparations entre les nappes diversement salées.

M. BOGOMOLOV précise que dans la plupart des cas, la pression des nappes est la même. Cependant, dans certains cas un niveau argileux imperméable sépare le Cénomanién, à faciès sablo-gréseux, de la craie. Dans de telles conditions, et du fait que le Cénomanién affleure à une altitude plus élevée, la pression de la nappe cénomaniénne est beaucoup plus élevée que celle de la craie.

M. BONTE : « Monsieur BOGOMOLOV a parlé de couches de craie altérées en surface, qui sont beaucoup plus aquifères. Est-ce que l'on peut avoir une idée de la cote absolue de la base de cette couche aquifère par rapport à la mer d'une part, par rapport au fond des vallées d'autre part ? ».

M. BOGOMOLOV lui répond : « Dans certaines régions du Sud, la base de la zone aquifère descend en dessous du niveau de la mer, atteint une profondeur de 500 m, mais la partie supérieure de la nappe se trouve quelquefois à + 150, ce qui donne une tranche d'eau considérable ».

M. FOURMARIER demande à M. BOGOMOLOV s'il y a des différences notables d'épaisseur de la formation crayeuse suivant qu'on la considère dans la région des affleurements ou dans la région située vers le Sud où la nappe de la craie est recouverte par des formations plus récentes qui changent complètement les caractères de la nappe.

M. BOGOMOLOV précise que la craie a en moyenne 80 à 100 m d'épaisseur aux affleurements mais que dans la grande dépression du SW du bouclier ukrainien la craie atteint 300 à 500 m d'épaisseur, du Cénomanién au Dannien.

M. G. WATERLOT remercie M. BOGOMOLOV pour ces renseignements intéressants et constate que quels que soient les pays, que ce soit en U.R.S.S., en Grande-Bretagne, en Belgique ou en France, ce sont toujours les mêmes problèmes qui se posent. Ce fait souligne la nécessité de confrontations internationales qui peuvent avoir des résultats très importants sur le plan de l'efficacité technique.

————— « » —————

RÉUNION EXTRAORDINAIRE

de la

Société géologique du Nord

le 22 mai 1960

Présidence de M. Jean RICOUR, Président



Cette réunion, qui faisait suite au colloque, fut consacrée à l'étude de quelques grands problèmes hydrogéologiques de notre région. La plupart des participants au colloque assistèrent à cette journée d'études qui groupa une soixantaine de personnes.

Ayant quitté Lille, le premier arrêt se fit à la station de pompage des Ansereuilles, où nous attendait M. FOURNAU, directeur de la Société des Eaux du Nord, membre de notre société.

Après la visite de cette belle réalisation, M. G. WATERLOT, Professeur de géologie à la Faculté des sciences, voulut bien nous faire un exposé géologique sur le remarquable « piège à eau » que constitue l'ensemble de cette zone. Nous reproduisons ci-dessous le texte qu'il a eu l'amabilité de nous remettre.

La nappe aquifère de la craie dans la vallée de la Haute-Deûle ; structure géologique du sous-sol de la vallée

par Gérard WATERLOT

Sommaire. — Dans le sous-sol crayeux de la vallée de la Haute-Deûle, l'eau s'accumule dans un synclinal d'âge tertiaire, superposé à un synclinal d'âge hercynien, tandis que l'anticlinal du Mélantois, d'âge tertiaire, lui aussi superposé à un anticlinal hercynien, forme une sorte de barrage tendant à s'opposer au départ de l'eau qui se trouve ainsi véritablement prise dans un piège.

Le sous-sol crayeux de la vallée de la Haute-Deûle est depuis longtemps reconnu comme possédant une très riche nappe aquifère. De nombreux forages y puisent chacun des volumes horaires de l'ordre de 200 m³ sans tarir pour autant les ressources en eau souterraine. C'est dans cette vallée que, pour la distribution de l'eau dans toute la région lilloise, se sont installées les usines de captage de la ville de Lille, aux environs d'Emmerin, et de la Société des Eaux du Nord, aux Ansereuilles, près de Wavrin.

Le gîte aquifère y est assez curieux pour que l'on examine ses conditions de formation et de retenue. Il s'agit là, en effet, d'un véritable « piège à eau » miraculeusement disposé pour le plus grand bénéfice de l'industrie et de l'agglomération lilloise. La formation de ce gîte aquifère dépend de deux facteurs : d'une part, le grand développement de la vallée qui sert de bassin d'alimentation et, d'autre part, la présence d'un synclinal qui forme une vaste cuvette dans laquelle l'eau peut d'autant mieux s'accumuler qu'elle y est retenue grâce au pli anticlinal du Mélantois agissant comme un véritable barrage souterrain.

La vallée de la Souchez que poursuit la Deûle s'est installée dans un pays de craie sénonienne entre la région de Lens et les environs de Meurchin puis, entre ce dernier lieu et Lille, dans un pays actuellement occupé par la craie (fig. 1 et 2) mais dans lequel l'érosion a découpé la couverture des terrains tertiaires constitués principalement par les sables fins d'Ostricourt et l'argile sableuse de Louvil (étage landénien). Ce découpage a eu un effet double. Il a mis à jour la craie qui a pu ainsi subir le fendillement caractéristique de cette roche dans

les vallées, extrêmement favorable à l'accumulation de l'eau souterraine. Il a aussi apporté dans ces vallées les sédiments nécessaires à la formation des alluvions (A. Bonte, 1955) ; celles-ci sont essentiellement argilo-sableuses, perméables à cause de la quantité de sable qu'elles contiennent, mais à per-

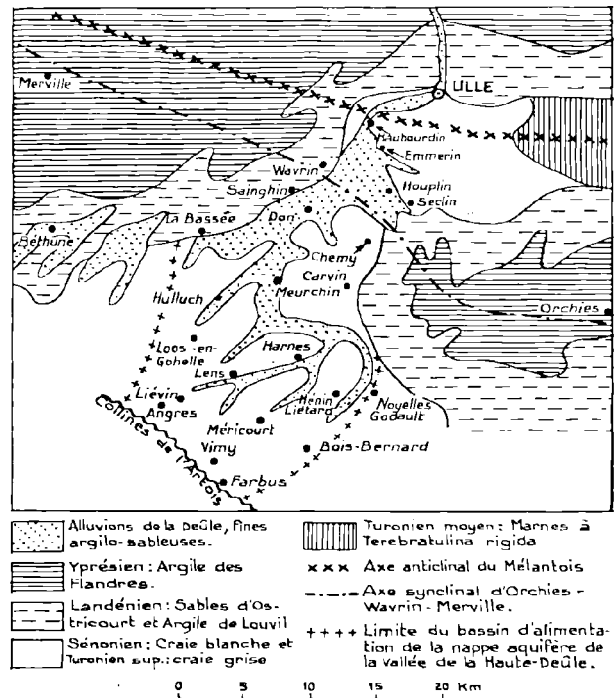


FIG. 1. — Carte géologique sommaire du bassin d'alimentation de la nappe aquifère de la craie dans le secteur de la vallée de la Haute-Deûle.

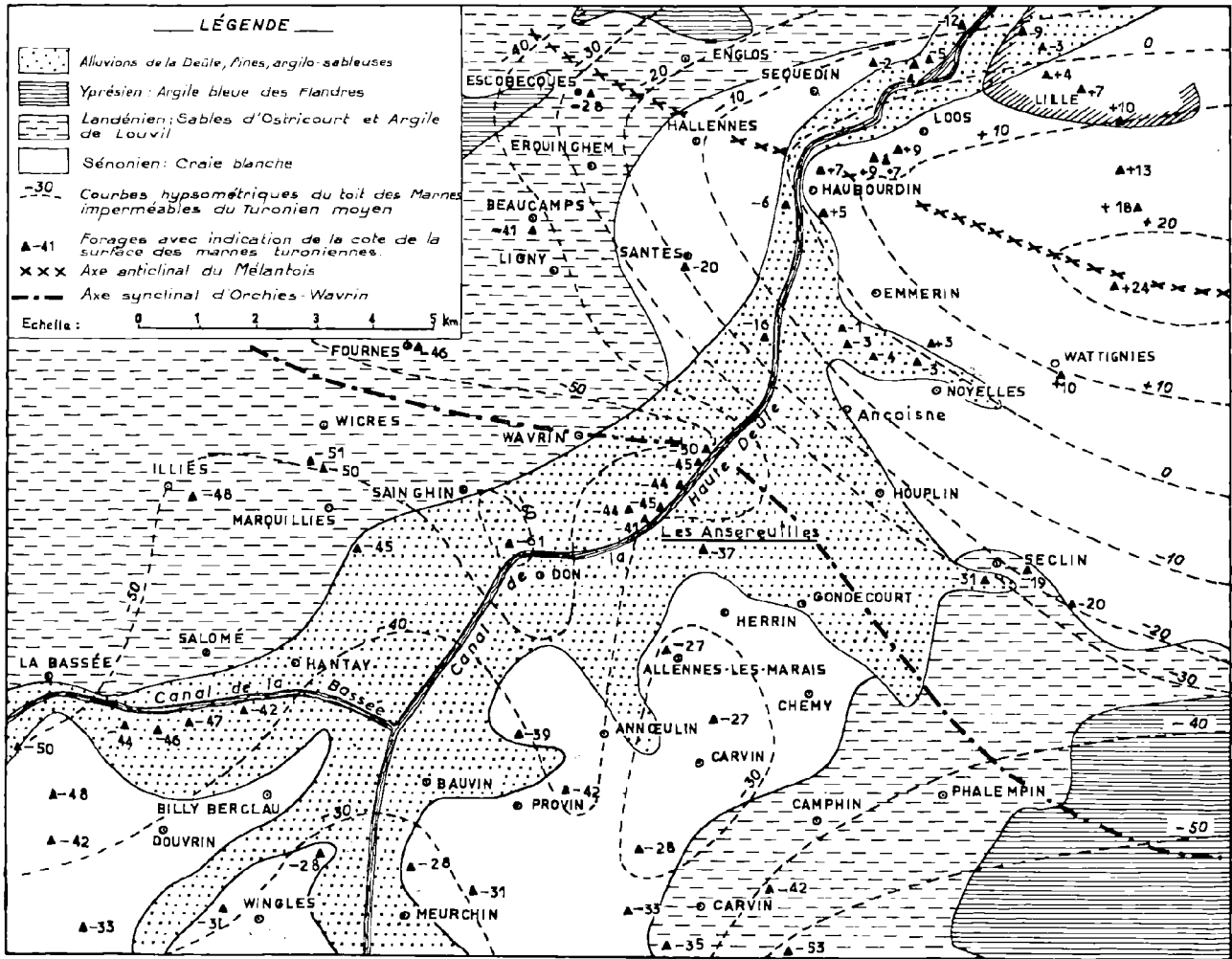


FIG. 2. — Carte géologique de la vallée de la Haute-Deûle, entre Meurchin et Lille, avec indication des courbes hypsométriques de la surface des marnes bleues imperméables (dièves) du Turonien moyen formant la base de la nappe aquifère de la craie.

méabilité très réduite par suite de la finesse des grains de sable et de la présence d'argile. C'est ainsi que la nappe aquifère de la craie semble être retenue en captivité par l'effet des alluvions puisque, dans les forages, dès qu'elle se trouve libérée, l'eau de la nappe de la craie remonte dans les tubes presque jusqu'au niveau du sol, s'élevant ainsi bien au-dessus de la base des alluvions. A ce titre, celles-ci pourraient être considérées comme étant quasi imperméables. En réalité, il n'en est rien car l'installation des forages en zone alluviale, avec tubes étanches dans la traversée de ces alluvions, n'aboutit pas moins à la disparition des

marécages environnants dont l'eau finit par passer à travers les alluvions pour atteindre la craie et alimenter ainsi les forages. La nappe alluviale est, de ce fait, en relation directe avec celle de la craie (fig. 3).

On sait que la nappe aquifère de la craie est de beaucoup plus abondante dans le sous-sol des vallées que dans celui des plateaux parce que la roche s'y trouve dans un état de fracturation très prononcée, extrêmement favorable à la circulation de l'eau. C'est la « craie fragmentaire » ou « craie fendillée » ou encore « craie congloméroïde » de J. Gosselet (1904, p. 139).

« Les couches de craie fragmentaire, fendillée ou congloméroïde étant particulièrement situées dans les vallons, à la tête des vallées et sur leurs bords, c'est là surtout qu'il faut aller chercher l'eau. Il y en a moins sous les plateaux et les plaines. Les hydrologues, qui avaient quelque pratique des recherches d'eau, le savaient depuis longtemps. Presque toujours, ils choisissaient les vallons pour établir leurs forages. Ceux-même qui se servaient de baguettes de coudrier ou de quelque autre moyen pour séduire un public, qui croit plus volontiers à la sorcellerie qu'à la science, se laissaient généralement guider par l'expérience quand même ils ne pouvaient pas l'interpréter d'une manière scientifique » (J. Gosselet, 1904, p. 140-141).

En dépit de cette remarque essentielle de J. Gosselet, de nombreux captages d'eau, effectués de vingt à quarante ans plus tard dans notre région du Nord, ont abouti à des échecs pour avoir été réalisés sur des hauteurs, même si des vallées existaient au voisinage. Une mise au point a depuis été effectuée (G. Waterlot, 1957 a, 1958, 1960) à propos de questions plus générales concernant les ressources en eau.

Le bassin d'alimentation de la nappe de la craie utilisée par les captages lillois correspond pratiquement à tout le bassin hydrographique de la Haute-Deûle depuis son origine au pied des collines de l'Artois, au Sud de Lens, jusqu'à Haubourdin (fig. 1). En effet, la pente des couches crétaées descend régulièrement du sud vers le nord depuis Vimy jusqu'à Wavrin - Les Ansereuilles : toit de marnes à *Terebratulina rigida* du Turonien moyen, ou dièves, à la cote + 30 à Vimy, — 4 à la fosse 9 de Lens, — 17 à la fosse 8 de Lens, — 31 à Meurchin et — 50 aux Ansereuilles où se situe l'axe d'un synclinal d'âge tertiaire (synclinal d'Orchies - Wavrin - Merville) ; la pente des couches crétaées remonte ensuite vers le Nord (toit des dièves à — 16 à la Blanchisserie Wallaert à Santes, à — 6 au forage Lever à Haubourdin) par l'effet du pli anticlinal du Mélantois. Toutefois, cette remontée des dièves, qui constituent la base de la nappe aquifère de la craie, n'empêche nullement cette nappe de circuler normalement du sud vers le nord ainsi que l'indique l'ancienne position du niveau hydro-statique, avant les perturbations d'origine industrielle : cote + 40 à Vimy, + 30 à Lens, + 22 à Vendin, + 18 à Wavrin - Les Ansereuilles, + 16 à Lambersart.

Ainsi, toute l'eau qui tombe sur le territoire compris entre les collines de l'Artois au sud, Haubourdin au nord, une ligne orientale approximative

passant par Bois-Bernard, Noyelles-Godault, Chemy, Seclin, et une ligne occidentale joignant l'ouest de Liévin, de Loos-en-Gohelle, d'Hulluch et de La Bassée, est dirigée et aboutit dans la craie fendillée du sous-sol des vallées affluentes de la Deûle pour constituer la portion de la nappe aquifère de la craie qui s'écoule vers Don, Wavrin, Emmerin et Haubourdin. L'eau ne peut guère s'échapper latéralement du fait de la compacité de la craie sous les plateaux. Effectivement, dès que l'on s'éloigne de la vallée, comme au nord immédiat de La Bassée, par exemple, les débits des forages restent faibles et de l'ordre de 5 à 10 m³/h. Par conséquent, le bassin d'alimentation est très étendu et l'eau de la nappe tend à s'écouler vers Haubourdin puisqu'elle est pratiquement canalisée dans une sorte de très large vallée souterraine sous-jacente au cours de la Deûle.

C'est ici qu'intervient l'action des plissements pour freiner considérablement le départ de l'eau au delà d'Haubourdin, vers le nord.

L'examen des forages réalisés dans la région (J. Gosselet, 1904 et 1905 ; C. Chartiez et P. Pruvost 1939 ; G. Delépine et F. Joly, 1954 ; documents encore inédits) permet d'établir une nouvelle carte des courbes hypsométriques du toit des marnes bleues imperméables (dièves) du Turonien moyen (fig. 2). Les mêmes documents et d'autres apportant des indications sur la structure des terrains primaires (P. Pruvost, 1914 et 1937 ; C. Chartiez et G. Waterlot, 1951) autorisent la présentation d'une nouvelle coupe géologique le long de la vallée de la Haute-Deûle (fig. 3).

L'anticlinal du Mélantois, bien connu depuis les publications de J. Gosselet, apparaît nettement à Haubourdin où il relève le toit des marnes bleues de près de 40 mètres. Un fait nouveau est décelé depuis qu'une série récente de forages a été effectuée aux Ansereuilles ; c'est la présence d'un synclinal qui fait descendre en ce lieu le toit des marnes bleues à la cote — 50, alors que ce toit se tient à + 7 à Haubourdin et à — 28 à Wingles. Ce synclinal est localement perturbé par une petite cuvette locale, en forme d'entonnoir, qui a été révélée par le forage de recherche de Sainghin-en-Weppes, effectué près de la gare de Don (coupe *in P.* Pruvost, 1914, p. 184). Il s'agit là très vraisemblablement d'une descente des terrains crétaées dans un puits naturel creusé dans une dolomie primaire d'âge indéterminé ; ce puits a d'abord été comblé par des sables et argiles d'âge wealdien avant la transgression crétaée ; il a dû ensuite continuer à se creuser, ce qui a dû provoquer la descente des dièves

blanches cénomaniennes, des dièves bleues turoniennes et de la craie. Le synclinal de Wavrin peut être rattaché au SE à celui d'Orchies bien connu de tous, et au NW à celui d'Estaires (G. Waterlot, 1957 b).

Une remarque peut être présentée au sujet de ces plis. On sait que l'anticlinal du Mélançois, d'âge tertiaire, qui ondule les terrains crétacés depuis Tournai jusqu'à Haubourdin (J. Gosselet, 1905) et les terrains tertiaires d'Haubourdin à Hazebrouck (G. Waterlot, 1957 b) se superpose à un anticlinal faillé d'âge hercynien qui, dans la région d'Haubourdin, de Lille (SW) et de Lomme (P. Pruvost, 1914 ; C. Chartiez et P. Pruvost, 1939 ; G. Delépine et F. Joly, 1954 ; C. Chartiez et G. Waterlot, 1951), remonte à la surface du Primaire, sous les dièves crétacées ou très près de cette surface et en plein pays de calcaire carbonifère, des terrains dévoniens (frasniens à Haubourdin, famenniens et frasniens à Lomme) ou struniens (à Lille SW).

Il semble d'ailleurs que le mouvement positif du Mélançois dont le paroxysme date de l'époque hercynienne, ait pu se poursuivre par une action très ralentie au cours de l'ère secondaire, pendant le Crétacé. En effet, ainsi que J. Gosselet l'a déjà fait remarquer, les dièves du Turonien inférieur et moyen accusent une épaisseur plus faible au droit de l'anticlinal que plus au sud, vers la cuvette de Wavrin, et plus au nord en direction de Roubaix (voir fig. 3). Il en va sensiblement de même avec les couches de craie (Turonien supérieur et Sénonien) dont la puissance, sous le recouvrement tertiaire et dans des régions où l'érosion actuelle n'a pu jouer, reste plus faible sur la zone anticlinale du Mélançois que dans les zones plus méridionales ou plus septentrionales. L'examen de quelques coupes de forages de la région lilloise indique bien ce fait avec une épaisseur de craie de 20 à 22 m près d'Englos, dans la zone axiale de l'anticlinal du Mélançois, contre 53 m à Fourmes dans le synclinal de Wavrin, et 30 m en moyenne au nord de l'anticlinal du Mélançois à La Madeleine, Marquette, Marcq-en-Barœul et Bondues.

La transgression landénienne s'est donc opérée sur un secteur où la puissance de la masse crayeuse était relativement faible, et c'est ainsi qu'à l'heure présente on peut observer des sables verts landéniens dans des fentes de la craie exploitée dans les carrières d'Haubourdin. Actuellement, le recouvrement tertiaire a disparu par l'effet de l'érosion, à la suite de la continuation du plissement anticlinal au cours de l'ère tertiaire et probablement

aussi, ainsi qu'on le verra plus loin, pendant le Quaternaire.

Le synclinal tertiaire que l'on peut suivre d'Orchies à Wavrin et Estaires (G. Waterlot, 1957 b) se superpose lui aussi très sensiblement au pli synclinal hercynien de Seclin-Merville bien marqué par les cuvettes de terrain houiller reconnues tant à Seclin qu'à Merville (P. Pruvost, 1937) (*). Dans les deux cas, les plis tertiaires se sont donc développés à l'aplomb des plis hercyniens et dans le même sens.

L'anticlinal du Mélançois tend à s'opposer au passage de l'eau souterraine de la nappe de la craie contenue en amont de lui dans le sous-sol de la vallée de la Haute-Deûle. Son action paraît double. D'une part, en effet, il remonte le sommet des dièves imperméables à la cote +7 à Haubourdin. Si l'on tient compte que le niveau du sol se tient vers la cote +19 et que les alluvions paraissent avoir là une épaisseur de l'ordre de 10 à 12 m, d'après les forages Lever et Wallaert, l'épaisseur de craie perméable est extrêmement faible entre la base des alluvions et le toit des dièves. Certes, la nappe aquifère de la craie communique avec celle des alluvions mais la circulation de l'eau dans ces alluvions argilo-sableuses, à fine granulométrie, ne peut être que très ralentie. Ainsi, la montée des dièves à Haubourdin constitue une sorte de barrage naturel qui tend à empêcher la circulation de l'eau vers l'aval de la vallée de la Deûle.

D'autre part, la zone alluviale a un développement très réduit à Haubourdin (fig. 2) alors qu'elle est extrêmement large au niveau des Ansereuilles. Les alluvions s'étalent dans la région occupée par le synclinal de Wavrin et y sont épaisses de l'ordre de 17 m tandis que, au contraire, elles s'amincissent considérablement au passage de l'anticlinal du Mélançois, tant en ce qui concerne la largeur de la vallée que leur propre épaisseur (10 à 12 m). On peut ainsi penser que les plissements d'âge tertiaire ont continué à fonctionner pendant le Quaternaire, approfondissant la vallée à Wavrin et la remontant à Haubourdin, ce qui reste en

(*) On peut remarquer que l'axe du synclinal tertiaire Merville-Wavrin, jusque-là bien superposé au synclinal hercynien Merville-Seclin, subit, au méridien de Seclin, une torsion vers le sud puis un redressement vers l'est en direction d'Orchies. Cette allure paraît absolument calquée sur un mouvement identique d'âge hercynien nettement marqué plus au sud par la torsion semblable du synclinal houiller dans la région de Douai (voir la carte générale du bassin houiller, par exemple *in* Bouroz, 1960).

accord avec la lente remontée actuelle du sol dans la région de Tournai et la descente dans la vallée de la Haine (G. Waterlot, 1948).

Ces deux actions conjuguées de la remontée des dièves et du rétrécissement de la vallée à Haubourdin concourent à un freinage des possibilités d'évacuation de l'eau souterraine au delà de l'anticlinal du Mélançois. Il se produit là une sorte d'embouteillage au plus grand bénéfice de la région de la vallée de la Haute-Deûle intéressée par le synclinal de Wavrin. C'est ainsi que la nappe aquifère possède, aux Ansereuilles, une puissance de l'ordre de 50 à 60 m suivant les lieux. C'est donc une zone privilégiée, plus favorable que la région de La Bassée où la Ville de Lille a effectué des recherches avant 1914, abandonnées depuis et remplacées par d'autres prospections dans le vallon de Bargues,

à proximité d'Emmerin. Ici, la nappe n'a pas la richesse du secteur des Ansereuilles ; en effet, le niveau hydrostatique se tient actuellement vers la cote + 14 (évidemment variable en plus ou en moins avec les saisons) alors que la base de la nappe aquifère se place au voisinage des cotes + 3 à - 4. La hauteur d'eau disponible n'y est donc que de 11 à 18 m. Toutefois, la nappe ne risque pas de tarir étant donné que son alimentation reste assurée à partir du vaste réservoir situé plus au sud. Néanmoins, en cas d'abaissement temporaire du niveau hydrostatique, par exemple en période estivale, il est toujours possible que, si le rabattement du plan d'eau dû au pompage atteint une valeur d'une douzaine de mètres, certains forages puissent tarir momentanément puisque ce rabattement atteindrait alors le sommet des marnes bleues imperméables.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

- BONTE A., 1955. — Vallées quaternaires remblayées dans les environs de Lille. *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. 75, p. 111-122.
- BOUROZ A., 1960. — La structure du paléozoïque du Nord de la France au sud de la Grande Faille du Midi. *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. 80, pl. 8.
- CHARTIEZ C. et PRUVOST P., 1939. — Coupe d'un forage à Lille. *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. 64, p. 22-27.
- CHARTIEZ C. et WATERLOT G., 1951. — Le Dévonien rencontré par forage à Lomme (Nord). *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. 71, p. 124-128.
- DELÉFINE G. et JOLY F., 1954. — Forage des Etablissements Le Blan à Lille (avenue de Bretagne). *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. 74, p. 31-38.
- GOSSELET J., 1904. — Les Assises crétaciques et tertiaires dans les fosses et les sondages du Nord de la France. *Etudes des gîtes minéraux de la France*, fasc. 1, région de Douai.
- GOSSELET J., 1905. — *Ibid.*, fasc. 2, région de Lille.
- PRUVOST P., 1914. — Résultats de quelques sondages profonds exécutés au SW de la Ville de Lille. *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. 43, p. 177-189.
- PRUVOST P., 1937. — Le terrain houiller inférieur sous la Ville de Seclin (Nord). *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. 62, p. 14-26.
- WATERLOT G., 1948. — A propos d'affaissements actuels du sol : quelques précisions dans la vallée de la Haine française. *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. 68, p. 2-12.
- WATERLOT G., 1957 a. — Les ressources hydrogéologiques du Nord de la France. *Le Monde industriel*, Lille, n° 532, p. 5-27.
- WATERLOT G., 1957 b. — Le toit des sables landéniens en Flandre, dans la région comprise entre Saint-Omer et Lille. *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. 77, p. 74-82, pl. V.
- WATERLOT G., 1958. — Observations sur les nappes aquifères de la craie du Nord de la France. *Assoc. Inter. Hydrogéologues*, Congrès Liège 1958, Mém., t. 2, Paris B.R.G.M., p. 129-134.
- WATERLOT G., 1960. — Le problème de l'eau dans la région du Nord. *Bull. Soc. Géogr., Lille*, nouv. série, n° 3, p. 22-40.

*

**

Après cet exposé, M. FOURNAU donna aux participants des explications techniques du plus haut intérêt sur la construction et le mode de fonctionnement de la station. Il a bien voulu nous en donner le résumé que nous reproduisons ci-dessous :

«»

Le point d'eau des Ansereuilles

par M. Michel FOURNAU (1)

Pour alimenter en eau potable les 105 communes qu'elle dessert et qui groupent 470.000 habitants, la Société des eaux du Nord dispose de 10 stations de pompage dont la plus importante est celle des Ansereuilles.

Comme l'a expliqué M. le Professeur WATERLOT, la position de ce point d'eau est particulièrement favorable car :

1° il se trouve dans une zone de craie fendillée très aquifère correspondant à l'ancienne vallée de la Deûle ;

2° il surplombe un synclinal qui recueille naturellement les eaux d'infiltration d'un bassin de 400 km² ;

3° les eaux sont emprisonnées dans ce synclinal :
- à l'Est, à l'Ouest et au Sud par la craie compacte ;
- au Nord par l'anticlinal du Mélantois.

La S.E.N. a obtenu le 6 août 1936 la déclaration d'utilité publique l'autorisant à capter ces eaux. La première usine des Ansereuilles fut mise en route avec 4 forages dont le débit fut suffisant jusqu'en 1946. Quatre autres forages furent ensuite exécutés, de 1947 à 1955, lesquels permirent à l'usine de fonctionner à son débit maximum de 24.000 m³/jour.

Mais les besoins en eau de la banlieue de Lille ne cessent d'augmenter ; la consommation double en moyenne tous les 13 ans et il est peu probable que ce rythme ralentisse durant les prochaines années. En effet, la demande d'eau n'a atteint, durant les journées les plus chaudes de l'été particulièrement sec de 1959, que 110 litres/jour par habitant pour la consommation domestique et 102 litres/jour pour la consommation industrielle, soit un total de 212 litres/jour alors qu'on estime normale, pour des agglomérations aussi denses et industrielles que la région lilloise, une consommation de pointe pouvant atteindre 340 litres/jour par habitant.

C'est pourquoi, sur les conseils de Monsieur le Professeur WATERLOT, la S.E.N. a entrepris la construction, sur le point d'eau des Ansereuilles, d'une deuxième usine, que nous appellerons Ansereuilles-Major parce que son débit sera de 48.000 m³ par jour, c'est-à-dire double de celui de l'usine Minor.

Nous avons vu que la première usine était alimentée par 8 forages. Ceux-ci ont été exécutés dans un cercle de 400 m de diamètre comme figuré ci-dessous :

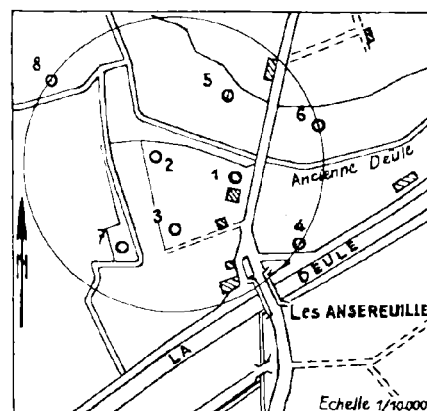


FIG. 1

L'écartement entre forages est en général de 100 à 120 m, sauf pour le dernier qui a été éloigné de 160 m. Ces écartements sont insuffisants et les forages s'influencent fortement ; le débit du forage n° 1, situé près du bâtiment des pompes, au milieu de la zone des forages, est devenu si faible que nous l'avons relégué au rôle de piézomètre. Sa position nous permet d'enregistrer le niveau maximum de la nappe, dont l'allure générale, au moment des basses eaux exceptionnelles et des pompages intensifs de 1959, se présentait conformément au profil en long ci-dessous, pris le long de la vallée de la Deûle, dans la direction générale SW-NE.

(1) Directeur général des Eaux du Nord.

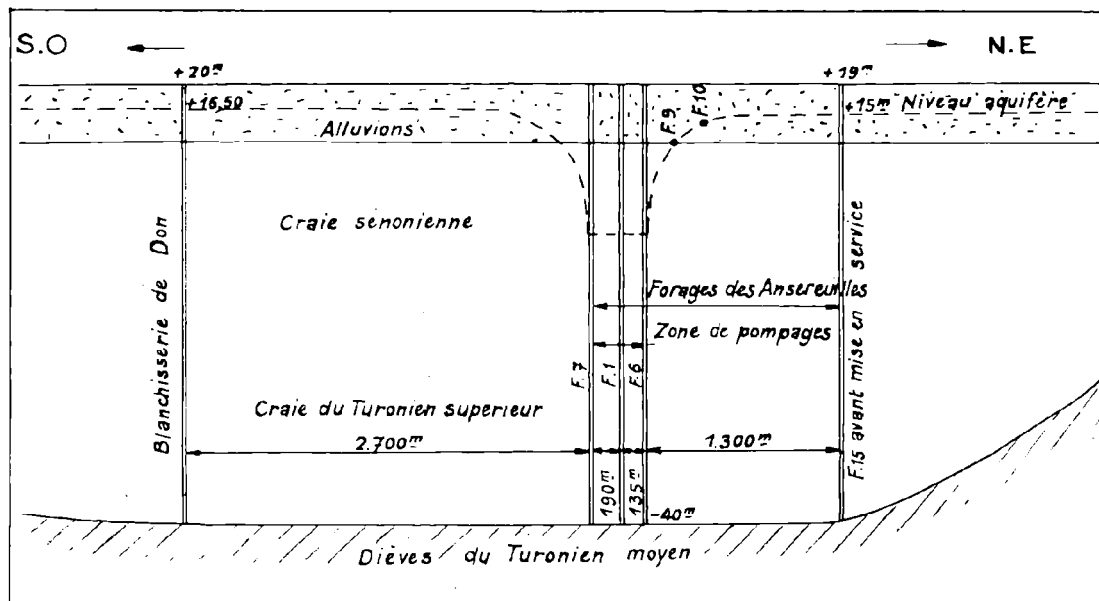


FIG. 2

Pour l'alimentation des Ansereuilles-Major, 17 forages ont été prévus mais on a pris soin de les espacer entre eux d'au moins 200 mètres et parfois jusqu'à 400 mètres comme le montre le plan ci-contre. Pour le moment, les 7 forages portant les numéros 9 à 15 sont exécutés et équipés ; les forages 16 et 17 sont prévus pour 1961 et les forages 18 à 25 pour 1962.

Au point de vue géologique, tous les forages des Ansereuilles présentent les caractéristiques suivantes :

- 8 à 10 mètres d'alluvions argileuses ou sableuses très mélangées avec, parfois, un peu de tourbe au niveau du sol.
- 5 à 8 mètres de craie friable.
- 40 à 45 mètres de craie plus ou moins dure, avec silex et banes de terre.

Les dièves se rencontrent entre 59 m et 64 m de profondeur.

Les forages donnent isolément un débit moyen de 200 m³/heure, qui se stabilise, en pompage groupé, aux environs de 150 m³/heure par forage.

L'analyse des eaux des Ansereuilles est généralement la suivante :

résistivité électrique	1.270
degré hydrotimétrique	41°8
pH	7,04
alcalinité en CaO	196
chlorures en Cl	52
sulfates en SO ³	87
nitrates	0
fer en Fe	0,9
chaux en CaO	192
magnésic en MgO	30
sodium en Na	49
potassium en K	5,9
silice en SiO ²	14
phosphates en P ² O ⁵	0

La balance anions-cations en milli-équivalents s'établit comme suit :

Anions		Cations	
CO ³ H — }	7,00	Ca ++	6,85
SiO ³ — — }		Mg ++	1,49
Cl —	1,46	Na +	2,13
SO ⁴ — —	2,17	K +	0,13
	10,63		10,60

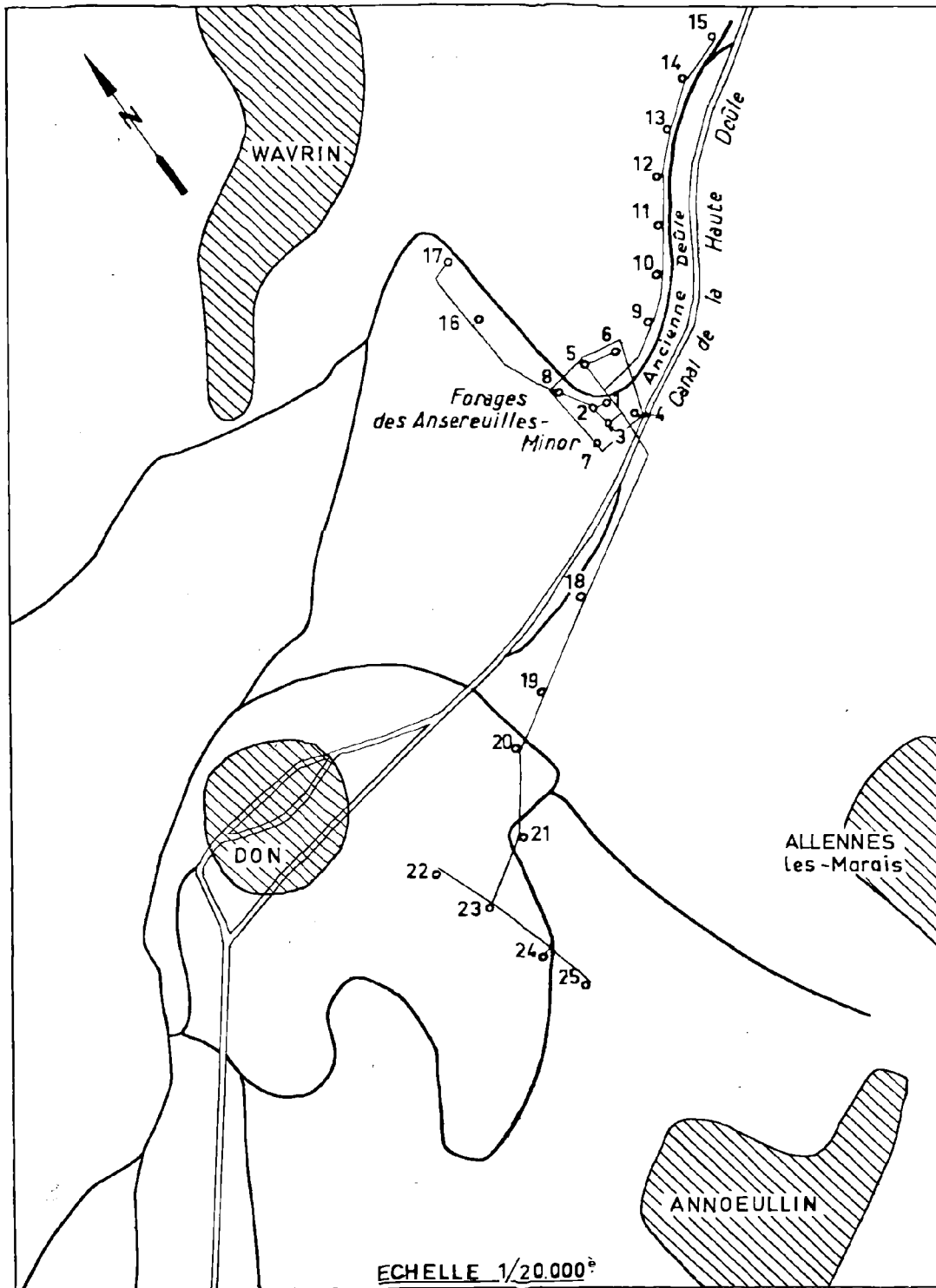


FIG. 3

Comme l'eau est ferrugineuse, il faut la traiter avant de l'envoyer dans le réseau de distribution. Dans l'usine Minor, la déferrisation est faite par aération et filtration sous pression dans des cuves métalliques fermées. La surveillance des filtres est difficile, de sorte que l'on s'aperçoit toujours trop tard des défauts qui se produisent.

Dans la nouvelle usine, l'eau des forages est pulvérisée à l'air libre, au moyen de busclures, au-dessus d'un lit de pouzzolanes ; cette aération intense permet non seulement une bonne oxygénation du fer, mais encore l'élimination de tous les gaz en excès. C'est ainsi qu'on s'est aperçu, lors de la mise en route de l'installation, que la pulvérisation dégageait de l'hydrogène sulfuré alors qu'aucune analyse n'en avait décelé.

L'eau aérée traverse ensuite des filtres à sable sur lesquels se dépose l'hydrate ferrique.

La stérilisation se fait actuellement au chlore gazeux mais se fera bientôt au bioxyde de chlore parce que ce produit présente, sur le chlore libre, deux avantages appréciables :

- 1° il ne donne aucun goût de chlorophénol au contact des tuyaux goudronnés ;
- 2° son pouvoir bactéricide persiste beaucoup

plus longtemps dans les canalisations de distribution.

Le bioxyde de chlore s'obtiendra aux Anse-reuilles par mélange de chlore gazeux et de chlorite de soude. Le chlore gazeux sera livré dans des tanks de 1.000 kg qui seront enfermés dans un « cercueil » vertical, lui-même enterré dans une cellule de béton armé. Ainsi tout danger d'émanation de chlore gazeux est écarté.

Dans le laboratoire d'analyses où sont rassemblés les chloromètres, les pompes doseuses, les colonnes de contact, seront installés les appareils de détection de radioactivité α , β et γ que fournit et contrôle le Service de la Protection Civile du Ministère de l'Intérieur.

Avec la mise en route des 7 premiers forages des Anse-reuilles Major, la S.E.N. disposera d'un débit de 125.000 m³/jour et lorsque tous les forages seront exécutés, le débit global sera de 150.000 m³ par jour. D'après les prévisions qui peuvent être actuellement faites, la consommation d'eau des 105 communes desservies par la S.E.N. semble être garantie jusqu'aux environs de 1970, mais comme il faut 5 ans de démarches et de travaux pour réaliser des installations de cette importance, il faudra, dès 1965, prendre des dispositions pour assurer la continuité de l'alimentation de la banlieue de Lille.

*

**

Les participants gagnèrent ensuite la centrale thermique d'Electricité de France aux Anse-reuilles où nous fûmes accueillis par M. KORNER, Directeur de la IV^e région d'équipement thermique. Après nous avoir brossé un tableau très documenté sur la centrale, M. KORNER nous convia à un vin d'honneur avant de nous faire visiter, avec l'aide d'un de ses adjoints, les différents services de ce remarquable complexe industriel, tant la centrale proprement dite que la station d'épuration d'eaux.

Après ces deux visites, nous fîmes route vers Saint-Amand, pour y déjeuner à l'établissement thermal. A la fin du repas, M. Jean RICOUR, Président, retraça brièvement la vie de la Société depuis la dernière réunion extraordinaire tenue le 24 mai 1959 sous la présidence de M. Charles DELATRE.

M. G. WATERLOT voulut bien ensuite exposer les particularités géologiques et hydrogéologiques du gisement thermal de Saint-Amand (1).

Après cette intéressante mise au point, nous fîmes une visite rapide de l'établissement thermal et regagnâmes Lille.

(1) Nous conseillons au lecteur de se reporter à :

MINOUX G., RICOUR J. et WATERLOT G. (1957). — Le forage effectué à l'Etablissement thermal de Saint-Amand-les-Eaux en 1954, dit Vauban 55. *Ann. Soc. Géol. du Nord*, 1955, p. 219.

TABLE DES MATIÈRES

1960

TABLE DES MATIÈRES

Activité de la Société

Election, p. 3. — Election de nouveaux membres, p. 3, p. 53, p. 67, p. 79, p. 100, p. 123, p. 161.
Séances ordinaires de la Société : 6 janvier 1960, p. 3 ; 3 février, p. 53 ; 2 mars, p. 67 ; 30 mars, p. 79 ; 4 mai, p. 91 ; 8 juin, p. 100 ; 9 novembre, p. 123 ; 7 décembre, p. 161.
Séances extraordinaires : 22 mai, p. 99.

Nécrologie

MM. DUPARQUE A. et CHATILLIEZ P., p. 123.

Excursions de la Société

Liste des excursions de la Société : p. 55.
Excursion extraordinaire : p. 99.

Distinctions honorifiques

M. le Chanoine DEPAPE, Officier de la Légion d'Honneur.
M. DELATRE Ch., lauréat du prix James Hall.

Conférences

M. HAROUN TAZIEFF. — Sur les résultats de l'expédition du Centre National de Vulcanologie de Belgique au Lac de Lave du volcan Niragondo, p. 99.

Présentation d'ouvrages

- Mlle LE MAÎTRE D. — Les Calcaires hercyniens de la bordure sud-orientale du Massif Armoricain, p. 3.
- M. CHALARD J. — Contribution à l'étude du Namurien du bassin houiller du Nord de la France, p. 123.
- M. CARETTE J. — Etude des mégaspores de l'Assise de Bruay à Bruay, p. 124.
- M. CAYEUX J. — Etude des microspores de la base de l'Assise de Bruay dans les groupes d'Auchel et de Bruay, p. 124.
- M. VIGREUX S. — Etude des mégaspores de l'assise de Bruay au groupe d'Auchel, p. 124.

Discours

- M. RICOUR J., p. 53.

Colloque

- Colloque sur les problèmes relatifs à la nappe de la craie, p. 99 et fasc. 4.

Stratigraphie

- LELIÈVRE Th. — Etude des Ammonites de l'Aalénien de deux gisements du Nord du Maroc (Prérif), p. 15.
- DUBAR G. — Supplément à l'étude des faunes aaléniennes de Krendegg et du J. Tratt (Prérif, Maroc), p. 50.
- CELET P. — Sur la découverte de quelques gisements fossilifères éocènes en Grèce méridionale (montagnes de l'Iti) et sur les faciès du Flysch dans cette région, p. 56.
- BONTE A. — Observations sur le Callovien de Lottinghen, p. 79.
- LIENHARDT G. — La faille-Pli de Bornay (Jura) : preuve de la passivité locale du socle vis-à-vis de la couverture, p. 73.
- PAQUET J. — Observations sur la partie septentrionale de la faille des Cévennes (Ardèche), p. 81.
- BONTE A. — Origines et destinée des dépôts superficiels du plateau de Verdrel (P.-de-C.), p. 91.
- BOUROZ A. — La structure du Paléozoïque du Nord de la France au Sud de la grande Faille du Midi, p. 101.
- CELET P. et DELCOURT A. — Les terrains néogènes de Loeride (Grèce orientale moyenne) : leur situation géologique et leur âge, p. 125.
- POLVÊCHE J. — Remarque sur les possibilités aquifères des « Sables de Bracheux » dans l'Aisne, p. 157.
- BONTE A. — Sur la composition du Bathonien dans le Nord et l'Est de la France, p. 161.

- DUÉE G. et PAQUET J. — Observations sur le complexe faillé des Cévennes et autres accidents (Ardèche et Gard). Essai d'interprétation profonde du sillon d'Alès, p. 169.
- MÉGNIEU Cl. — Stratigraphie et propriétés physiques du Crétacé supérieur de l'Yonne, p. 204.
- POLVÊCHE J. — Sur la stratigraphie, les propriétés physiques et chimiques des craies du Nord de la France, p. 199.
- SIGAL J. et DARDENNE M. — Corrélations dans la craie du bassin de Paris. Périmètre de Dammartin-en-Goële (Seine-et-Marne), p. 219.
- WATERLOT G. — La nappe aquifère de la craie dans la vallée de la Haute-Deûle ; structure géologique du sous-sol de la vallée, p. 329.

Pétrographie

- CELET P. — Sur la découverte de quelques gisements fossilifères éocènes en Grèce méridionale (Montagnes de l'Iti) et sur les faciès du Flysch dans cette région, p. 56.
- BONTE A. — Observations sur le Callovien de Lottinghen, p. 79.
- BONTE A. — Origine et destinée des dépôts superficiels du plateau de Verdrel (Pas-de-Calais), p. 91.
- LEVY Cl. et LIENHARDT G. — Etude diffractométrique des tonsteins du Stéphanien de Lons-le-Saunier (Jura), p. 113.
- LÉVÊQUE P. — Quelques remarques sur quelques anomalies géotechniques de la craie, p. 211.

Paléontologie

- CHALARD J. et DALINVAL A. — Découverte de *Reticuloceras metabilingue* WRIGHT et de *R. Wrighti* HUDSON au Siège de Sessevalle du Groupe de Douai des H.B.N.P.C., p. 5.
- FRIANT M. — Le *Discrotonyx henseli* HINTON, LEMMING du Pléistocène. Sa répartition dans le temps et dans l'espace, p. 11.
- LELIÈVRE Th. — Etude des Ammonites de l'Aalénien de deux gisements du Nord du Maroc (Prérief), p. 15.
- DUBAR G. — Supplément à l'étude des faunes aaléniennes de Krendegg et du J. Tratt. (Prérief, Maroc), p. 50.
- CELET P. — Sur la découverte de quelques gisements fossilifères éocènes en Grèce méridionale (Montagnes de l'Iti) et sur les faciès du Flysch dans cette région, p. 56.
- CAVELIER C. — Découverte d'un poisson dans l'Yprésien de Phalempin (Nord), p. 95.
- CELET P. et DELCOURT A. — Les terrains néogènes de Locride (Grèce orientale moyenne) : leur situation géologique et leur âge, p. 125.
- DANZÉ J. — Techniques d'observation des microspores, p. 135.
- NOVOGILOV N. et KAPEL'KA V. — Crustacés bivalves (Conchostraca) de la série Daido de l'Asie Orientale dans le Trias supérieur de Madygen (Kirghizie Occidentale), p. 177.
- SIGAL J. et DARDENNE M. — Corrélations dans la craie du bassin de Paris. Périmètre de Dammartin-en-Goële (Seine-et-Marne), p. 219.

Tectonique

- STEVENS Ch. — Les bases concrètes du mobilisme belge, p. 69.
- LIENHARDT G. — La faille-pli de Bornay (Jura) : preuve de la passivité locale du socle vis-à-vis de la couverture, p. 73.
- PAQUET J. — Observations sur la partie septentrionale de la faille des Cévennes (Ardèche), p. 81.
- BONTE A. — Origine et destinée des dépôts superficiels du plateau de Verdrel (Pas-de-Calais), p. 91.
- BOUROZ A. — La structure du paléozoïque du Nord de la France au Sud de la Grande Faille du Midi, p. 101.
- CELET P. et DELCOURT A. — Les terrains néogènes de Loeride (Grèce orientale moyenne) : leur situation géologique et leur âge, p. 125.
- DUÉE G. et PAQUET J. — Observations sur le complexe faillé des Cévennes et autres accidents (Ardèche et Gard). Essai d'interprétation profonde du sillon d'Alès, p. 169.
- WATERLOT G. — La nappe aquifère de la craie dans la vallée de la Haute-Deûle. Structure géologique du sous-sol de la vallée, p. 329.

Hydrogéologie

- CLUSEAU R. et RICOUR J. — Recherche des griffons d'alimentation des étangs de Lécuse et Ecourt-St-Quentin (P.-de-C.), par mesures thermométriques, p. 87.
- WATERLOT M. — Sur quelques aspects des eaux salées du terrain houiller du Nord de la France, p. 141.
- VANDENBERGHE A. — Obstacles à la circulation des eaux dans les terrains calcaires. Notion de limite d'un réseau karstique, p. 147.
- POLVÊCHE J. — Remarque sur les possibilités aquifères des « Sables de Bracheux » dans l'Aisne, p. 157.
- POLVÊCHE J. — Sur la stratigraphie, les propriétés physiques et chimiques des craies du Nord de la France, p. 199.
- MÉGNIEU Cl. — Stratigraphie et propriétés physiques du Crétacé supérieur de l'Yonne, p. 204.
- MÉGNIEU Cl. — Caractères hydrologiques de la craie de l'Yonne, p. 242.
- LÉVÊQUE P. — Quelques remarques sur quelques anomalies géotechniques de la craie, p. 211.
- MONTAGNE P. — Présentation d'un appareil pour mesurer l'ascension capillaire dans les calcaires, p. 215.
- INESON J. — Contribution à la discussion sur l'« Étude du réservoir », p. 217.
- INESON J. — Observations sur l'interprétation de la dynamique de l'écoulement de l'eau souterraine dans la craie d'Angleterre, p. 250.
- INESON J. — Contribution à une discussion sur le « coefficient d'infiltration », p. 282.
- INESON J. — Contribution à la discussion sur la « chimie de l'eau du Crétacé », p. 319.
- SIGAL J. et DARDENNE M. — Corrélations dans la craie du bassin de Paris. Périmètre de Dammartin-en-Goële (Seine-et-Marne), p. 219.
- MARLIÈRE R. — Quelques aspects de la circulation de l'eau dans la craie du bassin de Mons (Belgique), p. 227.
- LEROUX E., RICOUR J. et WATERLOT G. — La surface piézométrique de la nappe de la craie du Nord de la France, ses variations naturelles et artificielles. Les diverses zones de perméabilité, p. 234.
- BERKALOFF E. — Essais de détermination des transmissivités hydrauliques de la nappe de la craie, p. 241.

- BERKALOFF E. — Calcul du coefficient d'infiltration dans certaines régions du Nord de la France, p. 273.
- KARPOFF R. — Dynamique de la nappe de la craie à Aubergenville (Seine-et-Oise), en aval de Paris. p. 253.
- SANZOT E. — Pénétration naturelle et percolation forcée des eaux météoriques à travers les morts-terrains de la Hesbaye (Belgique) et variations induites du niveau de la nappe de la craie, p. 263.
- RICOUR J. — Projet de construction d'un lysimètre de vastes dimensions dans la craie du Nord de la France, p. 275.
- CASTANY G. — Etude de l'infiltration, p. 277.
- KIMPE W. — Variations du chimisme des eaux dans les morts-terrains et dans le Houiller du Limbourg du Sud (Pays-Bas), p. 297.
- KIMPE W. — Le chimisme des eaux de la craie du Limbourg néerlandais, p. 285.
- WATERLOT G. — Sur les variations du chimisme de l'eau de la craie du Nord de la France dans les zones de recouvrement tertiaire, p. 311.
- BOGOMOLOV G.V. — L'hydrogéologie des dépôts du Crétacé supérieur dans certaines régions de la partie européenne de l'U.R.S.S., p. 321.
- WATERLOT G. — La nappe aquifère de la craie dans la vallée de la Haute-Deûle. Structure géologique du sous-sol de la vallée, p. 329.
- FOURNAU M. — Le point d'eau des Ansereuilles, p. 335.

Terrains primaires

- CHALARD J. et DALINVAL A. — Découverte de *Reticuloceras metabilingue* WRIGHT et de *R. wright HUDSON* au Siège de Sessevalle du Groupe de Douai des H.B.N.P.C., p. 5.
- LÉVY Cl. et LIENHARDT G. — Etude diffractométrique des tonsteins du Stéphanien de Lons-le-Saunier (Jura), p. 113.
- KIMPE W. — Variations du chimisme des eaux dans les morts-terrains et dans le Houiller du Limbourg du Sud (Pays-Bas), p. 297.

Terrains secondaires

- LELIÈVRE Th. — Etude des Ammonites de l'Aalénien de deux gisements du Nord du Maroc (Prérief), p. 15.
- LIENHARDT G. — La faille-pli de Bornay (Jura) : preuve de la passivité locale du socle vis-à-vis de la couverture, p. 73.
- BONTE A. — Observations sur le Callovien de Lottinghen, p. 79.
- PAQUET J. — Observations sur la partie septentrionale de la faille des Cévennes (Ardèche), p. 81.
- BONTE A. — Sur la composition du Bathonien dans le Nord et l'Est de la France, p. 161.
- NOVOGILOV N. et KAPEL'KA V. — Crustacés bivalves (Conchostraca) de la série Daido de l'Asie Orientale dans le Trias supérieur de Madygen (Kirghizie Occidentale), p. 177.
- MÉGNIEU Cl. — Caractères hydrologiques de la craie de l'Yonne, p. 242.
- MÉGNIEU Cl. — Stratigraphie et propriétés physiques du Crétacé supérieur de l'Yonne, p. 204.
- SIGAL J. et DARDENNE M. — Corrélations dans la craie du bassin de Paris. Périmètre de Dammartin-en-Goële (Seine-et-Marne), p. 219.

- MARLIÈRE R. — Quelques aspects de la circulation de l'eau dans la craie du bassin de Mons (Belgique), p. 227.
- LEROUX E., RICOUR J. et WATERLOT G. — La surface piézométrique de la nappe de la craie du Nord de la France, ses variations naturelles et artificielles. Les diverses zones de perméabilité, p. 234.
- INESON J. — Observations sur l'interprétation de la dynamique de l'écoulement de l'eau souterraine dans la craie d'Angleterre, p. 250.
- KARPOFF R. — Dynamique de la nappe de la craie à Aubergenville (Seine-et-Oise), en aval de Paris, p. 253.
- SANZOT E. — Pénétration naturelle et percolation forcée des eaux météoriques à travers les morts-terrains de la Hesbaye (Belgique) et variations induites du niveau de la nappe de la craie, p. 263.
- RICOUR J. — Projet de construction d'un lysimètre de vastes dimensions dans la craie du Nord de la France, p. 275.
- KIMPE W. — Le chimisme des eaux de la craie du Limbourg néerlandais, p. 285.
- KIMPE W. — Variations du chimisme des eaux dans les morts-terrains et dans le Houiller du Limbourg du Sud (Pays-Bas), p. 297.
- WATERLOT G. — Sur les variations du chimisme de l'eau de la craie du Nord de la France dans les zones de recouvrement tertiaire, p. 311.
- BOGOMOLOV G.V. — L'hydrogéologie des dépôts du Crétacé Supérieur dans certaines régions de la partie européenne de l'U.R.S.S., p. 321.
- WATERLOT G. — La nappe aquifère de la craie dans la vallée de la Haute-Deûle. Structure géologique du sous-sol de la vallée, p. 329.

Terrains tertiaires

- CELET P. — Sur la découverte de quelques gisements fossilifères éocènes en Grèce méridionale (Montagnes de l'Iti) et sur les faciès du Flysch dans cette région, p. 56.
- CAVELIER C. — Découverte d'un poisson dans l'Yprésien de Phalempin (Nord), p. 95.
- CELET P. et DELCOURT A. — Les terrains néogènes de Loeride (Grèce orientale moyenne) : leur situation géologique et leur âge, p. 125.
- POLVÊCHE J. — Remarque sur les possibilités aquifères des « Sables de Bracheux » dans l'Aisne, p. 157.

Terrains quaternaires

- FRIANT M. — Le *Dicrostonyx henseli* HINTON, LEMMING du Pléistocène. Sa répartition dans le temps et dans l'espace, p. 11.
- BONTE A. — Origine et destinée des dépôts superficiels du plateau de Verdrel (P.-de-C.), p. 91.
- CELET P. et DELCOURT A. — Les terrains néogènes de Loeride (Grèce orientale moyenne) : leur situation géologique et leur âge, p. 125.
- WATERLOT G. — La nappe aquifère de la craie dans la vallée de la Haute-Deûle. Structure géologique du sous-sol de la vallée, p. 329.

TABLE DES PLANCHES

- Pl. 1. — *Reticuloceras* (note de MM. CHALARD et DALINVAL, p. 5).
- Pl. 2 et 3. — Microfaciès du flysch de l'Iti (note de M. P. CELET, p. 56) (1).
- Pl. 5, 6 et 7. — Ammonites de l'Aalénien (note de Mlle LELIÈVRE, p. 15).
- Pl. 8. — Extension et limites du synclinorium de Dinant (note de M. A. BOUROZ, p. 101).
- Pl. 9. — Microflores du néogène Grec (note de MM. CELET et DELCOURT, p. 125).
- Pl. 10. — Microspores (note de M. J. DANZÉ, p. 135).
- Pl. 11. — Crustacés bivalves (note de MM. NOVOJILOV et KAPÉL'KA, p. 177).
- Pl. 12. — Résultats d'analyses des eaux salées (note de M. WATERLOT, p. 141).
- Pl. 13. — Microfaunes de la craie (note de MM. SIGAL et DARDENNE, p. 219).
- Pl. 14 et 14^{bis}. — Carottages électriques du Crétacé (note de MM. SIGAL et DARDENNE, p. 219).
- Pl. 15. — Résultats numériques de l'étude de la circulation de l'eau dans le bassin de Mons (note de M. MARLIÈRE, p. 227).
- Pl. 16. — Courbes piézométriques de la nappe de la craie (note de MM. LEROUX, RICOUR et WATERLOT G., p. 234).
- Pl. 17. — Carte des débits moyens fournis par un forage de 600 mm de diamètre réalisé dans la nappe de la craie (note de MM. LEROUX, RICOUR et WATERLOT G., p. 234).
- Pl. 18. — Abaissement de la nappe de la craie du bassin de la Vanne (note de M. MÉGNIEN, p. 242).
- Pl. 19. — Coupe Nord-Sud dans la Hesbaye (note de M. SANZOT, p. 263).
- Pl. 20. — Le réseau hydrographique dans la région de Liège (note de M. SANZOT, p. 263).
- Pl. 21. — Coupe du lysimètre de Voroux-Goreux (note de M. SANZOT, p. 263).

(1) Il n'existe pas de planche 4 dans ce fascicule.

TABLE DES AUTEURS

- BERKALOFF E. — Essais de détermination des transmissivités hydrauliques de la nappe de la craie, p. 241.
- BERKALOFF E. — Calcul du coefficient d'infiltration dans certaines régions du Nord de la France, p. 273.
- BOGOMOLOV G.V. — L'hydrogéologie des dépôts du Crétacé Supérieur dans certaines régions de la partie européenne de l'U.R.S.S., p. 321.
- BONTE A. — Observations sur le Callovien de Lottinghen, p. 79.
- BONTE A. — Origine et destinée des dépôts superficiels du plateau de Verdrel (P.-de-C.), p. 91.
- BONTE A. — Sur la composition du Bathonien dans le Nord et l'Est de la France, p. 161.
- BOUROZ A. — La structure du Paléozoïque du Nord de la France au Sud de la grande Faille du Midi, p. 101.
- CASTANY G. — Etude de l'infiltration.
- CAVELIER C. — Découverte d'un poisson dans l'Yprésien de Phalempin (Nord), p. 95.
- CELET P. — Sur la découverte de quelques gisements fossilifères éocènes en Grèce méridionale (Montagnes de l'Iti) et sur les faciès du Flysch dans cette région, p. 56.
- CELET P. et DELCOURT A. — Les terrains néogènes de Locride (Grèce orientale moyenne) : leur situation géologique et leur âge, p. 125.
- CHALARD J. et DALINVAL A. — Découverte de *Reticuloceras metabilingue* WRIGHT et de *R. wrighti* HUDSON au Siège de Sessevalle du Groupe de Douai des H.B.N.P.C., p. 5.
- CLUSEAU R. et RICOUR J. — Recherche des griffons d'alimentation des étangs de Lécluse et Ecourt-St-Quentin (Pas-de-Calais), par mesures thermométriques, p. 87.
- DALINVAL A. — Voir CHALARD J.
- DANZÉ J. — Techniques d'observations des microspores, p. 135.
- DARDENNE M. — Voir SIGAL J.
- DELCOURT A. — Voir CELET P.
- DUBAR G. — Supplément à l'étude des faunes aaléniennes de Krendegg et du J. Tratt. (Prérif, Maroc), p. 50.
- DUÉE G. et PAQUET J. — Observations sur le complexe faillé des Cévennes et autres accidents (Ardèche et Gard). Essai d'interprétation profonde du sillon d'Alès, p. 169.
- FOURNAU M. — Le point d'eau des Ansereuilles, p. 335.
- FRIANT M. — Le *Dicrostonyx henseli* HINTON, LEMMING du Pléistocène. Sa répartition dans le temps et dans l'espace, p. 11.
- INESON J. — Contribution à la discussion sur l'« Etude du réservoir », p. 217.
- INESON J. — Observations sur l'interprétation de la dynamique de l'écoulement de l'eau souterraine dans la craie d'Angleterre, p. 250.
- INESON J. — Contribution à une discussion sur le coefficient d'infiltration », p. 282.
- INESON J. — Contribution à la discussion sur la « chimie de l'eau du Crétacé », p. 319.

- KARPOFF R. — Dynamique de la nappe de la craie à Aubergenville (Seine-et-Oise), en aval de Paris, p. 253.
- KIMPE W. — Le chimisme des eaux de la craie du Limbourg néerlandais, p. 285.
- KIMPE W. — Variations du chimisme des eaux dans les morts-terrains et dans le Houiller du Limbourg du Sud (Pays-Bas), p. 297.
- KAPEL'KA V. — Voir NOVOJILOV N.
- LELIEVRE Th. — Etude des Ammonites de l'Aalénien de deux gisements du Nord du Maroc (Prérif), p. 15.
- LEROUX E., RICOUR J. et WATERLOT G. — La surface piézométrique de la nappe de la craie du Nord de la France, ses variations naturelles et artificielles. Les diverses zones de perméabilité, p. 234.
- LÉVÊQUE P. — Quelques remarques sur quelques anomalies géotechniques de la craie, p. 211.
- LÉVY Cl. et LIENHARDT G. — Etude diffractométrique des tonsteins du Stéphanien de Lons-le-Saunier (Jura), p. 113.
- LIENHARDT G. — La faille-pli de Bornay (Jura) : preuve de la passivité locale du socle vis-à-vis de la couverture, p. 73.
- LIENHARDT G. — Voir LÉVY Cl.
- MARLIÈRE R. — Quelques aspects de la circulation de l'eau dans la craie du bassin de Mons (Belgique), p. 227.
- MÉGNIEU C. — Stratigraphie et propriétés physiques du Crétacé supérieur de l'Yonne, p. 204.
- MÉGNIEU C. — Caractères hydrologiques de la craie de l'Yonne, p. 242.
- MONTAGNE P. — Présentation d'un appareil pour mesurer l'ascension capillaire dans les calcaires, p. 215.
- NOVOJILOV N. et KAPEL'KA V. — Crustacés bivalves (Conchostraca) de la série Daido de l'Asie Orientale dans le Trias supérieur de Madygen (Kirghizie Occidentale), p. 177.
- PAQUET J. — Observations sur la partie septentrionale de la faille des Cévennes (Ardèche), p. 81.
- PAQUET J. — Voir DUCÉE G.
- POLVÊCHE J. — Remarque sur les possibilités aquifères des « Sables de Bracheux » dans l'Aisne, p. 157.
- POLVÊCHE J. — Sur la stratigraphie, les propriétés physiques et chimiques des craies du Nord de la France, p. 199.
- RICOUR J. — Projet de construction d'un lysimètre de vastes dimensions dans la craie du Nord de la France, p. 275.
- RICOUR J. — Voir CLUSEAU R. — LEROUX E.
- SANZOT E. — Pénétration naturelle et percolation forcée des eaux météoriques à travers les morts-terrains de la Hesbaye (Belgique) et variations induites du niveau de la nappe de la craie, p. 263.
- SIGAL J. et DARDENNE M. — Corrélations dans la craie du bassin de Paris. Périmètre de Dammartin-en-Goële (Seine-et-Marne), p. 219.
- STEVENS Ch. — Les bases concrètes du mobilisme belge, p. 69.
- VANDENBERGHE A. — Obstacles à la circulation des eaux dans les terrains calcaires. Notion de limite d'un réseau karstique, p. 147.
- WATERLOT M. — Sur quelques aspects des eaux salées du terrain houiller du Nord de la France, p. 141.
- WATERLOT G. — Voir LEROUX E.
- WATERLOT G. — Sur les variations du chimisme de l'eau de la craie du Nord de la France dans les zones de recouvrement tertiaire, p. 311.
- WATERLOT G. — La nappe aquifère de la craie dans la vallée de la Haute-Deûle ; structure géologique du sous-sol de la vallée, p. 329.

**LE CENTRE DE DOCUMENTATION
DU CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

15, Quai Anatole-France, PARIS (VII^e) — SOLférino 93-39 +

Le Centre de Documentation du C. N. R. S. publie mensuellement un « BULLETIN SIGNALÉTIQUE » en plusieurs fascicules dans lesquels figurent sous la forme de courts extraits classés par matières, tous les travaux scientifiques et techniques publiés dans le monde entier.

Quatre fascicules d'entre eux sont consacrés à la Philosophie et aux Sciences Humaines et paraissent trimestriellement.

Cette revue bibliographique, l'une des plus importantes du monde, signale, chaque année, environ 250.000 articles et mémoires. On trouvera ci-dessous le détail de ces fascicules.

Le Centre de Documentation du C. N. R. S. fournit également la reproduction sur MICRO-FILM ou sur PAPIER des articles analysés dans le « BULLETIN SIGNALÉTIQUE » ou des articles dont la référence bibliographique précise lui est fournie.

Expérimentateurs, Ingénieurs et Techniciens peuvent ainsi bénéficier, sans quitter leur laboratoire ou leur bureau, d'une documentation abondante et rapide.

Tarif des Abonnements au Bulletin Signalétique

— Année 1961 —

		PRIX	
		France	Etranger
	FASCICULES		
MENSUELS	1. MATHÉMATIQUES	30 NF	35 NF
	2. ASTRONOMIE, ASTROPHYSIQUE, PHYSIQUE DU GLOBE	40 »	45 »
	3. PHYSIQUE I. - Généralités. Physique mathématique. Mécanique. Acoustique. Optique. Chaleur. Thermodynamique	50 »	55 »
	4. PHYSIQUE II. - Electricité	40 »	45 »
	5. PHYSIQUE NUCLEAIRE. Noyaux. Particules. Energie atomique	40 »	45 »
	6. STRUCTURE DE LA MATIERE. Cristallographie. Solides. Fluides. Atomes. Ions. Molécules	40 »	45 »
	7. CHIMIE I. - Chimie générale. Chimie physique. Chimie minérale. Chimie analytique. Chimie organique	100 »	105 »
	8. CHIMIE II. - Chimie appliquée. Métallurgie	80 »	85 »
	9. SCIENCES DE L'INGENIEUR	60 »	65 »
	10. SCIENCES DE LA TERRE I. - Minéralogie. Géochimie. Pétrographie ..	25 »	30 »
	11. SCIENCES DE LA TERRE II. - Physique du Globe. Géologie. Paléontologie.	40 »	45 »
	12. BIOPHYSIQUE. BIOCHIMIE. Chimie analytique biologique	40 »	45 »
	13. SCIENCES PHARMACOLOGIQUES, TOXICOLOGIE	40 »	45 »
	14. MICROBIOLOGIE. VIRUS. BACTERIOPHAGES, IMMUNOLOGIE, GENÉTIQUE	40 »	45 »
	15. PATHOLOGIE GÉNÉRALE ET EXPÉRIMENTALE	60 »	65 »
	16. BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE ANIMALES	100 »	105 »
	17. BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE VÉGÉTALES	50 »	55 »
	TRIMESTRIELS	18. SCIENCES AGRICOLES, ZOOTECHNIE, PHYTHIATRIE ET PHYTO-PHARMACIE, ALIMENTS ET INDUSTRIES ALIMENTAIRES	60 »
19. PHILOSOPHIE. SCIENCES HUMAINES. Philosophie. Sciences religieuses. Archéologie et Histoire de l'Art. Psychologie. Pédagogie. Sociologie. Sciences du Langage. Histoire des Sciences et des Techniques		80 »	85 »
20. PSYCHOLOGIE. PÉDAGOGIE (1)		30 »	35 »
21. SOCIOLOGIE ET SCIENCES DU LANGAGE (1)		30 »	35 »
22. HISTOIRE DES SCIENCES ET DES TECHNIQUES (1)		20 »	25 »
	Abonnement pour les fascicules groupés 1 à 11	250 »	290 »
	Abonnement pour les fascicules groupés 12 à 18	250 »	290 »

(1) Les fascicules spécialisés, numérotés 20 - 21 - 22 sont regroupés dans le fascicule 19.