

ÉTUDE SÉDIMENTOLOGIQUE  
DES SABLES TERTIAIRES  
DE LA RÉGION DE BONCELLES (\*)  
(LIÈGE)

par CHR. SIERAKOWSKI (\*\*)

(7 figures dans le texte)

RÉSUMÉ

L'auteur a basé principalement son étude sur l'analyse granulométrique et l'examen du contenu en minéraux lourds des sables. En plus des données granulométriques qualitatives, il examine de manière critique les relations entre les dimensions des grains de sables d'une part et la taille et la densité des minéraux lourds d'autre part.

Les résultats obtenus lui permettent de subdiviser les sables de Boncelles en quatre niveaux séparés par des couches graveleuses et glauconifères : sables inférieurs, sables moyens A, sables moyens B et sables supérieurs.

Les corrélations entre les différentes coupes permettent de reconstituer le cadre paléogéographique local caractérisé par une transgression marine irrégulière vers le Sud avec présence de courants côtiers érodant profondément certains secteurs surtout lors du dépôt des sables moyens.

ABSTRACT

The author has based his study principally on the granulometric analysis of the sands and an examination of their heavy minerals. In addition to the qualitative mineralogical data, the relationship between the dimensions of the sand grains and the size and density of the heavy minerals has been critically examined.

On the basis of the results obtained, the Boncelles sands can be subdivided into four levels separated by gravelly and glauconitic beds : Lower Sands, Middle Sands A, Middle Sands B and Upper Sands.

By correlating the different sections the local palaeogeographic framework can be reconstructed. It was characterized by an irregular marine transgression towards the south accompanied by coastal currents which deeply eroded certain sectors chiefly at the time of the deposition of the Middle Sands.

INTRODUCTION

Le lambeau de sables tertiaires de Boncelles recouvre un plateau d'altitude maximum 270 m, formant un promontoire entre les vallées de la Meuse et de l'Ourthe, et entaillé par les affluents des deux rivières. Sa superficie est de 3,4 km<sup>2</sup>, avec une extension N-S de 6 km et une largeur E-W variant de 0,3 à 2,5 km.

(\*) Communication présentée durant la séance du 5 mai 1970; manuscrit déposé le 8 juin 1970.

(\*\*) L.N.T.B.P., Service Géologie, rue Kaddour Rahim, Hussein-Dey (Alger), Algérie.

La limite des sables tracée sur la fig. 1 tient compte des données nouvelles acquises par les travaux de reconnaissance géologique dans le domaine universitaire du Sart Tilman [CALEMBERT L. 1965, 1966, 1967, 1968].

Les sables tertiaires reposent sur le socle primaire formé de schistes et de grès emsiens affectés de nombreux plis. Les courbes isohypses du sommet du substratum primaire (fig. 1) montrent une pente générale vers le NNW, avec, dans le secteur

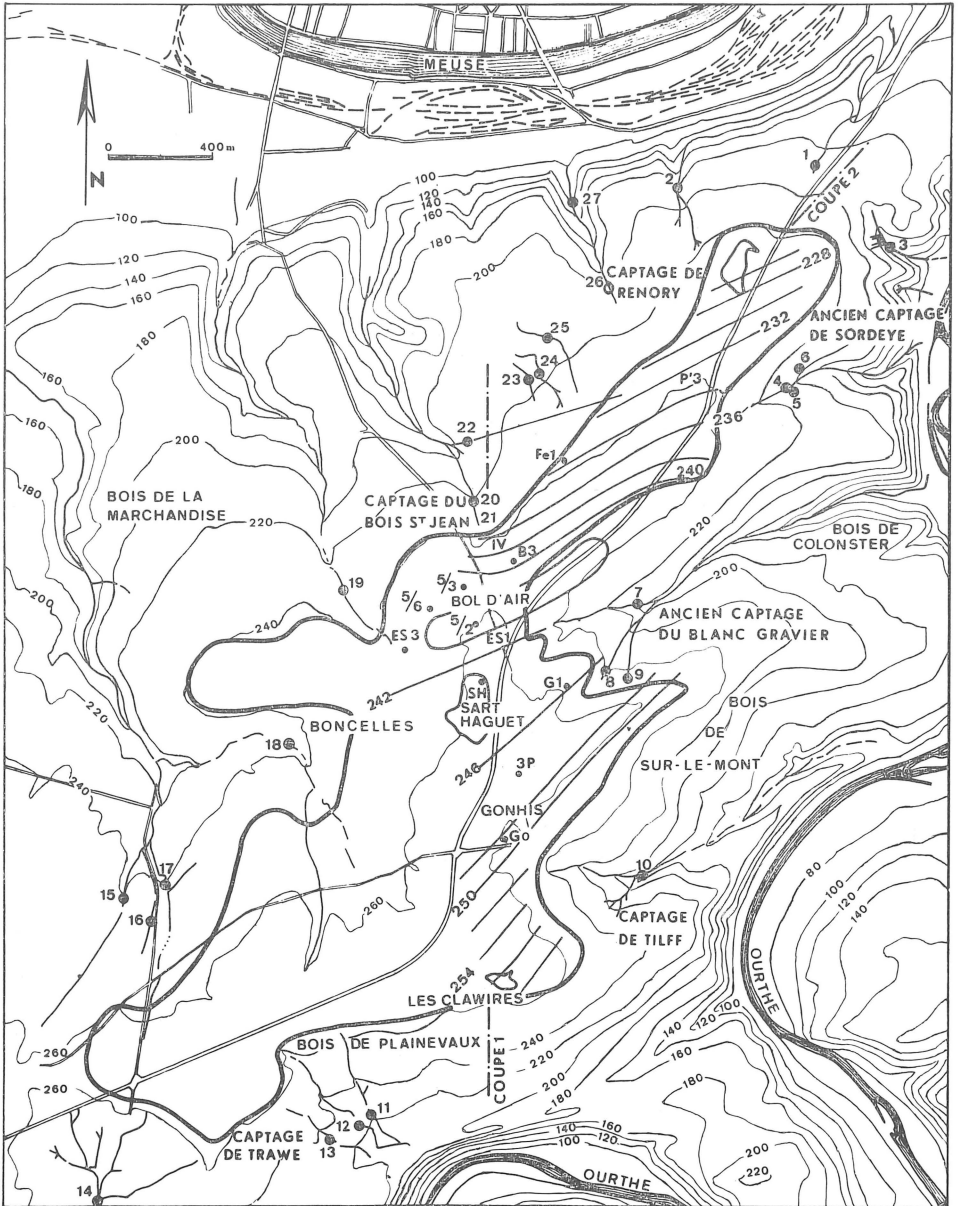


Fig. 1. — Plan de situation.

du Bol d'Air, une allure en dôme située dans l'axe d'un anticlinal. Immédiatement au Sud de ce haut-fond, le sondage ES 1 (GRAULICH, J. M. 1966) a révélé la présence de schistes rouges altérés. Cette morphologie particulière résulte sans doute de l'érosion différentielle des roches emsiennes.

Une coupe Nord-Sud à travers le lambeau (fig. 2) montre l'allure du substratum. Les hauteurs étant fortement exagérées, une coupe à l'échelle réelle figure au bas du document.

Sur le bed rock primaire, on trouve sporadiquement des blocs et des galets de silex provenant soit de la dissolution des tuffeaux du Maastrichtien, soit de leur remaniement dans le conglomérat de base des sables.

Les sables dont la puissance atteint 21 m au Bol d'Air, sont ravinés à leur sommet par des cailloux d'origine fluviatile appartenant à des terrasses différentes [CALEMBERT L. et PEL J. 1966]. Les dépôts fluviatiles sont eux-mêmes surmontés d'une couverture de loess quaternaires.

Les sables du lambeau de Boncelles ont fait l'objet de maintes études dont L. CALEMBERT (1954) a fait la synthèse. Rappelons brièvement que :

— A. RUTOT (1907) y a découvert une faune marine dont l'espèce la plus abondante, *Cytherea (Meretrix) beyrichi Semper*, date les sables de Boncelles de l'Oligocène supérieur (Chattien). Si par la suite des réserves ont été émises sur leur appartenance à l'étage Chattien, la faune ne laisse aucun doute quant à l'âge Oligocène.

— P. FOURMARIER (1931) insiste sur l'importance stratigraphique des niveaux graveleux interstratifiés dans les sables et tend à les considérer comme une limite entre deux assises distinctes : Tongrien et Chattien.

— P. MACAR (1934, p. B 22) sur la base d'analyses granulométriques de part et d'autre d'une couche graveleuse de glauconie à Boncelles, attribue à ce niveau une valeur stratigraphique, mais il constate que les corrélations entre les différentes coupes du lambeau sur des bases granulométriques s'avèrent extrêmement difficiles (1934, p. B 230).

— J. ANTEN (1919) montre que les éléments denses des sables contiennent des minéraux paramétamorphiques d'origine lointaine, véhiculés par des courants côtiers des mers tertiaires [DE MAGNÉE I. et MACAR P., 1936].

— M. THIBEAU (1960) réalise une étude quantitative des minéraux lourds des sables et tente d'établir sur cette base une stratigraphie de ceux-ci.

Les chercheurs précédents se sont heurtés à des nombreuses difficultés qui proviennent de plusieurs facteurs :

a. Les corrélations basées sur des similitudes lithologiques (couleur, structure) sont fort sujettes à caution, car elles indiquent, plutôt qu'un synchronisme, des conditions semblables de dépôt.

b. L'analyse granulométrique employée seule est plutôt un indicateur de faciès.

c. Le manque de données suffisamment précises sur la morphologie du bed rock a souvent donné lieu à des interprétations inexactes.

d. L'analyse exclusive des minéraux lourds doit être maniée avec prudence comme on le verra dans la suite.

C'est pourquoi ce travail est basé sur la synthèse de tous les critères recueillis

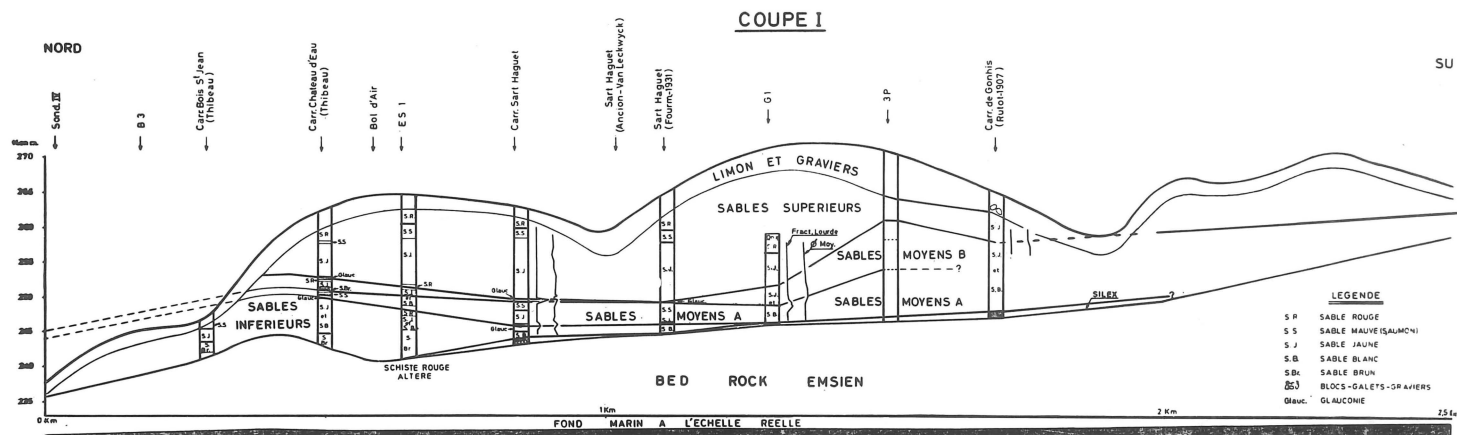


Fig. 2. — Coupe géologique N-S dans les sables tertiaires.

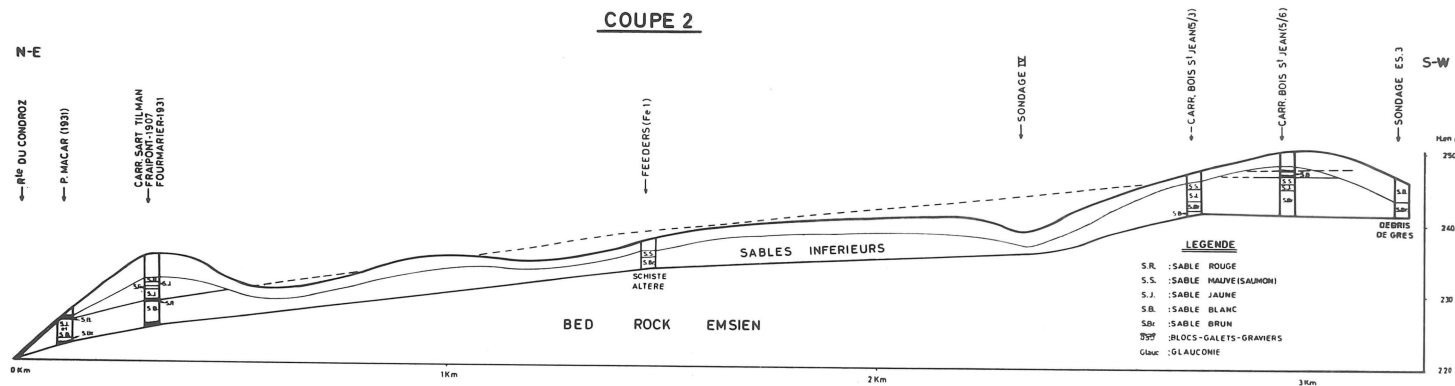


Fig. 3. — Coupe N-E / S-W.

et principalement sur la confrontation systématique des analyses granulométriques et des minéraux denses. Grâce à un échantillonnage serré (tous les 30 cm) de la seule coupe encore accessible à ce jour (carrière du Sart Haguët), nous avons défini une échelle stratigraphique de référence à laquelle nous avons raccordé les autres coupes et sondages étudiés (fig. 1) :

- au Sud : sondages G 1, 3 P et la coupe des Gonhis (Go),
- au Nord : coupes Fe 1 et P' 3.

A partir des 6 coupes réparties dans le lambeau, nous avons tenté de relier entre elles les coupes antérieurement étudiées et actuellement inaccessibles.

Le plan est le suivant :

1. Méthodes d'études utilisées
2. Analyses des minéraux denses
3. Étude des différentes coupes
4. Corrélations sur l'ensemble du lambeau
5. Problème de la glauconie
6. Conclusions

## I. MÉTHODES D'ÉTUDES UTILISÉES

### 1. *Minéraux denses*

Le traitement et l'étude pétrographique ont porté sur quelque 140 échantillons.

a. — Préparation de laboratoire.

Les échantillons sont lavés pour éliminer la fraction argileuse, traités à l'acide chlorhydrique à chaud pour éliminer la limonite et l'enduit argileux qui enrobe les grains. Les minéraux denses sont séparés au moyen de bromoforme ( $d = 2,88$ ).

b. — Analyse pondérale.

L'échantillon brut (fraction lourde + fraction légère) est pesé après séchage et avant la séparation au bromoforme. La fraction lourde est pesée après séparation. La teneur globale en minéraux lourds est exprimée en ppm.

c. — Étude pétrographique.

Les minéraux lourds sont montés sur lame et comptés selon la méthode hollandaise [VATAN, 1958].

Au sujet de la précision de ce comptage, DRYDEN [MILMER M. B., 1962] a calculé qu'il faut compter 4.549 grains pour arriver à une précision de 1 % sur la fréquence d'un minéral représentant 50 % de la fraction lourde totale. Pour un comptage normal (200 grains), la précision est de 5 %. Pour cette étude, on a compté 200 à 300 grains suivant l'abondance du matériel lourd.

### 2. *Granulométrie*

L'analyse granulométrique a été faite par tamisage en utilisant la série des tamis Tyler.

Pour le calcul des indices (diamètre moyen, classement, asymétrie), on a utilisé

les méthodes graphiques proposées par A. BIETLOT (1940), sur base des courbes cumulatives.

## II. ANALYSE DES MINÉRAUX DENSES

### a. *Analyse qualitative*

Un fait important à noter est la présence dans toutes les coupes et de la base au sommet, du même cortège de minéraux :

#### 1. *Minéraux ubiquistes* ;

— *Tourmaline* (T) : brune, verte, noire avec pléochroïsme rose, bleue, parfois opaque mais donnant de bonnes figures d'interférence. Elle se présente sous des formes diverses : anguleuse et fragmentée, roulée, idiomorphe ou hypidiomorphe, ce dernier type étant toujours très peu abondant.

Certaines lames présentant une extrême abondance en tourmaline anguleuse, il a paru intéressant de préciser la fréquence de celle-ci par rapport aux autres types.

— *Zircon* (Z) : le plus souvent roulé, mais la forme idiomorphe est toujours représentée.

— *Rutile* (R) : rouge ou jaune, le plus souvent roulé, quelques macles en genou.

#### 2. *Minéraux paramétamorphiques* ;

— *Disthène* (D) : en grands cristaux prismatiques, rarement roulés, parfois de très grande dimension (exceptionnellement 1,5 mm de longueur).

— *Staurotide* (St) : le plus souvent en grains cassés, en dents de scie, de toutes dimensions.

— *Sillimanite* (Sm) : longs cristaux prismatiques ou fibreux (variété Fibrolite).

— *Andalousite* (Ad) : généralement prismatique, avec pléochroïsme rose, parfois non-pléochroïque.

Deux minéraux accessoires, l'*Anatase* et le *Corindon*, se retrouvent constamment avec des fréquences de l'ordre de 0,1 %. Ils ne sont pas représentés dans les tableaux.

### b. *Analyse quantitative*

La fréquence des minéraux lourds est exprimée par rapport aux minéraux *transparents* seuls.

En examinant les logs de la fig. 4, on constate des fluctuations nettes dans les courbes de fréquence des deux minéraux les plus abondants : Tourmaline (T) et Zircon (Z). Les pourcentages varient, en effet, parfois de 30 % d'un échantillon au suivant, variation excessive eu égard à la précision des comptages (5 %). Mais il y a lieu de noter que la fréquence d'un minéral donné dans une série stratigraphique est liée principalement à deux facteurs :

#### 1. *Taille du grain.*

Le Zircon, dans tous les échantillons étudiés, a une taille comprise entre 90 et 150 microns, c'est-à-dire qu'il appartient à la fraction fine du sédiment.

# CARRIERE DU SART HAGUET (SH)

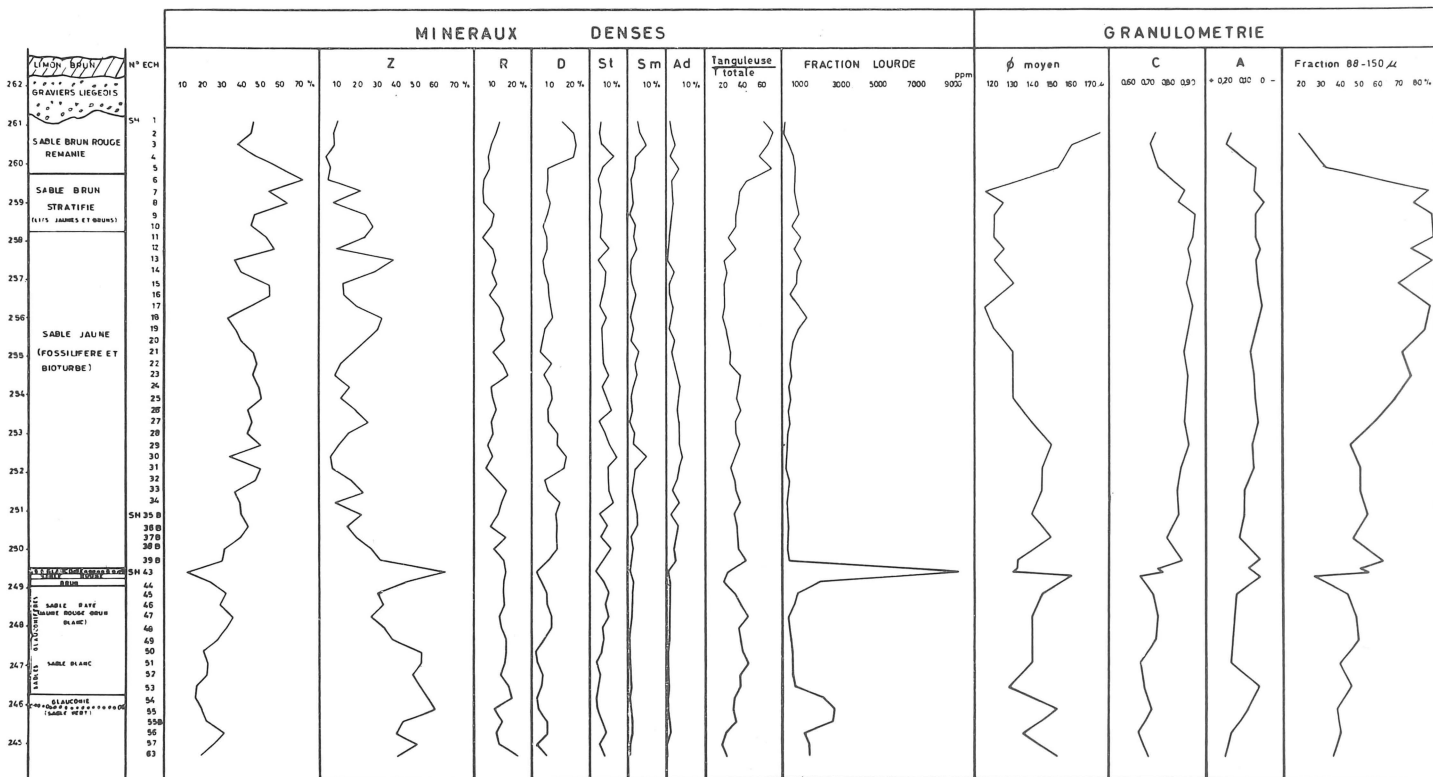


Fig. 4. — Carrière du Sart Haguët.

Dès lors, il est normal qu'une variation de la granulométrie entraîne une variation dans la fréquence du zircon. Sur la planche 1, on constate que chaque augmentation du pourcentage de zircon correspond à une augmentation de la fraction fine (88 — 150 microns).

Le phénomène inverse se produit pour le disthène qui se présente au contraire en grandes plaques : quand la fraction fine augmente, le pourcentage de disthène diminue.

L'allure plus régulière du log de la tourmaline s'explique par le fait qu'elle se rencontre dans toutes les classes granulométriques.

## 2. *Densité du minéral.*

Les densités des minéraux rencontrés sont, d'après PETITJOHN (1939) :

Andalousite :	3,18
Tourmaline :	3,2
Sillimanite :	3,23
Staurotide :	3,6
Disthène :	3,6
Rutile :	4,2
Zircon :	4,7
Ilménite :	4,8

Lorsqu'ils sont transportés par un courant constant, les minéraux de même dimension se répartissent linéairement par ordre de densité décroissant à partir de leur source (POMEROL, 1968); le fait a été observé dans de nombreux sédiments actuels (POMEROL, 1968; BRUCKNER et MORGAN, 1964).

Si la compétence du courant (ou la turbulence) augmente, la fréquence relative des minéraux plus denses (Ilménite, Zircon) augmente à cause du vannage des minéraux plus légers.

On ne peut donc établir de corrélation sur la seule base des fréquences de minéraux denses : c'est l'allure des graphiques y compris les courbes granulométriques qui permet de raccorder les coupes entre elles.

## III. ÉTUDE DES DIFFÉRENTES COUPES

### A. *Carrière du Sart Haguet (SH)*

Les résultats de toutes les analyses sont rassemblés dans la fig. 4 sous forme de logs. A l'extrémité gauche, on trouve la cote altimétrique, la colonne lithologique et les numéros des échantillons.

#### 1. *Description lithologique.*

L'épaisseur de la couverture de limon et de graviers liégeois varie et peut atteindre 3 m. Les graviers liégeois ravinant les dépôts de sables sous-jacents, les échantillons ont été prélevés à l'endroit où les sables présentent le maximum de puissance.

Sous les graviers, on observe de haut en bas :

a) sable brun-jaune, panaché et très remanié, contenant de petites lentilles d'argile blanche; ce sable se trouve parfois en lentille au sein des graviers liégeois (1,50 m) ;



b) alternance de sable brun et jaune, bien stratifié (1,50 m) ;

c) sable jaune, avec de fines passées brunâtres (9 m).

C'est dans cette série qu'ont été trouvés les fossiles attribués au Chattien (RUTOT, 1907).

MM. BOURGUIGNON et THOREZ, au cours d'un travail de terrain auquel ils ont bien voulu m'associer, ont noté que ce sable jaune (c) présente sur toute sa puissance de 9 m une série de *rythmes* de 30 à 50 cm d'épaisseur.

Le *sommet* d'un rythme est remaniée et ne montre plus de stratification bien marquée. Il contient des indices de bioturbation intense. On y trouve d'abondantes tubulations identiques à celles décrites par M. GULINCK (1963) dans les sablières d'Oret, et qui sont des terriers de crustacés. D'autres tubulations, beaucoup plus fines, proviennent de terriers de vers.

La *base* d'un rythme offre tantôt de fines straticules, tantôt des structures entrecroisées, coïncidant avec la disparition des traces d'organismes fousseurs. Elles s'orientent E-W.

Le passage d'un rythme au suivant est parfois très net.

Cette structure correspond sans nul doute à une succession de phases de sédimentation lente, avec prolifération des organismes fousseurs, suivies de phases de sédimentation plus rapide entraînant la disparition de ceux-ci.

d) les sables jaunes reposent sur une double couche de sable grossier rouge glauconieux contenant des gravillons de quartz roulés; ces deux couches sont distantes de 10 à 20 cm.

e) sous le niveau de glauconie se succèdent une série de sables saumon, jaunes, rouges et blancs, finement lités et passant graduellement à du sable blanc massif (3 m). La série est légèrement glauconifère.

f) second niveau de cailloux de quartz roulés, enrobés dans un sable vert glauconieux, panaché de rouge (épaisseur visible : 1 m).

## 2. Minéraux denses.

De la base au sommet, on observe : une augmentation de la tourmaline, une tendance à la diminution du zircon, avec deux anomalies coïncidant avec les couches graveleuses à glauconie, et avec l'augmentation du matériel lourd, une légère tendance à la diminution du rutile, une augmentation des paramétamorphiques.

Les deux anomalies révèlent manifestement deux périodes de turbulence et confirment dès à présent l'importance stratigraphique accordée aux niveaux de glauconie [FOURMARIER P., 1931, MACAR P., 1934].

## 3. Granulométrie.

— *Diamètre moyen* ( $\varnothing$  mm) :

Le diamètre moyen, relativement élevé (170 microns) dans le niveau inférieur de glauconie, diminue immédiatement au-dessus de celui-ci pour rester constant jusqu'au niveau de glauconie dédoublé, où le sable redevient grossier.

Immédiatement au-dessus de ce niveau, le diamètre moyen diminue pour se stabiliser autour de 120 microns.

Les sables remaniés du sommet sont très grossiers.

— *Classement (C)* :

Le classement s'améliore progressivement vers le haut, avec une rupture au niveau supérieur de glauconie. Les sables jaunes sont extrêmement bien calibrés.

Au sommet, le sable rouge est très mal classé.

— *Asymétrie (A)* :

L'asymétrie, toujours positive, diminue progressivement vers le haut.

Les courbes cumulatives le montrent bien : brisées dans les éch. SH 63 et SH 31, elles deviennent parfaitement droites dans les sables jaunes (SH 29 à SH 8).

Au sommet, l'asymétrie provient de l'abondance du matériel argileux dans les sables remaniés.

Les deux anomalies relatives aux niveaux de glauconie, où l'asymétrie diminue, sont dues à la présence simultanée de matériel grossier et argileux.

#### 4. *Interprétation.*

Tous les profils verticaux montrent que de la base au sommet des sables, les dépôts correspondent à une distance croissante du rivage, ce qui entraîne :

1) une diminution du grain moyen.

2) une diminution de l'asymétrie (toujours positive) : cette allure correspond bien aux résultats des recherches de P. MACAR (1934, p. B 162). Du rivage vers le large, l'indice d'asymétrie est négatif sur la plage, puis positif et diminuant de la ligne du rivage vers le large.

3) une amélioration du classement : les sables se déposent d'abord dans la zone d'influence des marées (milieu instable), puis plus loin du rivage, dans un milieu plus calme.

4) une diminution des minéraux les plus denses (zircon et dans une moindre mesure, rutile).

5) une augmentation des minéraux les moins denses (tourmaline et éléments paramétamorphiques).

Nos observations sont confirmées en tous points par les résultats des recherches effectuées au large des Iles Hawaï (SHEPARD, 1964), dans le Golfe de Guinée (BRUCKNER et MORGAN, 1964) et dans le Golfe de Naples (MULLER, 1964).

#### NIVEAUX SINGULIERS.

Dans tous les profils, on observe deux niveaux singuliers, correspondant à des couches graveleuses discontinues :

— à la cote 246 dans les sables verts.

— à la cote 249,5 dans la couche de glauconie dédoublée.

Les anomalies observées indiquent chaque fois des faciès de turbulence intense (effet de vannage) :

— augmentation anormale du zircon et de la fraction lourde.

— augmentation du diamètre moyen.

— diminution de l'asymétrie par suite de la présence simultanée de matériel grossier et argileux.

B. — *Sondage de l'Astrophysique (G1)*

Le sondage (fig. 5) a recoupé de haut en bas des sables jaunes, un horizon rougeâtre à la cote 251, puis un sable glauconifère jusqu'au bed rock (cote 246) sur lequel on a signalé une couche de glauconie.

Les allures générales des courbes présentent les mêmes tendances que dans la coupe précédente, avec, dans le sable glauconifère, un niveau singulier à la cote 248. En superposant soigneusement les fig. 4 et 5 on arrive aux constatations suivantes, reprises sur la figure 2 :

— la glauconie reposant sur le bed rock correspond à la couche inférieure de glauconie du Sart Haguët (f). Les sables inférieures n'existent donc pas dans le sondage de l'Astrophysique.

— le niveau singulier de la cote 248 correspond à la partie inférieure de la double couche de glauconie du Sart Haguët (d); elle présente d'ailleurs les mêmes caractéristiques : augmentation du zircon et de la fraction lourde, symétrie anormale due à la présence de gravillons.

— la couche rouge de la cote 251 correspond à la partie supérieure de la double couche de glauconie du Sart Haguët (d).

Les sables moyens B qui ont 20 cm d'épaisseur au Sart Haguët atteignent ici 2,50 m.

C. — *Sondage du Golf (3P)*

Il est situé en bordure du terrain de golf, entre la coupe des Gonhis et le sondage de l'Astrophysique (fig. 1).

Les allures des courbes (fig. 6) montrent les mêmes tendances que celles du Sart Haguët et de l'Astrophysique. Le sondage s'en distingue cependant par le relèvement de la couche de glauconie qui passe ici à la cote 261. On trouve en outre une petite couche très ténue de glauconie à la cote 258,5.

Une seule anomalie marque les diagrammes à la cote 254 et correspond à l'anomalie de la cote 248 de l'Astrophysique, c'est-à-dire à la limite supérieure des sables moyens A : augmentation de zircon, de minéraux lourds et du grain moyen.

Les courbes granulométriques montrent ensuite une remarquable constance du diamètre moyen, une amélioration du classement et de la symétrie, mais sans atteindre le degré de classement et de symétrie des sables supérieurs de l'Astrophysique et du Sart Haguët. Le sondage du Golf recoupe donc, à la cote 262, la base des sables supérieurs. La couche de glauconie de la cote 261 correspond à la limite des sables moyens B.

La fig. 2 montre l'épaississement des sables moyens à cet endroit. L'augmentation de puissance des sables moyens et la constance des courbes granulométriques témoignent de la stabilité des conditions de dépôt dans la région du Golf.

D. — *Coupe des Gonhis (Go)*

Actuellement 5 m de sables sont visibles : les logs sont reportés sur la fig. 7.

Par superposition des figures 5 et 7, on voit que la limite des sables blancs et jaunes correspond exactement à la limite supérieure des sables moyens B, avec rupture très caractéristique des logs granulométriques.

## SONDAGE DE L'ASTROPHYSIQUE (G1)

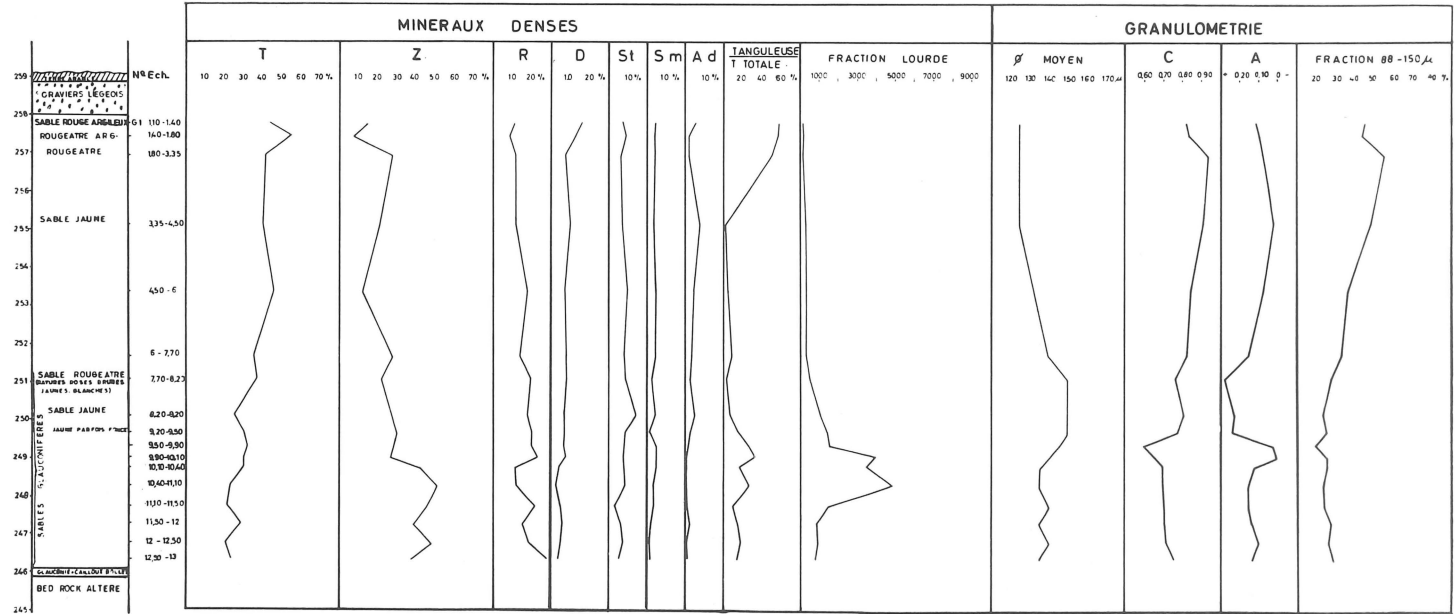


Fig. 5. — Sondage de l'Astrophysique.

## SONDAGE DU GOLF (3P)

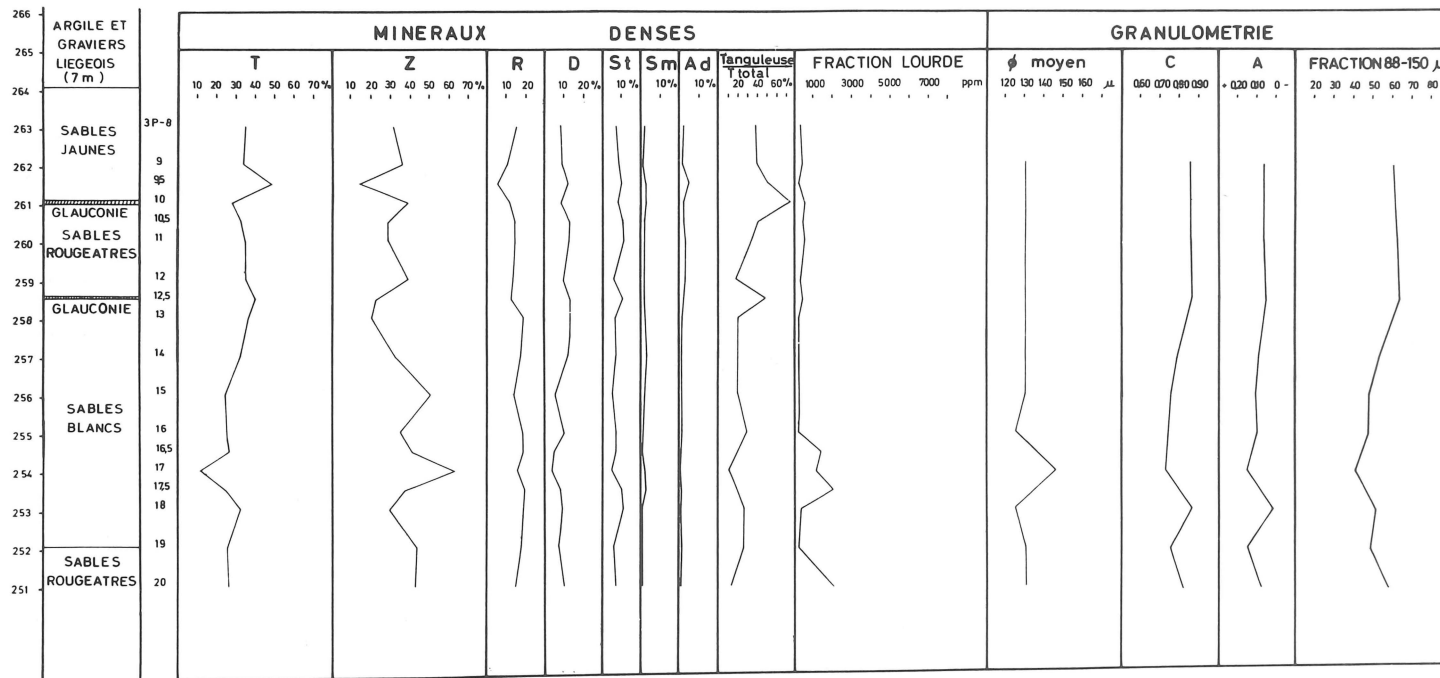
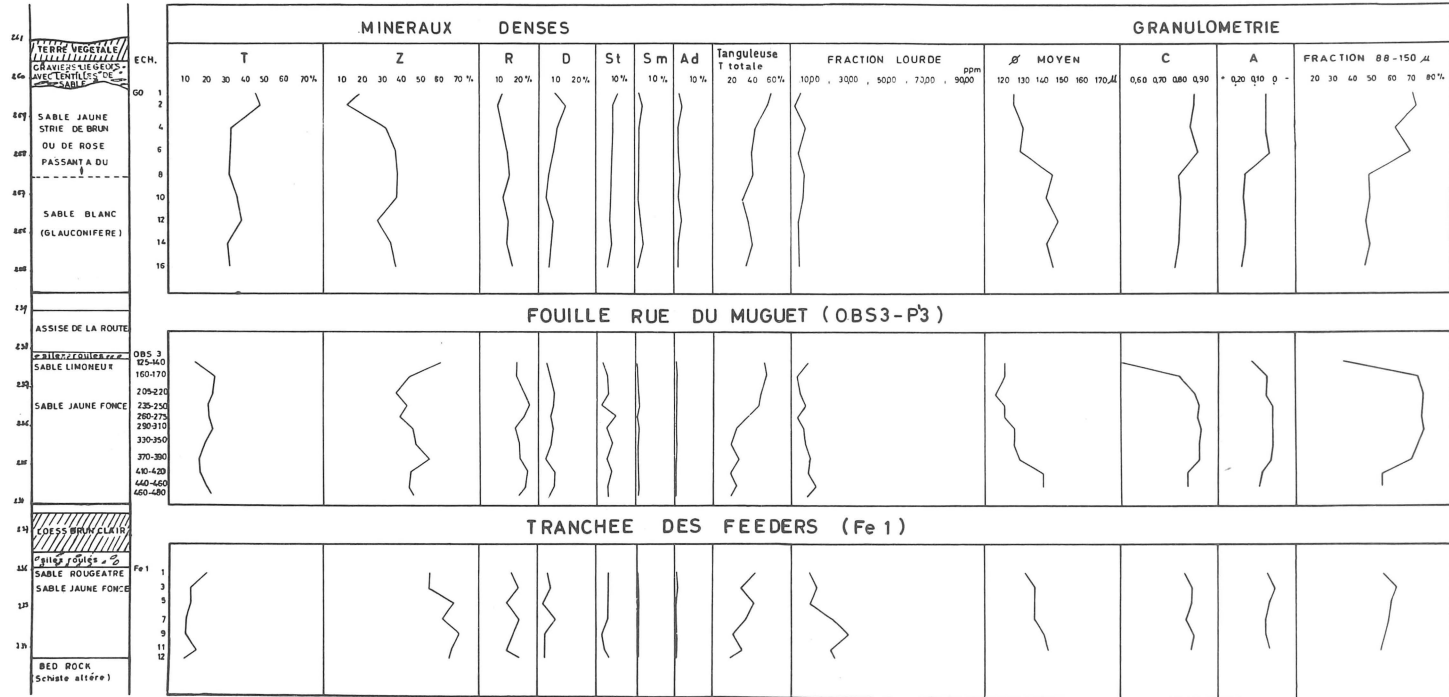


Fig. 6. — Sondage du Golf.

ANC. CARRIERE DES GONHIS (GO)



CHR. SIERAKOWSKI

Fig. 7. — Gonhis, P'3, Fe1.

La description lithologique de la carrière des Clawires par P. FOURMARIER (1931) permet d'étendre cette limite jusqu'à l'extrémité méridionale du lambeau.

#### E. — Coupe P' 3

Les échantillons étudiés ont été prélevés lors d'une fouille à proximité de l'église du Sart Tilman, au nord du lambeau (voir fig. 1).

Les résultats des analyses sont reportés sur la figure 7. Il s'agit de la base des formations du Sart Haguet : sables inférieurs.

Les logs granulométriques montrent les mêmes allures transgressives, sauf la partie remaniée au sommet.

#### F. — Coupe des Feeders (Fe 1)

Les échantillons proviennent d'une tranchée réalisée pour les conduites de chaleur du Sart Tilman (Feeders).

La coupe se situe à peu près sur la même courbe isohypse que la précédente mais elle atteint le bed rock. Elle intéresse la base des sables inférieurs et constitue le prolongement vers le bas de la coupe P' 3. Les courbes montrent les mêmes tendances générales (fig. 7).

### IV. CORRÉLATIONS SUR L'ENSEMBLE DU LAMBEAU

Sur les fig. 2 et 3 sont reportées les colonnes lithologiques des coupes décrites ci-dessus ainsi que celles étudiées dans le passé. Les notations des coupes et sondages sont celles des rapports inédits de L. CALEMBERT (1967, 1968).

Les *sables inférieurs* se biseautent à la base du sondage G 1.

Les *sables moyens A* augmentent d'épaisseur dans la région du Golf et correspondent au début d'un dépôt plus important à cet endroit et qui connaîtra son plein développement dans la série suivante.

Les *sables moyens B* correspondent au Sart Haguet à un niveau de concentration stratigraphique : de 7 m dans la région du Golf, leur puissance se réduit à 10 cm. Ce fait pourrait s'expliquer par la présence d'une intense turbulence dans la zone du Sart Haguet. L'extraordinaire concentration en minéraux lourds (avec prépondérance de zircon et d'ilménite) d'une part, et l'abondance d'éléments roulés (le disthène roulé est très rare dans les autres lames) d'autre part, corroborent cette hypothèse. La turbulence peut être due à l'action d'un courant côtier tandis que son bord sud est propice au dépôt (zone du Golf).

Les *sables supérieurs* ont une puissance variable suivant le niveau atteint par l'érosion.

### V. PROBLÈME DE LA GLAUCONIE

La glauconie se présente sous la forme de globules très caractéristiques, mais aussi sous forme d'enduit couvrant les grains de quartz. Elle appartient surtout à la fraction fine du sédiment (65-88 microns).

Les globules de glauconie sont verts; d'autres globules de diverses couleurs intermédiaires entre le vert franc et le brun constituent sans doute divers stades

d'altération de la glauconie en limonite. Elle est toujours associée à un niveau de cailloux enrobés d'argile rouge.

Le rapport  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  assez élevé du cristal de glauconie témoigne en général de conditions assez oxydantes (MILLOT, 1964).

Les niveaux de glauconie marquent généralement des zones de discontinuité stratigraphique (MILNER, 1962). On les trouve souvent dans des milieux à sédimentation nulle (KUENEN, 1964). D'après LOMBARD (1956), les zones de glauconie correspondent dans la plupart des cas à des niveaux de condensation stratigraphique.

C'est exactement les conditions dans lesquelles on la trouve à Bonnelles :

— la phase de turbulence marquée par la zone de discontinuité stratigraphique (dépôt de matériel grossier et de minéraux lourds) correspond à des conditions très oxydantes.

— après la phase turbulente, la transgression se poursuit et la hauteur de la lame d'eau augmente : la phase d'accalmie permet la décantation de l'argile rouge et la formation de la glauconie.

Le même phénomène a été constaté par TAKAHASHI (1939) et est confirmé par BORCHERT (1965). Le passage d'un milieu oxydant à un milieu plus réducteur semble être la condition idéale pour la formation de la glauconie.

Ceci est observable dans le Crétacé du N-E de Liège, au contact Campanien-Maastrichtien (L. CALEMBERT, 1956).

Le silicium nécessaire à la formation de la glauconie provient de fragments d'organismes siliceux sous forme d'opale, comme l'a révélé l'examen en lame mince, et de spicule d'éponges, nombreux dans les sables étudiés. Rappelons que ces grains-d'opale ont fait penser à un remaniement fluvial des sables (ALEXANDRE, 1957).

## VI. CONCLUSIONS

### RECONSTITUTION DU CADRE SÉDIMENTAIRE

Les sables du lambeau de Bonnelles présentent tous les caractères d'une série transgressive sur le plateau continental. La transgression de la mer vers le Sud est irrégulière. Elle comporte trois périodes de turbulence, qui se marquent dans les profils par des anomalies et sur le terrain par la présence de cailloux et des niveaux singuliers à glauconie. Au cours du dépôt des sables *inférieurs et moyens A*, le régime régulier des courants tend à établir le profil d'équilibre marin par le comblement de la fosse du Bol d'Air. Au début du dépôt des sables *moyens B*, les conditions paléogéographiques ont du changer et ont modifié la distribution des courants marins. Cela explique le niveau de concentration stratigraphique dans la zone du Sart Haguët qui correspondrait à une zone de courant côtier ou à un chenal de marée. Pendant le dépôt des sables *supérieurs*, l'influence du courant perturbateur diminue peu à peu et le régime se stabilise, la mer continuant à transgresser régulièrement vers le Sud.

*Laboratoires de Géologie  
de la Faculté des Sciences Appliquées  
de l'Université de Liège*



## BIBLIOGRAPHIE

- MACAR, P., ALEXANDRE, J., 1957. — Compte rendu de la session extraordinaire de la Soc. Géol. de Belgique et de la Soc. Belge de Géol., de Paléontol. et d'Hydrol. *Ann. Soc. Géol. de Belgique*, T. 81, pp. 1-108, 5 pl. hors-texte, 1957, Liège.
- ANTEN, J., 1919. — Sur la présence de disthène, de stauroidite et d'andalousite dans les sables tertiaires des environs de Liège et de la Haute Ardenne. *Ann. Soc. Géol. de Belgique*, T. 42, pp. B 186-193, 1919, Liège.
- ANCION, Ch., VAN LECKWYCK, W., 1947. — Les sables de la région de Liège, Congrès 1947, Section de Géologie, (Centenaire de l'Association des Ingénieurs sortis de l'École de Liège), pp. 187-191, 1947, Liège.
- BIETLOT, A., 1940. — Méthodes d'analyse granulométrique. Application à quelques sables éocènes belges. *Ann. Soc. Géol. de Belgique*, T. 64, pp. M 81-169, 24 fig., 7 tabl., 9 photo., 1940, Liège.
- BORCHERT, H., 1965. — Formation of marine sedimentary iron ores, « Chemical oceanography », T. 2, éd. Riley and Skirrow, London academic Press, 1 vol., pp. 159-204, 15 fig., 1965, Londres.
- BOURGUIGNON, P., 1954. — Les sables des Hautes Fagnes. *Ann. Soc. Géol. de Belgique*, T. 77, pp. B 201-204, 6 fig., 1954, Liège.
- BRUCKNER, W. D., MORGAN, M. J., 1964. — Heavy Mineral distribution on the continental shelf off Accra, Ghana, West Africa, Developments in sedimentology, vol. 1, Deltaic and Shallow Marine Deposits, éd. Van Straaten, pp. 54-61, 7 fig., Elsevier, 1964.
- BURTON, J. D., 1965. — Radioactive nuclides in sea water, marine sediments and marine organisms, « Chemical oceanography », T. 2, éd. Riley and Skirrow, London Academic Press, 1 vol., pp. 425-475, 3 fig., 1965, Londres.
- CALEMBERT, L., 1954. — Les formations tertiaires de la Haute Belgique, Prodrôme d'une description géologique de la Belgique, pp. 510-531, 12 fig., 1954, Liège.
- CALEMBERT, L., 1956. — Le Crétacé supérieure de la Hesbaye et du Brabant. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, T. 80, pp. B 129-156, 3 fig., 2 pl. h.-t., Liège.
- CALEMBERT, L., PEL, J., BRUMAGNE, D., 1965. — La géologie. Cahier n° 2 du Sart Tilman, Université de Liège, pp. 5-13, éd. Desoer, 1965, Liège.
- CALEMBERT, L., PEL, J., 1966. — Geologische Untersuchungen für den Aufbau der Universität Lüttich bei Sart Tilman. *Geologische Mitteilungen*, 6, (Breidin-Festschrift), pp. 197-212, 7 fig., 1 tabl., 1966, Aachen.
- CALEMBERT, L., 1967. — Synthèse des observations faites au NW de la route actuelle du Condroz (Rapport inédit).
- CALEMBERT, L., 1968. — Synthèse des observations faites au SW de la route du Condroz relative aux dépôts sableux et graveleux du plateau du Sart Tilman (Rapport inédit).
- DE MAGNÉE, I., MACAR, P., 1936. — Données nouvelles sur les sables des Hautes Fagnes. *Ann. Soc. Géol. de Belgique*, T. 59, pp. B 263-285, 3 fig., 2 tabl., 1936, Liège.
- FOURMARIER, P., 1920. — A propos de l'âge des sables tertiaires des environs de Liège. *Ann. Soc. Géol. de Belgique*, T. 43, pp. B 164-168, 1920, Liège.
- FOURMARIER, P., 1931. — Observations sur l'âge des dépôts Onx de la carte géologique au 40.000<sup>e</sup> de la région de Liège. *Ann. Soc. Géol. de Belgique*, T. 54, pp. 274-288, 1931, Liège.
- GRAULICH, J. M., 1966. — Sondages dans les sablières du Sart-Tilman. *Service Géol. de Belgique*, Professional Paper n° 3, 2 fig. 1966, Bruxelles.
- GULINCK, M., 1963. — Sédiments littoraux arénacés de l'Oligocène et de l'Éocène inférieur, 6<sup>e</sup> Congrès International de Sédimentologie, Belgique-Pays-Bas, Excursion M-N, 30 p., 21 fig., 2 pl., 1963, Bruxelles.
- GULLENTOPFS, F., 1963. — Étude de divers facies quaternaires et tertiaires dans le Nord et l'Est de la Belgique, 6<sup>e</sup> Congrès International de Sédimentologie, Belgique et Pays-Bas, Excursion O-P, 20 p., 28 fig., 1963, Bruxelles.
- LOMBARD, A., 1965. — Géologie sédimentaire : les séries marines, 722 p., éd. H. Vaillant-Carmagne, S. A., 1966, Liège.

- MACAR, P., 1934. — Analyses granulométriques des sables tertiaires des environs de Liège. *Ann. Soc. Géol. de Belgique*, T. 58, pp. B 22-38, 2 tabl., 2 fig., 1934, Liège.
- MACAR, P., 1934. — Quelques analyses granulométriques de sables d'origine marine et éolienne de la Côte belge. *Ann. Soc. Géol. de Belgique*, T. 58, pp. B 156-164, 1934, Liège.
- MACAR, P., KOLATCHEVSKY, V., 1934. — Quelques analyses granulométriques de sables du Sart Tilman. *Ann. Soc. Géol. de Belgique*, T. 58, pp. 230-236, 2 tabl., 1934, Liège.
- MILNER, M. B., 1962. — Sedimentary petrography, T. 1, Méthodes in sedimentary petrography, T. 2, Principles and applications, Georges Allen and Unwin Ltd., 2 vol., 643 + 715 p., 93 + 82 fig., 25 + 71 pl. h.-t., 1962, Londres.
- MILLOT, G., 1964. — Géologie des argiles, altérations, sédimentologie-géochimie, Masson, 500 p., 1964, Paris.
- MULLER, G., 1965. — Die karngrossenverteilung in den rezenten sedimenten des Golfes von Naple, Developments in sedimentology, vol. 1, Deltaic and Shallow marine Deposits, Van Straaten, pp. 282-292, 4 fig., 2 tabl., rés. anglais, Elsevier, 1964.
- PISSART, A., MACAR, P., 1962. — Fentes à remplissage, poches d'effondrement et variations de faciès dans la sablière du Sart Haguet (Boncelles). *Ann. Soc. Géol. de Belgique*, T. 85, pp. B 328-345, 5 fig., 1962, Liège.
- POMEROL, C., 1968. — Intérêt et applications de l'étude des minéraux lourds. *Revue de géographie physique et de géologie dynamique*, (2), vol. X, fasc. 4, pp. 383-396, 7 fig., 1968, Liège.
- RUTOT, A., 1907. — Un grave problème. *Bull. Soc. belge de Géol. Paléont. Hydrol.*, T. 21, pp. 439-482, 1907, Bruxelles.
- SHEPARD, F. P., 1964. — Criteria in modern sediments useful in recognizing ancient sedimentary environments, Developments in sedimentology, vol. 1, éd. Van Straaten, pp. 1-25, 14 fig., Elsevier, 1964.
- TAKAHASHI, J. I., 1938. — Synopsis of glauconitization, Recent marine sediments, éd. Trask, pp. 503-512, 5 fig., 1939, Londres.