

ÉTUDE DES MINÉRAUX ARGILEUX DANS LE TERTIAIRE DU SONDAGE DE WATERMAEL-BOITSFORT (BRUXELLES) (*)

par J. THOREZ (**)

(1 fig. dans le texte)

RÉSUMÉ

Étude minéralogique de la fraction argileuse des formations tertiaires (Landennien-Yprésien) recoupées par sondage dans la région de Bruxelles (Watermael-Boitsfort). Les assemblages sont caractérisés par des smectites et des illites auxquelles s'ajoutent des fractions accessoires de chlorite et d'interstratifiés (10-14_M); qualitativement et quantitativement ces assemblages définissent des tranches « stratigraphiques » dont les limites correspondent aux limites stratigraphiques du Tertiaire dans le Nord de la Belgique.

ABSTRACT

A mineralogical study has been made of the argillaceous fraction of the Tertiary formations (Landenian-Ypresian) encountered in drilling in the Brussels region (Watermael-Boitsfort). The assemblages are characterised by smectites and illites with accessory chlorite and mixed-layer minerals (10-14_M). These assemblages define, both qualitatively and quantitatively, « stratigraphic » units whose limits correspond to the stratigraphic limits recognised in the Tertiary of northern Belgium.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	641
I. Méthode d'étude	642
II. Résultats globaux de l'analyse minéralogique	643
III. Subdivisions établies à l'aide des minéraux argileux	643
IV. Interprétation et discussion	645
V. Coup d'œil sur les variations qualitatives et semi-quantitatives des constituants argileux	647
BIBLIOGRAPHIE	648

INTRODUCTION

A l'occasion de travaux hydrologiques à Bruxelles, des formations tertiaires ont été recoupées en sondage jusqu'au socle (***) .

Sur base lithologique, on y a reconnu la stratigraphie suivante de haut en bas : Bruxellien, Yprésien (d et c), Landennien (d, b, c, a). Des échantillons ont été prélevés

(*) Communication présentée le 2 mai 1972, manuscrit déposé le 19 juillet 1973.

(**) Laboratoire des Argiles, Institut de Minéralogie, Université de Liège, 9, place du Vingt Août, 4000 Liège.

(***) Échantillons fournis par le Laboratoire de Géologie Appliquée, Université de Liège.

à une maille serrée en tenant compte des variations lithologiques. Des prélèvements complémentaires ont été réalisés dans un puit latéral recoupant les mêmes formations.

I. MÉTHODE D'ÉTUDE

Les échantillons, la plupart à charge carbonatée, ont été traités à HCl à froid. Par centrifugations et sédimentations successives, suivant en cela la technique du Laboratoire de Liège, la fraction argileuse a été extraite et sédimentée sur lame de verre. L'analyse diffractométrique a été réalisée sur les échantillons orientés, au naturel, après traitement à l'éthylène-glycol et après chauffage à 490° C. Par suite du mélange de constituants, l'A.T.D., méthode préconisée par TRAUTH et al. (1968) pour l'identification des smectites, n'a pu être appliquée.

Les résultats fournis par la diffraction des rayons X sont qualitatifs et semi-quantitatifs. Les indications numériques concernent une fréquence relative des constituants (l'association totale = 10) et ne doivent en aucun cas être considérées comme des valeurs absolues. Elles permettent d'éviter les longues périphrases quand il s'agit de suivre l'évolution quantitative relative des constituants argileux au long de la tranche stratigraphique examinée.

Dans le but de nuancer les évolutions qualitatives et quantitatives verticales, il a été procédé à la mesure de certains paramètres en vue d'établir des gradients cristallochimiques :

- a) *indice d'aigu des illites* I_a (TRAUTH, LUCAS et SOMMER, 1968) : permet d'apprécier l'état de cristallinité et de distinguer les illites bien cristallisées (indice d'aigu ≤ 3 mm) ou illite à pic aigu; les illites à pic large ($I_a \sim 6$ mm); et les illites mal cristallisées ou illites ouvertes ($I_a \geq 10$ mm).
- b) *rapport d'intensité des réflexions* (002)/001) ou méthode de caractérisation des illites suivant ESQUEVIN (1969) : permet d'apprécier le rapport $Al_2O_3/FeO + MgO$ au niveau de la couche octaédrique, c'est-à-dire le caractère ferrifère (ou magnésien) et le caractère alumineux des illites en dehors de toute analyse chimique rendue aléatoire par la nature du mélange de la phase argileuse.

en outre :

- c) *rapport d'intensité* 17/10 de la réflexion à 17 Å de la smectite glycolée par rapport à celle à 10 Å des minéraux illitiques, donnant les évolutions quantitatives relatives de ces deux familles de minéraux.
- d) *rapport d'intensité* 10/7 calculé au départ du rapport d'intensité de la réflexion à 10 Å des minéraux illitiques et de la réflexion à 7 Å de la chlorite + kaolinite : permet de suivre les distributions des illites par rapport aux chlorites + kaolinite quand ces derniers participent accessoirement à la phase argileuse.
- e) *rapport d'intensité* 7/4,7 de la réflexion à 7 Å sur celle à 4,7 Å caractéristique de la présence de chlorite (4,7 Å = (003) de la chlorite); différencie « quantitativement » chlorite et kaolinite.

Le degré de cristallinité des smectites a été conventionnellement choisi (THOREZ, BOURGUIGNON et PAEPE, 1969) et permet de distinguer les smectites très bien « cristallisées » présentant la séquence complète des réflexions harmoniques (00*l*) de la smectite glycolée (variété A); les smectites mal élaborées (« smectite de sol ») (variété C); la variété B caractérise l'état intermédiaire.

II. RÉSULTATS GLOBAUX DE L'ANALYSE MINÉRALOGIQUE

Les résultats qualitatifs et semi-quantitatifs ainsi que les évolutions des divers rapports, sont traduits à la fig. 1. D'une manière systématique, la phase argileuse comporte les minéraux argileux suivants :

- smectites (variété A, B et C);
- illites (à pic aigu, à pic large, ouvertes);
- édifices interstratifiés irréguliers (10-14_M), à feuillets illitiques et à interfoliaires gonflants 14_M à comportement de montmorillonite;
- chlorite, intacte ou comportant quelques interfoliaires 14_V à comportement de vermiculite.

La chlorite est généralement présente sous forme de traces ou n'intervient qu'accessoirement dans l'association argileuse. La kaolinite a été identifiée à côté de la chlorite dans les échantillons argileux du socle.

En dehors des composants argileux ont été identifiés : le quartz, de la cristoballite (à certains niveaux) et très accessoirement de la natrojarosite.

III. SUBDIVISIONS ÉTABLIES A L'AIDE DES MINÉRAUX ARGILEUX (figure 1)

Du sommet à la base du sondage jusqu'au socle, les formations lithologiques du Tertiaire ont montré des types d'associations minéralogiques. Quatre associations minéralogiques correspondent étroitement aux formations lithostratigraphiques classiques du Bruxellien, de l'Ypresien et du Landennien dans la partie septentrionale de la Belgique. Ces résultats obtenus ici sont en effet conformes en tous points à ceux obtenus, à l'échelle régionale, dans les formations de même âge (THOREZ, étude en cours).

Nous fournissons ci-après les principales caractéristiques minéralogiques (*) des associations par formations lithostratigraphiques ainsi que les cotes du sondage :

- a) de 6.00 m à 7.00 m : BRUXELLIEN plus ou moins remanié, constitué de sable jaune brun légèrement calcaireux, à débris de roches silicifiées.

La fraction argileuse est composée d'un mélange de smectite mal cristallisée, de chlorite, d'illite ouverte et d'une fraction d'interstratifié (10-14_M). Cette association peut s'indiquer comme suit : $I_0 + (10-14_M) + Sm_C + C$.

- b) de 7.00 m à 29.00 m, YPRESIEN Yd, formation essentiellement sableuse (sable très fin), argile sableuse et sable argileux).

La fraction argileuse est constituée essentiellement d'une smectite relativement bien cristallisée (variétés A et B); d'une illite à pic aigu ou à pic large, de traces de chlorite soit : $I_{p a}$ (ou $I_{p l}$) + Sm_A ou B + (C).

- c) de 29.00 m à 54.00 m : YPRESIEN Yc, composé d'argiles grises plus ou moins sableuses, avec quelques niveaux plus sableux.

(*) I = illite; $I_{p a}$ = illite à pic aigu; $I_{p l}$ = illite à pic large; I_0 = illite ouverte; Sm = smectite de variétés A, B ou C; (10-14_M) = interstratifié irrégulier à feuillets d'illite et à interfoliaires gonflants 14_M; C = chlorite.

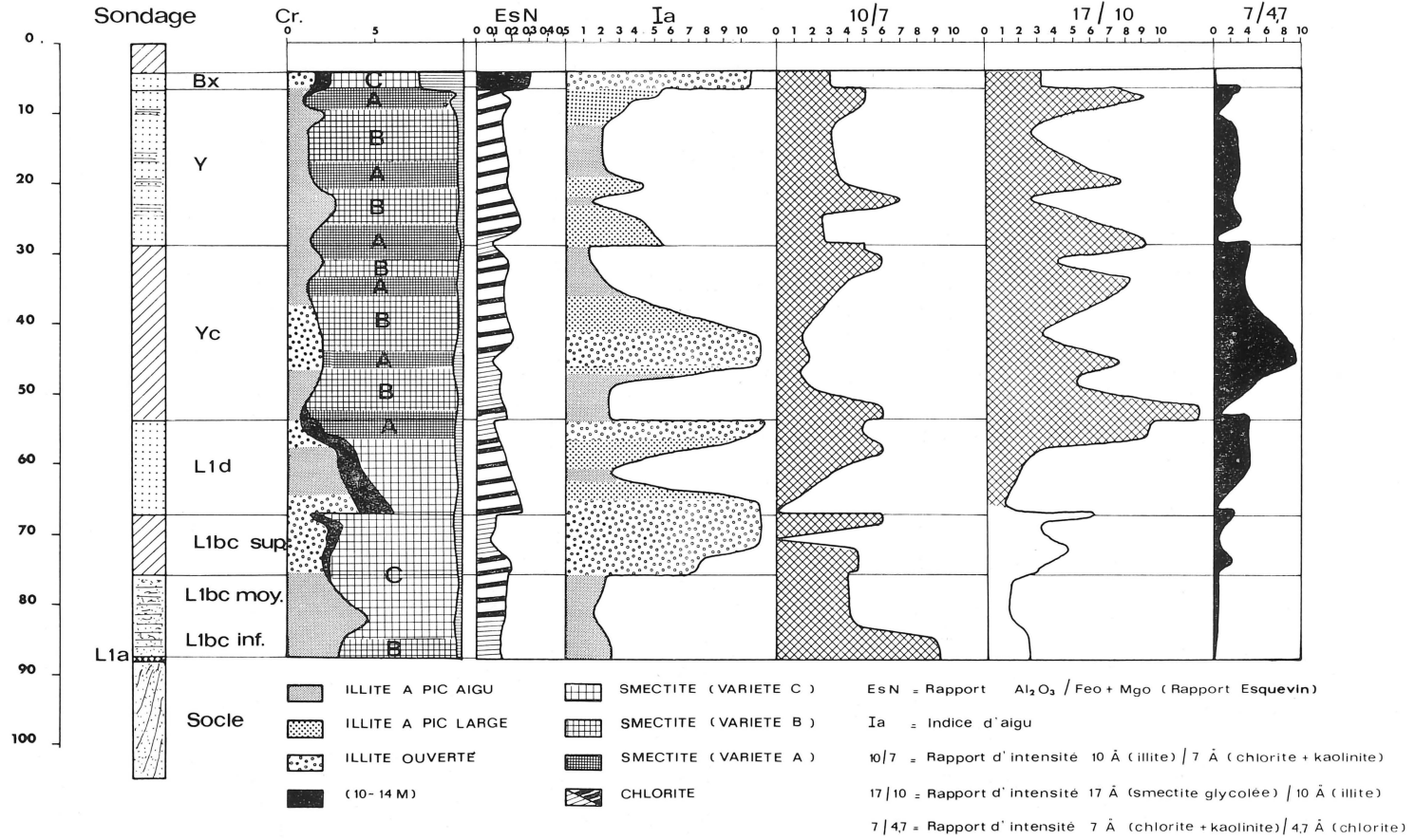


Fig. 1. — Associations et caractères cristallochimiques des minéraux argileux dans la Tertiaire du sondage de Watermael-Boitsfort.

La fraction argileuse est constituée d'un mélange de smectites (variétés A et B), d'illites à pic large, à pic aigu et d'illites ouvertes, de traces de chlorite, soit :

$$I_{p\ a} \text{ (ou } I_{p\ 1} \text{ ou } I_0) + Sm_A \text{ ou } B + (C)$$

d) de 54.00 m à 67.50 m, LANDENNIEN L1d, à sables verdâtres. La partie supérieure est constituée de smectite (variété A), d'illite ouverte avec traces de chlorite et de (10-14_M). Tandis que la partie inférieure voit une fréquence relative plus importante en illite et en (10-14_M) aux dépens d'une smectite mal structurée (variété C) :

$$I_0 + (10-14_M) + Sm_A$$

partie supérieure

$$I + (10-14_M) + Sm_C$$

partie inférieure

e) de 67.50 m à 76.00 m, LANDENNIEN L1bc supérieur, à sables et silts argileux assez mal classés.

Cette série est caractérisée par une association à illite ouverte, smectite (variété C) et des traces de (10-14_M) :

$$I_0 + Sm_C + \text{traces de (10-14}_M)$$

La phase argileuse contient de la cristoballite en proportion relative assez importante; cette cristoballite apparaissait en moindre proportion à la base de la série précédente.

f) de 76.00 m à 86.00 m, LANDENNIEN L1bc moyen, formé de grès glauconieux à ciment calcaire abondant (tuffeau).

La fraction argileuse est constituée d'illite à pic aigu et de smectite (variété C) :

$$I_{p\ a} + Sm_C \text{ et cristoballite.}$$

g) de 86.00 m à 88.00 m, LANDENNIEN L1bc inférieur sableux. La fraction argileuse est semblable à celle du L1bc moyen; la smectite appartenant toutefois à la variété B, mieux structurée.

IV. INTERPRÉTATION ET DISCUSSION

L'étude détaillée de la fraction argileuse fait apparaître des coupures qualitatives et semi-quantitatives. Celles-ci permettent de reconnaître les formations tertiaires classiquement définies sur la base lithologique. Les coïncidences entre les coupures lithostratigraphiques et minéralogiques sont frappantes. Ce résultat cadre parfaitement avec des données inédites d'un travail régional. Il est cependant trop tôt, dans cette étude, d'avancer des considérations génétiques. Certains faits minéralogiques auxquels nous nous limiterons dans cette étude, sont cependant intéressants à épingle.

Au sein d'un étage (ou d'une subdivision de ce dernier), la minéralogie des argiles reste strictement indépendante de la lithologie. Cependant, les variations se marquent différemment si l'on examine, par exemple, la nature minéralogique d'un sable ou d'une argile sableuse en provenance de deux niveaux stratigraphiques différents. Mais au sein d'une même série stratigraphique, la fraction argileuse reste globalement semblable à elle-même que l'on s'adresse aux passées sableuses ou aux passées plus argileuses.

Chaque série minéralogique coïncide avec les séries lithostratigraphiques corres-

pondantes. C'est ainsi que l'on peut qualifier et « quantifier » chaque subdivision stratigraphique par son contenu en argiles :

a) Le BRUXELLIEN résiduel se distingue des autres étages par une fréquence relative plus importante en chlorite.

L'illite très ouverte montre une valeur de rapport d'ESQUEVIN relativement élevée par rapport aux autres niveaux : cette illite ouverte comporte une fraction d'interstratifié (10-14_M) et a un caractère « alumineux » plus marqué vis-à-vis de l'illite dans les autres séries.

b) L'YPRESIEN se signale par la prédominance de smectite ; celle-ci est généralement bien à très bien cristallisée (variétés A à B). Parallèlement, l'illite montre ses trois variétés : à pic aigu, à pic large, ouverte (mais sans interfoliaires gonfants 14_M).

Les « oscillations » dans le degré de cristallinité de l'illite ne peuvent être mis en relation avec quelqu'autre variation. Le rapport ESQUEVIN, dont la valeur varie entre 0.17 et 0.3, indique un caractère général relativement peu alumineux.

On observe une variation sous forme d'oscillations systématiques dans la variété de smectite. A la variété la mieux structurée (smectite A) correspond les valeurs de rapport 17/10 les plus élevées. Autrement dit, il existe une relation étroite entre la fréquence relative de smectite dans la phase argileuse et la variété « cristallographique » : aux niveaux les mieux fournis en smectite correspond effectivement la variété A.

c) Le LANDENNIEN, d'une manière générale, se distingue de l'Yprésien par la qualité cristallographique de la smectite (variété C) exception faite de l'extrême base et de l'extrême sommet.

Au sein du LANDENNIEN, on peut nuancer davantage les subdivisions minéralogiques.

— L1d : de la base au sommet, diminution sensible de l'illite et des interstratifiés (10-14_M) au profit de la smectite.

Concouramment, la smectite du L1d passe de la variété C à la variété A laquelle ménage la transition vers la smectite du dernier type caractérisant l'Yprésien. Cette évolution qualitative de la smectite se marque dans celle du rapport 17/10. De la base au sommet, l'illite acquiert un caractère plus « ferreux ».

L'extrême base est caractérisée par la présence de cristoballite, minéral que l'on retrouve systématiquement dans le L1bc.

— L1bc supérieur : mélange d'illite ouverte et de smectite C. La cristoballite est systématiquement présente dans la fraction argileuse.

— L1bc moyen et inférieur : l'illite est de type aigu, la smectite étant toujours de la variété C. La cristoballite est systématiquement présente.

L'extrême base est cependant caractérisé par une smectite mieux élaborée (variété B).

Chaque unité minéralogique, dont les limites cadrent parfaitement avec celles des subdivisions lithostratigraphiques classiques, est ainsi parfaitement identifiable par son contenu qualitatif et semi-quantitatif en argiles ainsi que par les évolutions des valeurs des divers rapports établis au départ des diffractogrammes. On retrouve

ces tendances dans les mêmes formations recoupées par le puits implanté quelque cinq cents mètres au Nord du sondage et ce, en dépit d'un échantillonnage moins systématique.

L'étude minéralogique permet, en résumé, de distinguer très nettement :

- a) un YPRESIEN à smectites de variétés A et B prédominantes sur une fraction d'illites de cristallinités variées;
- b) un LANDENNIEN L1d à illite, interstratifiés (10-14_M) et à smectites généralement de la variété C;
- c) un LANDENNIEN L1bc à illites, smectites (généralement de type C) et à cristoballite.

Par opposition aux associations dans les formations tertiaires, le cortège argileux identifié dans les niveaux argileux provenant de l'altération du socle, se caractérise par une association complexe à : illite très bien cristallisée, chlorite, kaolinite et smectite C accessoire.

Les fréquences relatives observées dans ces niveaux d'altération sont les suivantes (puits) :

Cote	$I_{p a}$ (*)	C	K	Sm _C
90 m	2.4	5	1.7	5
100 m	4.4	1.8	2.5	1.3
104,5 m	4.7	2	2.3	1

* $I_{p a}$ = illite à pic aigu; les valeurs numériques correspondent aux fréquences relatives.

Directement en contact avec le socle, le L1 (cote 84 m) présente l'association : I (3.5 m) : Sm_C (6.5), chlorite (traces).

V. COUP D'ŒIL SUR LES VARIATIONS QUALITATIVES ET SEMI-QUANTITATIVES DES CONSTITUANTS ARGILEUX

Il est évident qu'une explication génétique des variations ne peut être exhaustive à partir des données d'un seul sondage. Cependant, les tendances qui seront exposées plus loin se retrouvent à l'échelle régionale (résultats inédits).

Les informations cristallochimiques (fig. 1) mettent en évidence certaines lois ou recouvrements que nous passerons en revue :

- a) Les smectites sont le minéral cardinal de la phase argileuse. Le rapport d'intensité 17/10 reflète cette prédominance sous la forme d'une série d'oscillations « cycliques ».
- b) Au maxima des « cycles » quantitatifs correspondent, dans l'Ypresien, les variétés (A) ou smectites les mieux cristallisées.
Au minima : les smectites les moins bien cristallisées (B).
- c) Au maxima des « cycles » quantitatifs correspondent généralement pour les formations (sauf le Bruxellien et le Landennien bc moyen et inférieur) des illites

« fermées » ($I_a = 3$) et des valeurs du rapport ESQUEVIN indiquant une composition de la couche octaédrique plus ferrifère (glauconitique).

Dans le cas du L1d et du L1b, les valeurs de l'indice d'aigu (I_a) sont ≥ 10 et sont dues à la présence d'une fraction importante d'interstratifiés (10-14_M).

Tandis qu'aux minima des cycles mentionnés, l'inverse se produit avec des illites ouvertes ($I_a > 10$) ou à pic large ($I_a \sim 6$) et des compositions sensiblement plus alumineuses d'illite.

- d) Ces oscillations sont cependant indépendantes de la lithologie au sein d'une même formation.
- e) Indépendamment des coupures minéralogiques qui permettent en première approximation dans le sondage l'identification des diverses formations recoupées, on constate donc des évolutions cristallochimiques qui lient étroitement les illites aux smectites.

Il est en effet symptomatique de constater en particulier l'amélioration de la « cristallinité » des smectites, avec la fermeture des feuillets de l'illite baillante et concomitamment l'acquisition d'une nature plus ferrière. Cette relation permet actuellement de tirer deux conclusions.

Le continent nourrit le bassin sédimentaire en illites et en smectites.

Les illites sont alors ouvertes et à composition plus alumineuse. Les smectites semblent être mal élaborées (variété C) et contiennent de toutes manières une certaine proportion de feuillets illitiques interstratifiés (gonflement à 16 Å), les courbes de REYNOLDS (1970) marquent ici des réseaux de 65 à 95 % de feuillets montmorillonitiques. C'est l'héritage. A leur arrivée au bassin, les illites et probablement une fraction des smectites, s'agradent et fournissent une illite ferrifère (glauconitique) ou de la glauconite individualisée en grains, bien cristallisée, à pic aigu. Cette agradation touche également, semble-t-il, les smectites qui acquièrent une meilleure cristallinité (A).

Ceci permet d'entrevoir, au sein de la sédimentation tertiaire, des phases faites d'alternances d'héritage « figé » et d'agradation momentanée à laquelle s'ajouteraient en partie des néoformations de smectite et de la chlorite (en traces). Ces mêmes alternances peuvent être considérées, à titre d'hypothèse de travail comme une réponse minéralogique à une sédimentation cyclique. De tels cycles, argiles-sables et leurs intermédiaires s'inscrivant à leur tour dans les grands mécanismes cycliques qui ont amené le développement comme la différenciation de la sédimentation tertiaire.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] ESQUEVIN, J., 1969. — Influence de la composition chimique des illites sur leur cristallinité. *Bull. Centre Rech. Pau. S.N.P.A.*, n° 3, pp. 147-154.
- [2] HOWER, J., 1967. — Order of mixed-layering in illite-montmorillonites. *Clays and Clay Min. Proc. Natl Conf. Clays and Clay Min.*, 15th (1966), pp. 63-74.
- [3] REYNOLDS R. C. Jr. et HOWER J., 1970. — The nature of interlayering in mixed-layer illite-montmorillonites. *Clays and Clay Min.*, 18, pp. 25-36.
- [4] THOREZ, J. et VAN LECKWYCK, W., 1967. — Les minéraux argileux et leurs altérations dans le namurien inférieur de Belgique (synclinal de Namur). *Ann. Soc. Géol. de Belgique*, 90, n° 4, pp. B 330-380.
- [5] THOREZ, J., BOURGUIGNON, P. et PAEPE R., 1970. — Étude préliminaire des asso-

ciations de minéraux argileux des loess pléistocènes en Belgique. *Ann. Soc. Géol. de Belgique*, **93**, n° 3, pp. 265-285.

[⁶] THOREZ, J. et BOURGUIGNON, P., 1973. — Minéraux argileux des argiles de dissolution des calcaires dinantiens en Condroz. *Ann. Soc. Géol. de Belgique*, **96**, pp. 31-58.

[⁷] TRAUTH, N., LUCAS, J. et JOMMER, F., 1968. — Étude des minéraux argileux du Paléogène des sondages de Chaignes, Montjavoult, Le Tillet et Ludes (Bassin de Paris). *Mém. B.R.G.M.*, **55**, pp. 53-76.

