

ANALYSE RADIOMÉTRIQUE DE GLAUCONIES PAR LES MÉTHODES AU STRONTIUM ET A L'ARGON; L'OLIGO-MIOCÈNE DE BELGIQUE

par G.S. ODIN (*) (**), J.C. HUNZIKER (**), E. KEPPENS (***),
P.G. LAGA (****) et P. PASTEELS (**).

RÉSUMÉ. — L'analyse radiométrique des glauconies belges rapportées au Miocène a été entreprise par les méthodes à l'argon et au strontium. Différents niveaux depuis les Sables d'Edegem jusqu'aux Sables de Diest donnent des âges de genèse des granules allant de 25-30 à 15 . 10⁶ ans. Des incertitudes demeurent quant à l'équivalence des âges apparents obtenus par les deux méthodes; elles ne pourront être résolues que lorsque les études méthodologiques seront plus avancées. On peut cependant être assuré dès maintenant que des glauconitisations se sont succédé depuis l'Oligocène moyen à supérieur, jusqu'au Miocène inférieur à moyen. Ces corrélations sont possibles grâce à des datations équivalentes effectuées depuis quelques années sur un chronomètre identique prélevé dans les bassins de définition.

SAMENVATING. — Glauconieten, afkomstig uit afzettingen in België die als Mioceen worden aangezien, werden radiometrisch onderzocht met de Rb-Sr en de K-Ar methodes. Deze glauconieten werden genomen uit verschillende lithologische eenheden, gaande van de Zanden van Edegem tot de Zanden van Diest. De gemeten ouderdommen voor de vorming van de korrels gaan van 15 tot 25-30 miljoen jaar. De schijnbare ouderdommen, bekomen door de verschillende methodes, zijn niet volledig in overeenstemming, en er blijft een onzekerheid bestaan omtrent hun onderlinge relatie. De methodologische studies moeten eerst verder gevorderd zijn om daarvoor een verklaring te kunnen vinden. Niettemin tonen de bekomen ouderdommen met zekerheid aan dat de achtereenvolgende glauconitisaties opgetreden zijn in de periode, vanaf het midden-boven Oligoceen tot het onder-midden Mioceen. De bekomen ouderdomsbepalingen stemmen immers overeen met deze die de laatste jaren aan de hand van één en dezelfde chronometer uitgevoerd werden op glauconieten afkomstig uit chronostratigrafisch beter gekende bekkens.

ABSTRACT. — Attempt has been made to apply the K-Ar and Rb-Sr dating methods to Belgian glauconites considered, till recently, as of Miocene age. Different levels from the Edegem Sands to the Diest Sands yield model ages ranging from 25-30 to 15 . 10⁶ years, which are tentatively interpreted as that of the constitution of the glauconite pellets. Uncertainties subsist however concerning to meaning of these ages, since some discrepancy is observed between both methods. Further studies would be needed in order to clear up this problem. We are allowed to conclude that glauconite formation occurred at different times from the middle to upper Oligocene to the lower to middle Miocene, from comparison with similar radiometric data in the typical sections.

(*) Groupe Géochimie sédimentaire, Laboratoire de Géologie des Bassins sédimentaires, tour 15, 4^e étage, Université P. et M. Curie, 75230 Paris.

(**) Institut de Pétrographie et de Minéralogie, Sahlistrasse 6, 3012 Berne (Suisse).

(***) Laboratorium voor Geochronologie, Vrije Universiteit Brussel, A. Buyllaan 105, 1050 Brussel.

(****) Service géologique de Belgique, rue Jenner 13, 1040 Bruxelles.

Introduction

Les dépôts sabloglauconieux de Belgique attribués dans leur entièreté, jusqu'à une date toute récente, au Miocène (tableau I), font actuellement l'objet de révisions de la part des stratigraphes qui découvrent et déterminent, dans certains niveaux localisés, des faunes de Foraminifères jusqu'à présent non étudiées (HOOYBERGHS et DE MEUTER, 1972).

Les grands travaux entrepris dans la région d'Anvers, notamment, ont permis d'obtenir un échantillonnage varié et d'établir des corrélations lithologiques plus précises.

Dans ce contexte, il nous est apparu tentant de confronter les données paléontologiques nouvelles avec des mesures radiométriques sur les glauconies.

d'Anvers (E 3 Kleine Ring). Ils proviennent des Sables d'Anvers, de Kiel, d'Edegem. Il peut s'avérer difficile, sur le terrain, de situer exactement les limites entre ces niveaux. Par contre, l'ordre de succession stratigraphique ne prête pas à contestation pour les huit échantillons prélevés dans cette zone (voir annexe et fig. 1 et 2 pour leur localisation exacte).

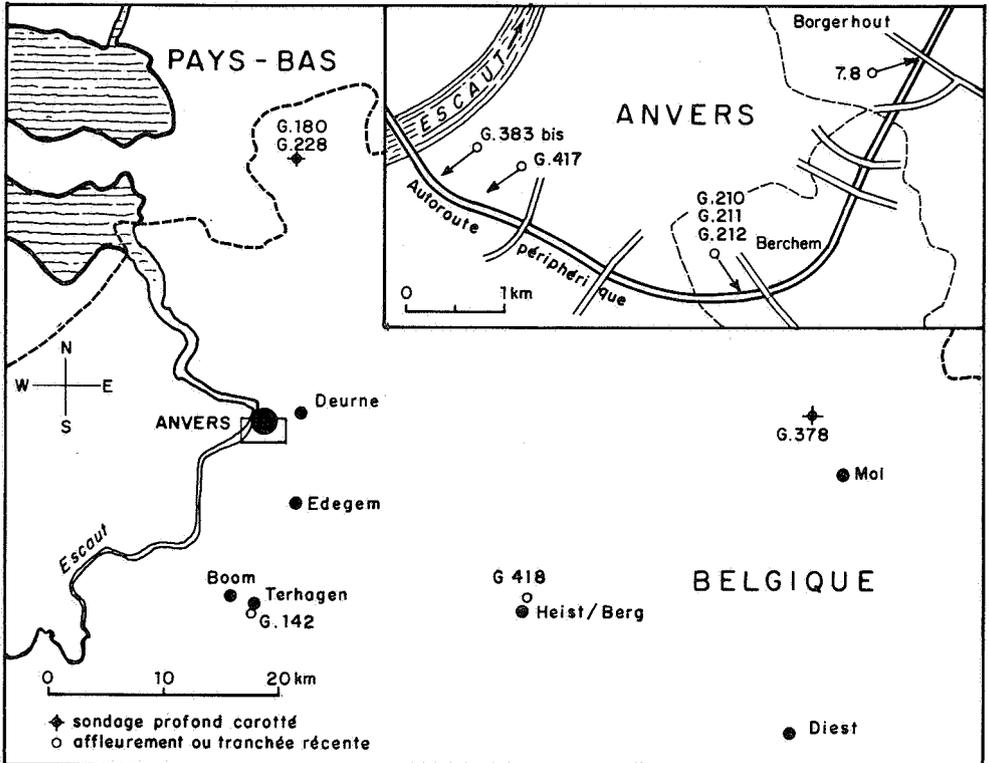


Fig. 1. — Croquis de situation.

On a donc extrait de ces dépôts — parfois difficiles à corréler — des fractions de glauconies pures, que l'on a soumises, pour certaines, aux analyses par les deux méthodes au strontium et à l'argon, pour d'autres, seulement par la deuxième méthode. Les résultats obtenus sont présentés et discutés ici sous les points de vue géochimique et chronostratigraphique.

I. — Les échantillons

a) Localisation

L'essentiel des échantillons a été récolté dans la tranchée de l'autoroute périphérique

A cette première collection viennent s'ajouter cinq échantillons provenant de la Campine anversoise et limbourgeoise, et de la région du Rupel (voir fig. 1) (Sables d'Edegem, de Zonderschot, de Diest). Le problème des corrélations a été brièvement évoqué plus haut. Un bref rappel de la situation, telle qu'elle se présente actuellement, n'apparaît pas superflu.

b) Chronostratigraphie des unités étudiées

Jusqu'à une époque très récente, les diverses unités glauconieuses étudiées ici (sauf les Sables de Diest) étaient rassemblées dans le Miocène Moyen (ou Anversien), avec deux

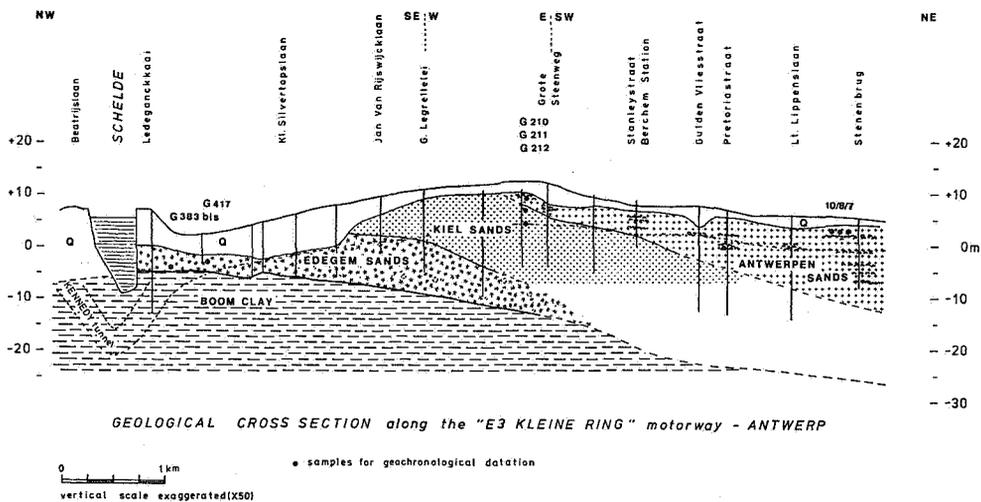


Fig. 2. — Coupe au long de l'autoroute périphérique d'Anvers (E' 3 Kleine Ring).

niveaux principaux : les Sables d'Edegem et les Sables noirs d'Anvers, et diverses unités parallèles ou latérales assez mal corrélées avec eux. Au-dessus, se situait le Miocène Supérieur (ou Diestien), où l'on plaçait la Formation des Sables de Diest, et leur équivalent probable dans la région d'Anvers, les Sables de Deurne.

Les conceptions actuelles, du moins si l'on accepte la révision proposée par DE MEUTER (1974), peuvent être résumées sous forme de tableau (tableau I).

On peut ajouter, en commentaire à ce tableau, que, suite aux travaux de DE MEUTER, 1974, les relations entre les Sables de Zonderschot et d'Anvers, naguère encore mystérieuses, sont enfin éclairées : la faune très riche de Zonderschot révèle des affinités très nettes avec celle d'Anvers.

Dans une première étude radiométrique, ODIN et coll. (1969) notaient un âge plus ancien que prévu pour une glauconie extraite des Sables d'Edegem (G. 142); cet âge était

TABLEAU I

Unités lithostratigraphiques attribuées au Miocène dans la région d'Anvers (DE MEUTER, 1974)

Formations	Membres	
	Région d'Anvers	Campine anversoise méridionale
Formation de Diest	—	—
Formation de Berchem (= « Anversien » sensu auctores)	Sables d'Anvers Sables de Kiel Sables d'Edegem	Sables de Zonderschot

très proche de celui obtenu pour diverses glauconies du Chattien d'Allemagne du Nord : ODIN et al. (1970). Depuis, des vérifications effectuées à Hanovre (M. KREUZER) et à Berne par l'un de nous (G.S.O.) ont montré que toutes ces analyses étaient erronées dans l'absolu (ODIN, 1973 a) (défaut méthodologique dans le laboratoire qui avait exécuté ces premières analyses). Cependant, en tant qu'âge relatif, il n'en restait pas moins que les âges apparents trouvés étaient voisins; ceci vieillissait sûrement les glauconies extraites de ces dépôts attribuées au Miocène Moyen, le Chattien d'Allemagne étant assez bien repéré stratigraphiquement.

Plus récemment, l'étude de microfaunes planctoniques de ces niveaux — HOOYBERGHS et DE MEUTER (1972) — permettait de confirmer que les Sables d'Edegem étaient nettement plus anciens que le Miocène Moyen. Suivant la biozonation de BLOW (1969) ils correspondraient (zone P. 20) au milieu de l'Oligocène et, en outre, ils seraient plus jeunes que les Sables de Voort (Chattien). Par ailleurs, MARTINI et MÜLLER (1973) attribuent un âge Miocène Inférieur aux Sables d'Edegem en se basant sur l'étude du nannoplankton calcaire.

Quant aux Sables de Diest, leur attribution au Miocène Supérieur par GLIBERT et DE HEINZELIN (1955) repose sur l'hypothèse de leur équivalence avec les Sables de Deurne et non sur des évidences paléontologiques directes.

Ainsi, schématiquement, la situation se présente comme suit :

Sables d'Edegem = Oligocène, post-Chattien, ou Miocène Inférieur;

Sables d'Anvers = Miocène Moyen;

Sables de Diest (et équivalents) = Miocène Supérieur.

C'est l'étude radiométrique de cet exemple de problème stratigraphique que nous avons entrepris d'aborder par deux méthodes d'analyse. Les données géochronologiques ainsi obtenues auront une plus grande sûreté pour enrichir les conclusions chronostratigraphiques. Il importe cependant de signaler que ces données restent entachées d'incertitude quant à leur interprétation: possibilités de remaniements, d'altération, etc.

II. — Méthodes d'analyse

Les deux méthodes d'analyse utilisées sont basées sur des technologies différentes, ce qui les rend très indépendantes l'une de l'autre, quant aux résultats obtenus. Le matériel de

départ est cependant le même: une glauconie que l'on essaie de purifier au mieux, sans altérer son âge géochimique.

a) La méthode au strontium

La méthode analytique utilisée a été décrite ailleurs (DEUTSCH, LEDENT et PASTEELS, 1965). Quelques améliorations y ont été apportées cependant, qui concernent en ordre principal la spectrométrie de masse. Le spectromètre de masse utilisé est sommairement décrit dans un article de KLERKX, DEUTSCH et DE PAEPE (1974). On a obtenu sur le standard Eimer and Amend, un rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ égal à 0.70808 ± 0.00012 (moyenne de cinq mesures, sigma sur une mesure). Les teneurs en rubidium et strontium, déterminées par dilution isotopique, sont en bon accord avec les mesures obtenues récemment dans d'autres laboratoires, pour les standards de roche G.S.P. 1, G 2, W 1.

Dans un premier temps, il a été effectué une série de tests, en vue de déterminer si les traitements de purification (lavage à l'eau, nettoyage à l'acide, utilisation des ultra-sons) avaient une répercussion sur l'âge apparent de la glauconie. Les résultats de ces expérimentations sont relatés par ailleurs (PASTEELS et al., à paraître). Huit des échantillons considérés ici ont été utilisés lors de ce travail préliminaire (7 - 8 - G. 210 - G. 211 - G. 212 - G. 142 - G. 383bis - G. 417); ils ont montré qu'une glauconie non lavée aux ultra-sons révélait parfois des traces d'héritage, alors qu'aux différents autres traitements les résultats étaient toujours identiques à l'erreur de mesure près. Un seul exemple prélevé à côté des échantillons 7 et 8 a donné des résultats très variés aux différents traitements et a, de ce fait, été éliminé.

Nous avons retenu ici tous les âges ponctuels (ou conventionnels) obtenus sur des glauconies après lavage aux ultra-sons (dans l'eau distillée, l'acide chlorhydrique N ou l'acide acétique 1, 7 N).

Ces âges sont dits conventionnels car ils sont calculés en faisant l'hypothèse d'un rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ initial lui-même arbitraire, c'est-à-dire par hypothèse, identique à celui de l'eau de mer ouverte à l'époque de la formation de la glauconie (0,7086 pour 20 millions d'années; 0,7083 pour 30 millions d'années) (DASCH et BISCAÏE, 1971; PETERMAN, HEDGE et TOURTELOT, 1970).

La validité de cette hypothèse est attestée par les rapports isotopiques mesurés directement sur le strontium de coquilles de lamellibranches extraites de certains des échantillons mêmes qui ont fourni la glauconie (tableau II).

TABLEAU II

 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ mesurés sur coquilles de lamellibranches

Echantillon	Niveau	Espèce	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ($\pm 2 \sigma$)
210	Sables d'Anvers	<i>Glycymeris lunulata baldii</i> (GLIBERT et V.D. POEL) (= <i>Pectunculus pilosus</i>)	0,7088 \pm 0,0003
383bis	Sables d'Edegem	<i>Lucinoma borealis precedens</i> (KOEN)	0,7086 \pm 0,0003

L'utilisation de l'une ou l'autre des valeurs mesurées par nous-mêmes en lieu et place des valeurs tirées de la littérature est sans conséquence quant au calcul des âges conventionnels, toutes ces valeurs étant très proches.

b) La méthode à l'argon

Les résultats (*) ont été obtenus par dilution isotopique pour les mesures d'argon radio-génique. Une seule analyse a été effectuée pour la plupart des échantillons, les conditions de mesure étant très reproductibles et l'appareil bien connu. L'étalonnage absolu de l'ensemble de mesure s'est révélé bien établi par des analyses de contrôle avec l'étalon muscovite P. 207; par ailleurs, le nouvel étalon : glauconite GL - 0, a aussi été utilisé et a prouvé l'exactitude et la reproductibilité des mesures.

Pour les analyses du potassium, elles ont été obtenues par trois méthodes différentes : spectrométrie d'émission, spectrométrie d'absorption atomique et fluorescence X, car en différentes occasions il a été constaté que ces analyses restaient peu reproductibles. Les valeurs absolues utilisées ici semblent ainsi mieux établies. Au demeurant, la comparaison des résultats obtenus par ces différentes méthodes est assez satisfaisante.

c) Les glauconies

La plupart des fractions de glauconies utilisées ont été purifiées après un tamisage préalable. Ceci est traduit dans la nomenclature

(*) Nous remercions le Fonds National Suisse pour l'aide qu'il a apportée à l'équipement du laboratoire de l'Institut de Pétrographie de Berne où les mesures ont été effectuées.

des échantillons utilisés par des lettres : O signifie granules plus grands que 500 μm ; A compris entre 500 μm et 160 μm ; B compris entre 160 μm et 100 μm . En règle générale, on essaie d'utiliser la fraction la plus grossière de la glauconie, car la qualité de la purification est ainsi mieux visible. Pour les échantillons 383bis et 142 cependant, la granulométrie des granules était trop faible pour que la fraction supérieure à 160 μm soit suffisante en quantité. On a toujours utilisé la même fraction purifiée dans les différents dosages de potassium, d'argon, de rubidium et de strontium. Cette fraction n'était, dans certains cas, qu'une très faible partie de la glauconie présente dans le sédiment. Après lavage du sable, survient le tri granulométrique; la fraction comprise entre deux tamis est encadrée ensuite par séparation magnétique entre deux intensités magnétiques proches. On procède alors, lorsqu'une partie des granules est altérée, comme c'est le cas ici, à une séparation densitométrique (les oxydes de fer et hydroxydes sont plus denses que la glauconie). Ce n'est qu'après, qu'un nettoyage des fentes des granules par les ultra-sons intervient éventuellement.

Les échantillons 7 et 8 prélevés au sein d'une passée très glauconieuse ont simplement été purifiés par séparation magnétique.

III. — Les résultats

a) Ages apparents K - A

Les données recueillies pour le calcul des âges apparents sont rassemblées dans le tableau III. Les résultats sont ordonnés verticalement dans l'ordre supposé de leur âge stratigraphique. La glauconie des Sables de Diest (G. 378) révèle un âge apparent inférieur à

Numéro	Teneur K ₂ O		
	Emission	Absorption	Fluorescence X
G. 378 A	<ul style="list-style-type: none"> ● 7,55-7,65 ● 7,48-7,72-7,60 	<ul style="list-style-type: none"> ● 7,71-7,53 ● 7,20-7,17-7,11 	
G. 418 O	<ul style="list-style-type: none"> ● 7,50-7,60 ● 7,40-7,20 	<ul style="list-style-type: none"> ● 7,35-7,23 ● 7,52-7,35 	
G. 210 A	<ul style="list-style-type: none"> ○ 7,00-7,10 ● 7,22 (5 m) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 7,55 (5 m) 	<ul style="list-style-type: none"> △ 7,21
G. 180 A	<ul style="list-style-type: none"> ○ 7,28 ○ 7,36 		
G. 211 A	<ul style="list-style-type: none"> ● 6,92-7,04-7,12 ● 6,96-7,08-6,60 	<ul style="list-style-type: none"> ● 6,86-6,92 ● 6,92-6,81 	<ul style="list-style-type: none"> △ 6,98
G. 212 A	<ul style="list-style-type: none"> ● 6,92-6,92-7,12 ● 6,80-6,92-6,96 	<ul style="list-style-type: none"> ● 6,68-6,86 ● 6,87-6,75 	<ul style="list-style-type: none"> △ 6,82
G. 228 A	<ul style="list-style-type: none"> ● 7,63 ○ 7,90 ● 7,62 (5 m) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 7,90 (5 m) 	
G. 142 AB	<ul style="list-style-type: none"> ● 7,24 ● 7,20-7,08-7,08 	<ul style="list-style-type: none"> ● 6,87-6,68 	<ul style="list-style-type: none"> △ 7,07
G. 383bis B	<ul style="list-style-type: none"> ● 7,25-7,15 ● 7,40-7,30 	<ul style="list-style-type: none"> ● 7,20-7,11 ● 7,44-7,16 	<ul style="list-style-type: none"> △ 7,00
G. 417 A	<ul style="list-style-type: none"> ● 6,84-6,92-7,00 	<ul style="list-style-type: none"> ● 6,92-7,17 	<ul style="list-style-type: none"> △ 6,93

Explication

Résultats d'analyse par la méthode à l'argon.

Les analyses de potassium ont été effectuées par plusieurs analystes :

● G. RICHEBOIS, Laboratoire de Géologie des Bassins sédimentaires, Université Paris VI.

○ Laboratoire du B.R.G.M. à Orléans.

△ F. DUREZ, Musée Royal d'Afrique Centrale (Tervuren)

K % moyen	^{40}A radiogénique $10^{-6} \cdot \text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ T.P.N.	% A radiogénique	Age apparent 10^6 ans
6,22	3,498	69,2	$14,0 \pm 0,8$
6,13	3,707	63,7	$15,1 \pm 1,0$
6,02	4,708	67,3	$19,5 \pm 1,2$
6,08	5,953	65,3	$24,4 \pm 1,5$
5,77	5,483	68,9	$23,7 \pm 1,4$
5,69	6,623	75,3	$24,6 \pm 1,3$
6,44	5,791	68,0	$22,4 \pm 1,3$
5,85	5,361	74,0	$22,7 \pm 1,2$
5,98	6,191 6,240	22,9 73,4	$25,9 \pm 0,7$
5,78	4,804	67,8	$20,7 \pm 1,2$

du tableau III

Sur une même ligne horizontale sont données les analyses effectuées sur une seule attaque; différents prélèvements de la solution mère étant utilisés des jours différents.

Toutes les analyses d'argon ont été effectuées par l'un de nous (G.S.O.) à l'Institut de Minéralogie de Berne.

L'incertitude donnée pour les âges apparents est une valeur maximum uniquement basée sur les données physico-chimiques, à l'exclusion de toute considération géologique.

TABLEAU IV. — Mesures Rb-Sr

Numéro (1)	Rb ppm	Sr ppm	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ($\pm 2 \sigma$)	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	Age apparent (2) 10^6 ans
7 a	231	24,58	$0,7159 \pm 0,0007$	27,07	$18,0 \pm 1,7$
7 b	230	3,05	$0,7649 \pm 0,0017$	219,2	$17,2 \pm 0,7$
8 a	230	26,05	$0,71514 \pm 0,00022$	25,35	$17,3 \pm 0,8$
			$0,71511 \pm 0,00024$		
8 b	225	4,45	$0,7482 \pm 0,0004$	146,9	$18,1 \pm 0,4$
8 c	227	20,23	$0,71735 \pm 0,00020$	32,4	$18,1 \pm 0,6$
G. 210 Aa	219	28,70	$0,7157 \pm 0,0003$	22,05	$21,5 \pm 1,1$
G. 210 Ad	217	5,27	$0,74409 \pm 0,00024$	118,80	$20,0 \pm 0,5$
G. 211 Aa	204	29,23	$0,7172 \pm 0,0003$	20,21	$29,3 \pm 1,3$
G. 211 Ad	169	6,85	$0,7407 \pm 0,0006$	71,69	$30,1 \pm 0,9$
G. 212 Aa	204	30,21	$0,7169 \pm 0,0003$	19,55	$29,4 \pm 1,4$
G. 212 Ad	209	7,85	$0,74014 \pm 0,00022$	77,11	$27,3 \pm 0,6$
G. 212 Ab	209	6,28	$0,7500 \pm 0,0009$	96,79	$28,7 \pm 1,7$
G. 142 ABa	224	11,35	$0,7316 \pm 0,0007$	57,18	$27,2 \pm 1,0$
G. 142 ABd	227	5,09	$0,7655 \pm 0,0006$	129,57	$29,4 \pm 0,6$
G. 383bis Ba	220	21,65	$0,7215 \pm 0,0006$	29,42	$29,8 \pm 1,7$
G. 383bis Bd	215	6,14	$0,7529 \pm 0,0004$	101,85	$29,1 \pm 0,7$
G. 417 Aa	200	20,25	$0,71813 \pm 0,00022$	28,55	$22,3 \pm 0,6$
G. 417 Ad	205	5,87	$0,7436 \pm 0,0005$	101,35	$23,1 \pm 0,7$

(1) Les indices a,... d : réfèrent aux traitements subis par l'échantillon :

a : lavage aux ultrasons, dans l'eau;

b : idem, dans HCl N, pendant 20 à 25 minutes;

c : idem, dans l'acide acétique 1,7 N, pendant 20 à 25 minutes;

d : idem, dans HCl N, pendant 150 secondes.

(2) $^{87}\text{Rb} = 1,47 \times 10^{-11} a^{-1}$. En accolade, les données ayant servi au calcul des droites isochrones sur le graphique $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} f (^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr})$.

celui des Sables d'Anvers (G. 210). Ce dernier est lui-même significativement moins élevé que l'ensemble des données se rapportant aux glauconies des Sables inférieurs de Kiel ou d'Edegem. Pour ce qui est des Sables d'Edegem, on doit cependant remarquer la grande irrégularité des résultats obtenus pour G. 142, G. 383 et G. 417. Les différences sont nettement au-delà des incertitudes de mesure : de 21 à $26 \cdot 10^9$ ans et tendraient à faire penser à première vue, que ces glauconies ont des âges de formation nettement différents. Par ailleurs, on peut constater que les glauconies des Sables de Kiel ne présentent pas un âge apparent sensiblement inférieur à celui des glauconies du membre inférieur (Edegem). En dernier lieu, il n'y a pas de différence sensible entre l'âge radiométrique fourni par une glauconie des Sables de Zonderschot et une des Sables de Diest. Pour ces deux dernières unités, les données géochronologiques sont encore insuffisantes et il conviendrait de procéder à l'analyse d'un plus grand nombre d'échantillons. Ces données sont donc fournies ici à titre provisoire seulement. L'écart observé entre Anvers et Zonderschot, d'une part, et le rapprochement Diest-Zonderschot, sont certes inattendus, sur la base des informations paléontologiques disponibles.

En somme, l'information principale recueillie est qu'il y a une coupure assez nette entre les Sables d'Anvers et les niveaux sous-jacents.

b) Ages apparents Rb-Sr

Le tableau IV rassemble toutes les données disponibles sur les huit échantillons qui ont fait l'objet de mesures Rb-Sr. On notera que l'on dispose de plusieurs âges ponctuels, deux ou trois, sur le même échantillon. Ceci tient au fait, comme on l'a vu plus haut, que plusieurs traitements ont été expérimentés sur ces échantillons. Les implications méthodologiques de ces essais sont détaillées dans la note à paraître (PASTEELS, et al., en préparation), déjà citée dans ce qui précède.

Les échantillons des Sables d'Anvers montrent des âges conventionnels très voisins : de 17 à $21 \cdot 10^9$ ans, et différents de ceux se rapportant aux sables inférieurs : de 27 à $30 \cdot 10^9$ ans. Seul G. 417 A fait exception : bien que situé à la base des Sables d'Edegem, il livre un âge apparent de $22-23 \cdot 10^9$ ans. Notons l'âge K-A très bas fourni par ce même échantillon de glauconie.

On a regroupé, sur une base quelque peu arbitraire, les âges ponctuels très cohérents fournis, d'une part, par les échantillons 7 et 8, et d'autre part, par G. 211, G. 212, G. 142, G. 383. Ces données ont permis l'établisse-

ment, sur un diagramme où les rapports $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ sont exprimés en fonction des rapports $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$, de deux droites isochrones par la méthode de YORK (1967). Le calcul du « mean weight square of deviates » suivant MAC INTYRE et al. (1966) montre que les écarts observés ne dépassent pas de beaucoup ceux imputables aux erreurs expérimentales seules. L'ordonnée à l'origine de ces droites fournit, en principe, la composition isotopique du strontium commun présent. Les valeurs obtenues confirment l'hypothèse d'un strontium analogue, du point de vue isotopique, à celui de l'eau de mer ouverte au moment de la formation de la glauconie.

c) Comparaison entre les âges apparents au strontium et à l'argon (tableau V)

La comparaison des deux méthodes révèle des écarts, que nous allons tenter d'expliquer. Par ailleurs, il y a une cohérence certaine, dans l'ensemble. Ainsi l'échantillon G. 417 fournit des âges bas par les deux méthodes. L'utilisation de l'une ou l'autre méthode conduit aussi à la même conclusion importante : à savoir l'existence d'un brusque saut entre la base d'Anvers et le sommet de Kiel.

On ne peut cependant expliquer sur la base des erreurs de mesures l'écart entre $24,0 \pm 1,5 \cdot 10^9$ ans (méthode K-A) et $29,3 \pm 1,3 \cdot 10^9$ ans (méthode Rb-Sr) pour l'ensemble Kiel-Edegem (échantillon G. 417 excepté).

IV. — Discussion

Si les âges K-A et Rb-Sr présentés par une glauconie sont différents, c'est qu'au moins l'un des deux a été modifié par rapport à la réalité par un phénomène qu'il nous reste à tenter de définir. Ceci appelle trois remarques (d'après ODIN, 1973b) :

— Les glauconies étudiées n'ont jamais été soumises à des températures ou pressions telles, que leur âge apparent K-A ait pu être modifié pour cette raison. Certains auteurs ont évoqué une possibilité de diffusion lente de l'argon radiogénique « mal retenu » dans le réseau des petits cristallites des minéraux de taille argileuse.

Nous pensons que les températures mises en jeu ici, comme le faible enfouissement des sédiments étudiés, ne permettent pas d'envisager ce phénomène qui, au demeurant, n'a jamais été démontré dans les sédiments superficiels et reste théorique; en fait, un excès d'argon radiogénique peut être observé pour les glauconies gonflantes (OWENS et SOHL,

TABLEAU V. — Comparaison des âges à l'argon et au strontium

Echantillon	Formation	Membre	Ages apparents en 10 ⁶ ans		
			K-A (ponctuels)	Rb-Sr (ponctuels)	Rb-Sr (isochrone)
G. 378 A	Diest		14,0±0,8	—	—
G. 418 O	Berchem	Sables de Zonderschot	15,1±1,0	—	—
7	Berchem	Sables d'Anvers	—	17 à 18	18,01±0,75
8			—	17 à 18	
G. 210 A			19,5±1,2	20 à 21	—
G. 180 A	Berchem	Limite Anvers-Kiel	24,4±1,5	—	—
G. 211 A	Berchem	Sables de Kiel	23,7±1,4	29 à 30	29,3
G. 212 A			24,6±1,3	27 à 30	
G. 228 A	Berchem	Limite Kiel-Edegem	22,4±1,3	—	
G. 142 AB	Berchem	Sables d'Edegem	22,7±1,2	27 à 30	—
G. 383bis B			25,9±0,7	29 à 30	
G. 417 A			20,7±1,2	22 à 23	

1973) au lieu du déficit d'argon prédit sur la base de considérations théoriques (THOMPSON et HOWER, 1973).

— Les glauconies utilisées sont toutes monominérales, leur évolution dans le milieu marin ouvert, qui est leur lieu de genèse, a été suffisamment avancée. Malgré cela, il n'est pas possible d'exclure complètement la possibilité d'un héritage d'isotope radiogénique (argon 40 ou strontium 87).

méthode au strontium, on sait, par des expérimentations nombreuses (MANGHANI et HOWER, 1964; CIMBALNIKOVA, 1971; ODIN, 1973b), que l'élément strontium est beaucoup plus mobile que le rubidium, lors d'une altération importante par l'eau douce ou l'eau de mer. En l'absence d'étude isotopique spécifique, on ne connaît pas exactement l'influence de cette altération sur la teneur en strontium radiogénique (et donc sur l'âge apparent).

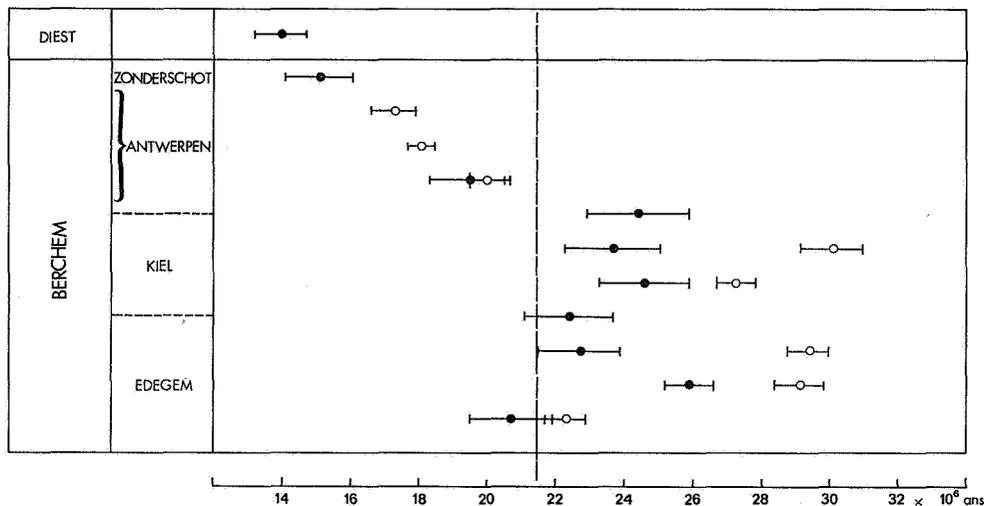


Fig. 3. — Comparaison schématique des données K-A (cercles noirs) et Rb-Sr (cercles blancs), dans l'ordre de succession stratigraphique présumé des échantillons. Pour la clarté, seule le résultat Rb-Sr le plus précis est donné parmi les deux ou trois mesures effectuées sur chaque échantillon. Le trait interrompu vertical figure la limite Oligo-Miocène révisée par ODIN et HUNZIKER, sur la base de données K-A sur glauconies bien repérées stratigraphiquement (en principe, seuls les résultats K-A peuvent être comparés à cette limite).

— Une modification par rapport à l'âge réel peut encore être effectuée, soit lors d'une diagenèse superficielle, soit lors d'une reprise du sédiment redéposé ensuite.

— Un enrichissement secondaire, par échange ionique, de strontium radiogénique emprunté à la fraction argileuse peut se produire. Il y a tout lieu de penser que l'argon ne participe pas à ces échanges.

Si l'on imagine une reprise d'une glauconie, des études récentes (ODIN et HUNZIKER, 1973, et à paraître) ont montré que l'âge K-A n'était pas modifié sensiblement, même lors d'une altération continentale (non oxydante) ayant pourtant nettement lessivé les granules. Pour ce qui est des données propres à la

Les expériences de lessivage aux acides, effectuées sur les échantillons mêmes dont il est ici question (PASTEELS, et al., en préparation) ne prétendent pas reproduire les conditions naturelles. Elles révèlent néanmoins que le strontium radiogénique peut avoir un comportement géochimique très différent de celui du strontium commun.

Un grand nombre de données a été recueilli récemment sur les glauconies par la méthode à l'argon (ODIN et HUNZIKER, 1974 a et b). Aussi sera-t-il plus facile de comparer les valeurs obtenues ici à l'échelle ainsi établie. Au contraire, peu de résultats par la méthode au strontium sont disponibles et une comparaison est impossible. Ceci sans préjuger de la valeur absolue de l'une ou de l'autre méthode.

On peut donc se référer, en ce qui concerne les âges à l'argon à une « échelle K-A sur glauconie » établie récemment par ODIN et HUNZIKER, et qui est assez différente de celle communément admise, en tous cas pour la limite Oligocène-Miocène. Sur la base d'un examen critique des données récentes, on peut situer cette dernière à 21-22 . 10⁶ ans.

Deux cas doivent être envisagés maintenant : âges K-A et Rb-Sr concordants et âges discordants.

Il y a concordance assez probable pour les échantillons 7, 8 et 210; ces glauconies des Sables d'Anvers donnent des âges apparents voisins de 18 à 20 . 10⁶ ans. On peut assimiler sans trop de risque ces âges apparents à des âges réels de formation des granules. Ceci situe cette formation par rapport à l'échelle susmentionnée vers le Miocène inférieur à moyen. Il reste délicat d'affirmer que ces glauconies sont strictement en place; les critères sédimentologiques actuellement disponibles ne semblent pas affirmer de déplacement important. On peut cependant signaler qu'ici ou là les granules sont oxydés, ce qui est la trace d'une altération probablement marine sous une faible tranche d'eau et traduit une reprise postérieure au dépôt, comme on peut le constater sur certaines marges continentales actuelles : GIRESSÉ-ODIN (1973).

Pour l'ensemble des unités inférieures de l'ex-Anversien, la discordance d'âge entre les deux méthodes est très nette. Notre discussion préalable montre combien il est difficile d'avoir des assurances sur les possibilités de modification d'âge. Aussi nous bornerons-nous à quelques considérations assez générales qui ne prétendent pas épuiser le sujet.

En somme, les âges apparents sont voisins de 24 . 10⁶ ans par la méthode à l'argon et voisins de 29 . 10⁶ ans pour la méthode au strontium. Une conclusion très probable est que l'âge réel de la genèse de la glauconie est plus grand ou égal à 24 . 10⁶ ans toujours sans préjuger en rien de la valeur absolue des différentes méthodes. Ce résultat comparé à l'échelle « K-A glauconies » démontre que tous ces granules (142 - 180 - 211 - 212 - 383) ont été formés durant l'Oligocène moyen à supérieur. C'est là une conclusion qui sera utile pour préciser la stratigraphie. La formation des glauconies 417 et 228 se situerait vers la limite Oligocène-Miocène. Ainsi les différentes unités rassemblées dans l'ex-Anversien montrent des glauconies dont la formation s'est étalée de l'Oligocène moyen au Miocène moyen. Ceci peut être expliqué simplement sur le plan paléosédimentologique. On peut reconstituer un plateau continental submergé

sous plus de 100 m d'eau et où les apports figurés sont très peu abondants. Des glauconies s'y forment par verdissement de débris coquilliers ou autres. Parfois, sous l'influence de courants, ou de légers basculements du plateau, les granules sont rassemblés en larges lentilles sablo-glauconieuses. Le verdissement des granules est un phénomène dont la causalité géochimique est essentiellement particulière : ODIN et GIRESSÉ (1973), AUBRY et ODIN (1973). Aussi peut-on fort bien imaginer une glauconitisation ici en voie d'achèvement, là en son tout début. Si le plateau continental est très longuement dépourvu d'apports figurés (comme par exemple à l'heure actuelle sur le plateau N.-O. de l'Espagne : LAMBOY, 1968), des glauconies d'âges différents seraient ainsi côte à côte rassemblées parfois dans une unité lithologique d'apparence homogène. Notons enfin que si des microfaunes sont conservées ce seront toujours les plus récentes, les plus anciennes étant dissoutes; les âges biostratigraphiques pourront ainsi être inférieurs aux âges radiométriques des glauconies.

Il est parfaitement concevable aussi, dans le cas d'une évolution assez longue et complexe conduisant à la formation de la glauconie telle qu'elle se présente actuellement, que deux systèmes isotopiques impliquant des éléments à comportements géochimiques différents n'enregistrent pas le même âge.

Sur la base de l'absence d'arguments décisifs qui tendraient à établir le contraire (remaniement en masse de la glauconie, héritage d'argon et de strontium radiogénique dans la majorité des cas), nous conclurons, provisoirement, que le dépôt des Sables d'Edegem et de Kiel s'est effectué à l'Oligocène Supérieur. Cette conclusion paraît en accord avec certains arguments paléontologiques. On notera que la notion de dépôt, en l'occurrence, implique une certaine durée.

Conclusion

L'étude des formations glauconieuses de la région d'Anvers par deux méthodes d'analyse isotopique confirme que les différentes unités lithologiques, autrefois attribuées au Miocène moyen, sont d'âge assez différent et incluent l'Oligocène supérieur. Ces résultats montrent encore que l'histoire géochimique de ces différents niveaux est complexe : les possibilités de reprise des sédiments ne doivent pas être exclues. Cette étude démontre que sur le plan technique, la méthode de datation isotopique au strontium est applicable à des sédiments aussi jeunes que le Miocène.

Ainsi sur cet exemple local, l'étude radiométrique des glauconies permet d'apporter des

précisions complémentaires pour la chronostratigraphie, et ceci en dépit des incertitudes qui subsistent, d'une manière évidente, en ce qui concerne le phénomène géochimique impliqué.

Remerciements

Les mesures Rb-Sr présentées ici ont été réalisées dans le cadre du programme du Centre belge de Géochronologie. Nous adressons

nos plus vifs remerciements à M. GULINCK qui nous a encouragés à aborder l'étude de ce problème complexe et nous a fourni des informations d'ordre stratigraphique indispensables. Pour la communication d'informations de première main, souvent non publiées, et d'échantillons de leurs collections, nous tenons à remercier nos collègues stratigraphes et sédimentologues de la Katholieke Universiteit Leuven.

BIBLIOGRAPHIE

- AUBRY, M.P. et ODIN, G.S., 1973, Sur la nature minéralogique du verdissement des craies : formation d'une phyllite apparentée aux glauconies en milieu semi-confiné poreux. *Bull. Soc. Géol. Normandie*, t. 61, pp. 11-22, 2 pl. h.t.
- BLOW, W.H., 1969, Late middle Eocene to Recent planktonic biostratigraphy. *Proc. 1st Intern. Conf. Plankt. Microfossils*, Leiden, I., pp. 199-421.
- CIMBALNIKOVA A., 1971, Cation exchange capacity of glauconites. *Cas. Mineral. Geol.*, 16, 1, pp. 15-21.
- DASCH E.J. and BISCAYE, P.E., 1971, Isotopic composition of strontium in Cretaceous-to-Recent, pelagic foraminifera. *Earth Planet. Sc. Letters*, II, pp. 201-204.
- DE MEUTER, F.J.C., 1974, Bijdrage tot de Systematiek en de Paleoecologie van de Benthonische Foraminiferen uit het Mioceen van België. Thèse de doctorat, K.U.L., Louvain.
- DEUTSCH, S., LEDENT, D., PASTEELS, P., 1965, Datation par les méthodes Sr/Rb et Pb/U au laboratoire de géochronologie du Service de géologie et géochimie nucléaires. Université libre de Bruxelles.
- GIRESE, P. et ODIN, G.S., 1973, Nature minéralogique et origine des glauconies du plateau continental du Gabon et du Congo. *Sedimentology*, 20, 4, pp. 457-488.
- GLIBERT, M. et DE HEINZELIN, J., 1955, La faune et l'âge Miocène supérieur des Sables de Deurne. *Bull. Inst. roy. Sc. nat. de Belgique - I: Description*, 31, n° 71, pp. 1-27. II: Conclusions, 31, n° 72, pp. 1-12.
- HOOPYBERGHS, H.J.F. and DE MEUTER, F.J.C., 1972, Biostratigraphy and interregional correlations of the « Miocene » deposits of Northern Belgium. *Mededelingen Kon. Akad. Wetensch. België*, 34, n° 3, pp. 1-47.
- KLERKX, J., DEUTSCH, S. and DE PAEPE, P., 1974, Rubidium, strontium content and strontium isotopic composition of strongly alkalic basaltic rocks from the Cape Verde Islands. *Contr. Mineral. and Petrol.*, 4, pp. 107-118.
- LAGA, P.G. et DE MEUTER, F.J., 1973, A Foraminiferal fauna found in the lower Member of the Diest Formation of Borings of the Antwerp Kempen (N.E.-Belgium). *Bull. Soc. belge Géol.*, 81 (1972), pp. 211-220.
- LAMBOY, M., 1968, Sur un processus de formation de la glauconie en grains à partir des débris coquilliers. Rôle des organismes perforants. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 266, pp. 1937-1940.
- MAC INTYRE, G.A., BROOK, C., COMPTON, W. and TUREK, A., 1966, The statistical assessment of Rb-Sr isochrons. I. *Geophys. Res.*, 71, pp. 5459-5468.
- MARTINI, E. und MÜLLER, C., 1973, Nannoplankton — Gemeinschaften im Miozän und Pliozän des Nordseebeckens. *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.*, Ig. 1973, H. 9, pp. 555-564.
- ODIN, G.S., 1973, Résultats de datations radiométriques dans les séries sédimentaires du Tertiaire de l'Europe occidentale. *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.*, vol. XV, fasc. 3, pp. 317-330.
- 1973, Spécificité des datations radiométriques dans les bassins sédimentaires européens au Mésozoïque et au Cénozoïque. *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.*, vol. 5, pp. 523-532.
- ODIN, G.S., BODELLE, J., LAY, C. et POMEROL, C., 1970, Géochronologie de niveaux glauconieux paléogènes d'Allemagne du Nord. *C. R. somm. S.G.F.*, 6, pp. 220-221.
- ODIN, G.S. et GIRESE, P., 1972, Genèse de minéraux phylliteux (berthiérite, smectite ferrière, glauconie ouverte) dans les sédiments du Golfe de Guinée. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 276, pp. 177-180.
- ODIN, G.S., GULINCK, M., BODELLE, J. et LAY, C., 1969, Géochronologie de niveaux glauconieux tertiaires du Bassin de la Belgique. *C. R. somm. S.G.F.*, 6, pp. 198-199.
- ODIN, G.S. and HUNZIKER, J.C., 1973, K-A Isotopic study on natural alteration of glauconites. Abstracts of IIIrd European Colloquium of Geochronology, Oxford (offset).
- Methodology of K-Ar glauconite dating in type stratigraphic Mesozoic and Tertiary basins. Colloque International de Géochronologie, Paris, août 1974.
- Discussion des limites d'époque et d'étages du Secondaire et du Tertiaire d'après les données récentes. Colloque International de Géochronologie, Paris, août 1974.
- (à paraître), Etude isotopique de l'altération naturelle d'une formation à glauconie (méthode à l'argon). Soumis à *Contr. Mineral. and Petrol.*

ODIN, G.S., HUNZIKER, J.C. et LORENZ, C. (à paraître), Age radiométrique du Miocène inférieur en Europe occidentale et centrale. Soumis à *Geologisch. Rundschau*.

OWENS, J.P. and SOHL, N.F., 1973, Glauconites from New Jersey - Maryland coastal plain: their K-Ar ages and application in stratigraphic studies. *Geol. Soc. America Bull.*, **84**, pp. 2811-2838.

PASTEELS, P., KEPPENS, E., LAGA, P. and ODIN, G.S. (à paraître). On the suitability of glauconite as Rb-Sr geochronometer for the Tertiary: the problem of sample treatment before analysis (en préparation).

PETERMAN, Z.E., HEDGE, C.E. and TOURTELOT, H.A., 1970, Isotopic composition of strontium in sea water throughout Phanerozoic time. *Geochim. cosmochim. Acta*, **34**, pp. 105-120.

THOMPSON, G.R. and HOWER, J., 1973, An explanation for low radiometric ages from glauconites. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, **37**, pp. 1473-1491.

YORK, D., 1967, The best isochron. *Earth Planet. Sc. Letters*, **2**, pp. 479-482.

ANNEXE

Description des échantillons

G. 378 : Sable glauconieux grossier non calcaire, à petites concrétions de vivianite et quelques Lingules. Sables de Diest, faciès grossier (supérieur aux Sables de Diest à faciès fin). Miocène supérieur : GULINCK, GEETS, VAN VOORTHUYSEN (1963), LAGA et DE MEUTER (1972). Sondage carotté près de Mol (échantillon prélevé à 90-100 m de profondeur).

7 et 8 : Sable très glauconieux vert à noir, moyen et fossilifère. Sables d'Anvers. Les deux échantillons éloignés latéralement de 2 m sont situés sous le plus haut niveau à *Glycymeris lunulata baldii* (= *Pectunculus pilosus*), 1,4 m sous la base du Quaternaire. Prélèvement A. RINGELE, 3.10.67, à Anvers; voir figure 1.

G. 210 : Sable très glauconieux vert à noir, moyen et fossilifère. Sables d'Anvers, à la base du plus haut niveau à *G. lunulata baldii*; 50 cm sous la base du Quaternaire. Prélèvement M. GULINCK et G.S. ODIN, 12.6.69, à Anvers; voir figure 1.

G. 211 : Id. 210, mais non fossilifère; sables de Kiel, 2 m sous le niveau de G. 210.

G. 212 : Id. G. 211, mais 3 m plus bas que lui.

G. 180 : Sable glauconieux argileux vert-noir; glauconie oxydée et couleur rouille en par-

tie. Formation de Berchem : à la base des Sables d'Anvers. Sondage carotté près d'Essen. Profondeur : 120 m (8 m sous la limite inférieure des Sables de Diest). Prélèvement M. GULINCK.

G. 228 : Sable noir hétéromorphe, à glauconie en partie oxydée. Formation de Berchem (à faune de type Sables d'Edegem) : Sables de Kiel (?). Sondage carotté près d'Essen (id. 180), prélevé à 132 m de profondeur.

G. 142 : Sable fin glauconieux et argileux, fossilifère. Formation de Berchem : Sables d'Edegem, 1 m au-dessus de la base des argiles de Boom. Affleurement près de Terhagen. Prélèvement : 11.9.63, F. DE MEUTER.

G. 383bis : Sable fin glauconieux vert foncé, fossilifère, avec débris de coquilles. Formation de Berchem : Sables d'Edegem. 0,75 m au-dessus du sommet des argiles de Boom. Prélèvement F. DE MEUTER et P. LAGA, 13.9.65, à Anvers; voir figure 1.

G. 417 : Sable moyen à fin, glauconieux argileux, vert à brun, légèrement oxydé; ici, contrairement aux deux échantillons précédents, la glauconie est assez grossière pour qu'on ait pu travailler sur la fraction supérieure à 160 μ . Formation de Berchem : Sables d'Edegem, 2 m au-dessus du sommet des argiles de Boom. Prélèvement F. DE MEUTER et P. LAGA, 5.6.66, à Anvers; voir figure 1.

G. 418 : Sable fin, gris verdâtre, glauconieux, argileux et très fossilifère (quelques débris ligneux), la glauconie est grossière; faciès particulier de la Formation de Berchem, reposant sur les argiles de Boom. Prélèvement P. LAGA, 20.6.72, affleurement dans tranchée à 4 m sous la surface du sol, dans la localité de Zonderschot près d'Heist-op-den-Berg.

Désignation des échantillons au Laboratoire de Paléontologie K.U.L. Louvain :

7 : II SB 1 B; II SB 3 B; 210 - 211 - 212 correspond à l'échantillonnage A.G.; 142 : T.B. 10; 383 : P.A.R.Z. (4,1); 417 : VI A.R. - 2.

Désignation des échantillons au Service géologique de Belgique :

180-228 : sondage 6 E - 110, feuille de Kalmt-hout.

418 : 59 E - 151, feuille de Heist-op-den-Berg.

378 : 31 W - 221, feuille de Retie.