

# ÂGES RADIOMÉTRIQUES K–Ar DE BIOTITES PYROCLASTIQUES SÉDIMENTÉES DANS LE WENLOCK DE GOTLAND (SUÈDE)

G.S. ODIN<sup>1</sup>, J.C. HUNZIKER<sup>2</sup>, L. JEPSSON<sup>3</sup> et N. SPJELDNAES<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Département de Géologie Dynamique, U.A. 319 du C.N.R.S.: Stratigraphie, Université Pierre et Marie Curie, F-75252 Paris Cédex 05 (France)

<sup>2</sup>Unité de Géochronologie, Université de Berne, CH-3012 Berne (Suisse)

<sup>3</sup>Département de Géologie Historique et Paléontologie, Université de Lund, S-22362 Lund (Suède)

<sup>4</sup>Département de Géologie, Université de Oslo, N-0316 Oslo 3 (Norvège)

(Accepté pour publication le 3 juin 1986)

## Abstract

Odin, G.S., Hunziker, J.C., Jeppsson, L. et Spjeldnaes, N., 1986. Âges radiométriques K–Ar de biotites pyroclastiques sédimentées dans le Wenlock de Gotland (Suède). (Radiometric K–Ar ages of pyroclastic biotites deposited in the Wenlockian of Gotland (Sweden).) In: G.S. Odin (Rédacteur invité), Calibration of the Phanerozoic Time Scale. Chem. Geol. (Isot. Geosci. Sect.), 59: 117–125.

A geochronological study of well-defined clay levels of Silurian age from Scandinavian outcrops has been undertaken. The island of Gotland, Sweden is considered here. Sedimentologic data allow us to distinguish two types of clay levels: (1) probable true bentonites consisting essentially of inter-layered I–Sm clays; and (2) possible mixtures of inherited clays, i.e. illite and chlorite, with pyroclastic minerals.

K–Ar ages of  $430.5 \pm 6.0$  Ma (Llandovery–Wenlock boundary),  $427.4 \pm 6.0$  and  $425.8 \pm 6.0$  Ma (Late Wenlock) were obtained on biotites. According to these preliminary data, an age older than 430 Ma is confirmed for the Ordovician–Silurian boundary.

## Résumé

Une étude géochronologique de niveaux argileux bien définis d'âge silurien, a été entreprise dans des affleurements scandinaves. L'île de Gotland (Suède) est considérée ici. Des données sédimentologiques permettent de distinguer des niveaux argileux purement volcaniques: bentonites marines essentiellement constituées d'argile interstratifiée illite–smectite, et des niveaux argileux qui semblent être mélangés d'argile héritée et de minéraux pyroclastiques. Des âges K–Ar de  $430,5 \pm 6,0$  Ma (limite Llandovery–Wenlock),  $427,4 \pm 6,0$  et  $425,8 \pm 6,0$  Ma (Wenlock supérieur, zone à *Gothograptus nassa*) ont été obtenus sur biotites. D'après ces données préliminaires, un âge supérieur à 430 Ma est confirmé pour la limite Ordovicien–Silurien.

## 1. Introduction

Le besoin de données radiométriques susceptibles d'améliorer notre connaissance de

l'échelle numérique était particulièrement évident pour la période silurienne ainsi que cela a été montré lors d'une mise au point publiée récemment (Odin, 1982). Dans le

cadre des actions encouragées par le Projet du P.I.C.G. "Echelle numérique du Phanérozoïque", une campagne de terrain a été mise sur pied en Scandinavie pour améliorer cette situation. Cette région est en effet connue pour comporter des niveaux de bentonites interstratifiés dans des séries sédimentaires marines fossilifères de l'Ordovicien et du Silurien depuis le Caradoc (Ordovicien supérieur) jusqu'au Ludlow (Silurien supérieur). D'autre part, une bentonite du Caradoc de Suède, particulièrement remarquable par son épaisseur, avait déjà fait l'objet d'études géochronologiques encourageantes par le passé (Baadsgaard et Lerbekmo, 1982; Williams et al., 1982).

Le compte-rendu détaillé de cette campagne scandinave (mai—juin 1984) a été publié par ailleurs (Odin et al., 1984). Le présent travail se propose de faire part des résultats préliminaires obtenus sur des biotites extraites de lits argileux récoltés sur l'île de Gotland.

## 2. Les échantillons

### 2.1. Géologie et stratigraphie

L'île de Gotland, située dans la Mer Baltique, est uniquement constituée de Silurien à l'affleurement. Par suite d'un très léger pendage vers le Sud-Est, l'âge des niveaux affleurants décroît du Nord au Sud (Fig. 1). Le faciès est subrécifal à récifal. L'essentiel des formations est donc carbonaté. En sondage, on observe que la série sédimentaire repose sur un socle précambrien sur lequel se sont déposés 100 m de sables et argiles d'âge cambrien puis moins de 50 m de carbonates d'âge ordovicien suivis de marnes et calcaires d'âge silurien totalisant 200 m environ. La plateforme est donc stable et peu subsidente.

La lithostratigraphie des formations siluriennes a été établie depuis fort longtemps: les corrélations régionales sont aisées grâce à l'abondance des macrofossiles en particulier des Porifères, Coelentérés, Echinodermes et Brachiopodes (Hede, 1942). Plus récemment,

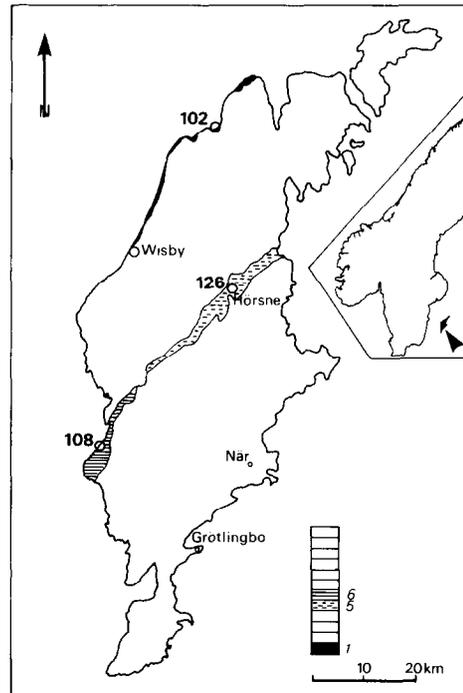


Fig. 1. Situation des échantillons prélevés à Gotland (Suède). Trois formations ont livré de la biotite datable, elles sont notées 1, 5 et 6 (cf. Fig. 2) et cartées sur la figure. Les formations de Halla et de Mulde semblent être deux faciès latéraux synchrones.

Fig. 1. Location of the samples collected from Gotland (Sweden). Three formations showed dateable biotite; they are mapped on the figure and correspond to the same numbers on Fig. 2. The Halla and Mulde Beds seem synchronous.

des corrélations ont été tentées à l'aide d'organismes à répartition plus générale: Graptolites, Ostracodes et Conodontes spécialement. Pour les Graptolites, peu abondants, l'essentiel de la formation de Mulde est dans la zone à *Monograptus nassa*, le sommet de la formation étant dans la zone à *M. deubeli* (Jäger, 1981); les Conodontes restent peu diversifiés, d'après ce que l'on en connaît, sauf à la base du Wenlock, mais leur présence est suffisante pour en faire un des groupes les plus utiles au plan biostratigraphique.

Les corrélations entre les niveaux observés à Gotland et la stratigraphie établie en Grande-Bretagne sont suggérées ici avec une

marge d'erreur maximale de l'ordre d'une zone de Graptolites. La Fig. 2 rappelle ces corrélations (Martinsson, 1967; Laufeld et Jeppsson, 1976; Jeppsson, 1983) étant entendu que l'épaisseur relative des formations de Gotland a été respectée.

Gotland		Grande Bretagne			
⑧ HEMSE		<i>nitsoni</i>	E L T O N I E N		G O R S T I E N
⑦ KLINTEBERG		<i>ludensti</i>	H O M E R I E N	Supérieur	K
⑥ MULDE	108	<i>deubeli</i>			
⑤ HALLA	126	<i>nasso</i>			
		<i>lundgreni</i>			
		<i>ellesøe</i>			
④ SLITE		<i>linnarssoni</i>	S H E I N W O O D I E N	Moyen	L
		<i>rigidus</i>			
③ TÖFTA		<i>riccartonensis</i>			
② HÖGKLINT		<i>murchisoni</i>		Inférieur	O
WISBY Sup.		<i>centrifugus</i>			
① WISBY Inf. 102		<i>crenulata</i>	T E L Y C H I E N		
					W E N L O C K

Fig. 2. Série stratigraphique du Wenlock de Gotland. Les épaisseurs relatives des formations sont respectées et leur corrélation probable avec le Wenlock de Grande Bretagne est proposée grâce à quelques découvertes de Graptolites et aux Conodontes.

Fig. 2. The Wenlockian stratigraphic sequence from Gotland. The relative thicknesses of the formations are shown. Correlation with the Wenlockian from Great Britain are suggested according to the finding of some Graptolite faunas but mostly after Conodonts.

## 2.2. Nature des lits argileux

La série marno-calcaire est fréquemment interrompue par des lits purement argileux ne dépassant pas 10 cm d'épaisseur à l'affleurement; ces lits sont considérés comme des bentonites. Snäll (1976) a repéré, en sondage, 135 de ces lits dans le Silurien de Grötlingbo. Ils sont généralement épais de quelques millimètres à 10 cm, un lit atteignant 38 cm. Dans le sondage de Grötlingbo, Snäll (1976) indique que la biotite domine dans la série supé-

rieure tandis que les feldspaths dominent dans les lits argileux du Llandoverly. Par contre, dans le sondage de När, ce même auteur a identifié surtout des feldspaths dans toute la série. D'après Snäll toujours, la fraction argileuse est constituée d'interstratifiés illite-smectite dans une proportion de 25 à 100%, le reste étant de la kaolinite. Ces deux minéraux argileux peuvent résulter de l'évolution de cendres volcaniques, le premier (I-Sm) en milieu marin, le deuxième en milieu continental bien drainé (Person, 1982). Ils peuvent aussi se former par altération hydrothermale (Snäll, 1976).

Cet auteur distingue trois types de lits argileux:

(1) lits à biotite et argile essentiellement constituée d'interstratifiées I-Sm. Parfois, la biotite est contenue dans des agrégats de kaolinite, elle peut être partiellement vermiculitisée;

(2) lits à biotite contenant de la biotite chloritisée et dont l'argile est pauvre en kaolinite;

(3) lits à feldspaths dont l'argile est en moyenne riche en kaolinite.

Cette distinction importe, elle peut permettre de reconstituer l'origine de ces lits argileux. Les lits du premier type sont des bentonites vraies facilement désagrégées dans l'eau et qui proviennent de dépôts de cendres volcaniques directement dans l'eau de mer. Les lits du deuxième type peuvent aussi être considérés comme de vraies bentonites si l'on accepte le fait que la chloritisation s'est déroulée dans le domaine hydrothermal. L'illite et la chlorite de certains niveaux peut s'expliquer par une diagenèse très précoce (l'enfouissement est très limité à Gotland); ainsi Bonhomme (1982) note l'agradation des interstratifiés et de la smectite en illite et chlorite d'autant mieux cristallisées quand la température augmente. Mais ces deux argiles peuvent surtout être héritées du continent. On aurait, dans ce cas, un indice de dépôt en deux temps: d'abord sur le continent avec chloritisation partielle des biotites puis reprise et dépôt en mer.

Les lits du troisième type sont plus difficiles à désintégrer dans l'eau. Si la kaolinite est d'origine détritique, il y a de fortes présomptions pour un dépôt en deux temps du matériel pyroclastique: d'abord sur le continent avec formation de kaolinite à partir des cendres, puis reprise et dépôt dans le bassin marin.

Nous avons recherché cette kaolinite afin d'en étudier les propriétés; nous l'avons trouvée sous un faciès surprenant dans un niveau argileux plastique, récolté à Hørsne. La fraction argileuse de ce sédiment est un mélange d'interstratifié illite-smectite très dominant et du couple illite-chlorite ce dernier étant présent seul dans de nombreux niveaux argileux de la partie de l'île où nous avons travaillé (cf. Fig. 4). Les grains sédimentés, dont la taille est comprise entre 160 et 500  $\mu\text{m}$ , sont en majorité de deux types dans la fraction non magnétique après attaque acide: des lames irrégulières transparentes d'une part et des plaquettes blanches à translucides d'apparence microcristalline d'autre part. Le diffractogramme de ces grains ne présente pratiquement que les pics de la kaolinite, extrêmement hauts et étroits (Fig. 3). Il s'agit, vraisemblablement, de kaolinite hydrothermale. Elle aurait été déposée dans ce niveau sous forme de plaquettes avec les autres minéraux pyroclastiques observés: biotite (environ 25%) apatite et zircon. L'hydrazine fait apparaître un pic très net à 10,4 Å, qui met en évidence l'architecture ordonnée de ce minéral à 7 Å.

Ces quelques données montrent la nécessité et l'utilité d'une étude sédimentologique détaillée des composants des lits argileux pour tenter de reconstituer l'histoire initiale du dépôt et donc la nature précise: volcanogénique, diagénétique ou héritée des minéraux en grains qu'ils renferment.

Dans l'ensemble de la série, les argiles des formations marneuses, ou plus argileuses, sont constituées d'un mélange illite-chlorite (cf. Fig. 4) qui ne réagit pas au traitement à l'hydrazine. On le considère, ici, comme un héritage lié à l'érosion du continent voisin. On ne

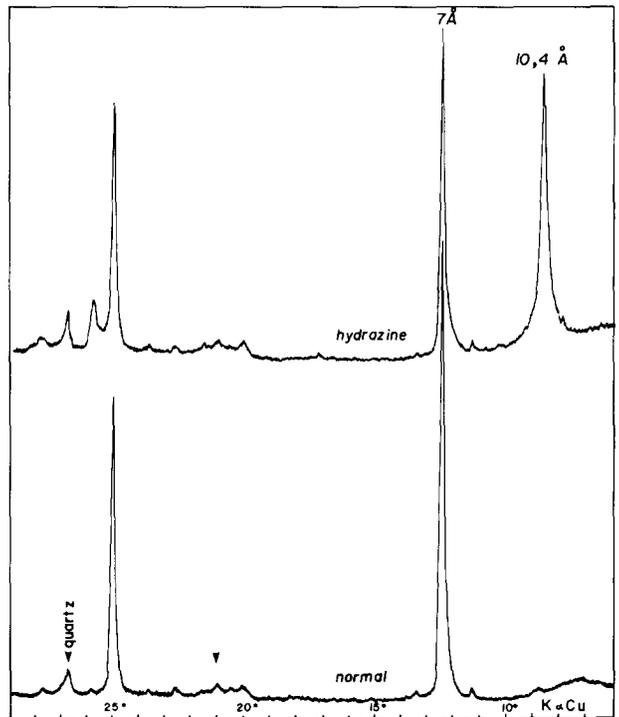


Fig. 3. Diffractogrammes de plaquettes séparées de la bentonite de Hørsne. (Sans traitement: normal, et après traitement à l'hydrazine). Il s'agit de kaolinite très bien cristallisée. Ce minéral argileux est absent de la fraction granulométrique inférieure à 50  $\mu\text{m}$ .

Fig. 3. X-ray diffraction patterns of flat grains from the bentonite at Hørsne; without (normal) and after treatment with hydrazine hydrate. This clay mineral is not present in the <50- $\mu\text{m}$  size fraction of this clay layer.

peut cependant exclure une origine diagénétique précoce encore que, dans des conditions géochimiques proches, des niveaux sus et sous-jacents soient restés non modifiés et que les formations étudiées n'aient jamais été profondément enfouies ni chauffées. Ceci est vérifié, en particulier, par l'absence de brunissement des Conodontes, entièrement clairs, leur indice d'altération de couleur (de 1 à 1,5) correspond à une température inférieure à 50–90°C ceci dénote l'absence d'élévation de température au cours de l'histoire géologique. La tectonisation est extrêmement modérée;

elle est limitée à des accidents cassants très localisés, liés très probablement à des phénomènes de compaction différentielle des sédiments. Ceci se traduit parfois par des injections de bentonite dans des cassures donnant lieu à ce qu'on peut nommer des "bentonites intrusives".

Une altération de surface existe cependant et certains niveaux de bentonites, en particulier les plus élevés dans la série, sont fréquemment blanchis, ou jaunis. Cependant, il est généralement possible soit d'atteindre une partie moins altérée: de couleur gris vert ou gris bleu, soit de choisir un niveau plus ancien protégé du rinçage et de l'altération par infiltration par le niveau imperméable plus récent. Trois niveaux ont été sélectionnés car ils renfermaient une biotite d'apparence fraîche.

### 2.3. Échantillons

La collecte d'échantillons a été grandement facilitée par la possibilité de se référer à un index des localités d'intérêt géologique établi sous l'égide d'un des premiers projets du P.I.C.G.: le projet "Écostratigraphie" de Laufeld (1974).

L'échantillon B 102 provient de la localité Ireviken 3 de Laufeld (1974). Le niveau, extrêmement frais dans une falaise vive, est rapporté aux Lits de Wisby Inférieurs. C'est dans ces lits que l'on place aujourd'hui la limite Llandovery—Wenlock. Cette limite, en Grande Bretagne, est caractérisée par des Conodontes retrouvés à Gotland. En particulier, la bentonite datée est située à l'intérieur de la zone à *Pterospirifer amorphognathoides*. En Grande Bretagne, cette zone s'étend dans le stratotype depuis 0,65 m au-dessous jusqu'à 0,30 m au-dessus de la base de la série du Wenlock (Mabillard et Aldridge, 1985). L. Jeppsson (travail en cours) corrèle cette zone de Conodontes dans sa totalité avec la partie supérieure de la zone de Graptolite à *Octavites spiralis* (encore nommée zone à *M. crenulata* sur la Fig. 2) d'après les répartitions observées dans le sondage de När

(Fig. 1). Il s'ensuit que cette bentonite se situe très près de la limite Llandovery—Wenlock si l'on se réfère à la durée moyenne estimée des zones de Conodontes (Odin et al., 1984) et d'après le fait que la zone à *P. amorphognathoides* se limite à la partie supérieure de la zone de Graptolite à *M. crenulata*.

L'échantillon B 108 est un lit argileux double qui provient de l'affleurement du bord de mer référencé Djupvik 1 et décrit par Laufeld (1974) et Jeppsson (1983). Cet affleurement, encore une fois très riche en fossiles, appartient à la partie inférieure des Lits de Mulde. La présence des Graptolites *Gothograptus nassa* et *Monograptus dubius* permet de corréliser précisément cette formation avec la zone *G. nassa* et la partie inférieure de la chronozone de Gleedon; celle-ci constitue la partie supérieure de l'Homérien, situé dans le Wenlock supérieur défini en Grande Bretagne.

L'échantillon B 126 fut collecté en 1975 près de Hørsne (localité Hørsne 3) lors du creusement d'un canal au bord duquel l'affleurement est aujourd'hui très altéré. Le niveau est rapporté aux lits de Halla, un équivalent latéral des lits de Mulde d'âge Wenlock supérieur.

## 3. Résultats d'analyse

### 3.1. Étude de la fraction argileuse

La fraction argileuse des trois lits dont ont été extraites les biotites, a livré d'utiles informations. L'échantillon B 126 est le plus caractéristique d'une bentonite pure. Il contient une argile essentiellement constituée d'un interstratifié illite—smectite diffractant à 13 et 26 Å (Fig. 4); une faible proportion d'illite et de chlorite s'y ajoute. L'échantillon B 102 contient, lui aussi, un interstratifié I—Sm dominant diffractant vers 12 Å. Mais il s'y ajoute un peu d'illite et de chlorite (Fig. 4). La composition de l'argile de ce lit est semblable à celle d'un lit situé 2,50 m plus bas (B 101, cf. Odin et al., 1984).

La composition de l'argile de l'échantillon B 108 est radicalement différente puisqu'on

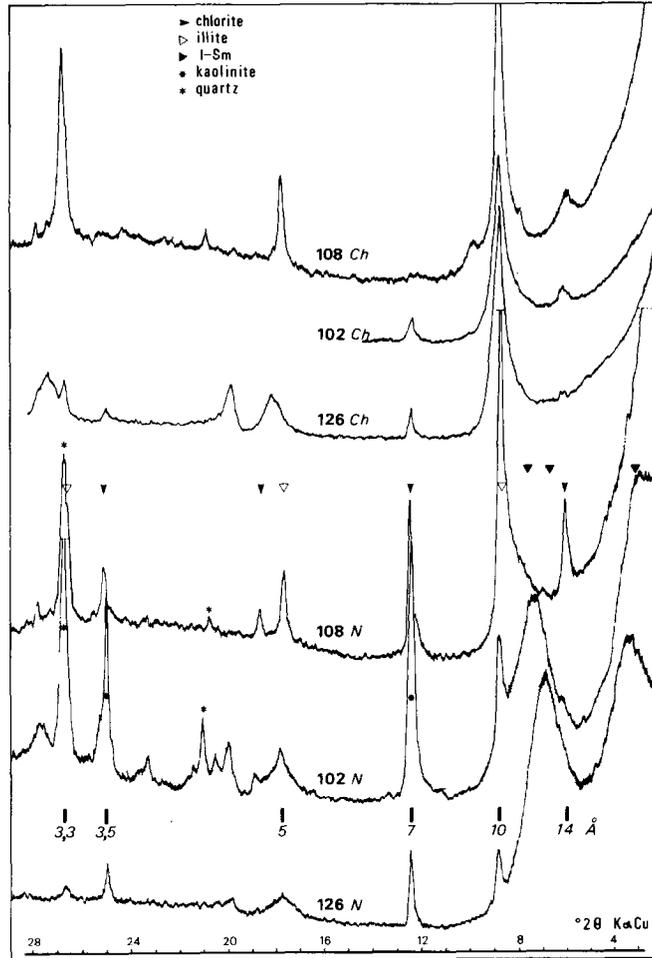


Fig. 4. Diffractogrammes de rayons X des argiles des lits argileux à biotite de Gotland. Les argiles sont orientées; un diagramme de préparation non traitée (*N*) et chauffée (*Ch*) à 490°C durant 4 h est donné pour chaque échantillon.

Fig. 4. X-ray diffraction patterns of clays from biotite-rich clay levels from Gotland. Clays are oriented; each sample has been diffracted without treatment (*N*) and after heating at 490°C for 4 h (*Ch*).

n'y décèle que les pics aigus d'une illite et d'une chlorite dont le pic à 7 Å reste bien développé après chauffage sur certaines préparations mais pas sur toutes (Fig. 4). Là encore, un lit argileux voisin a été étudié 1 m au-dessus du lit double B 108 (B 109, cf. Odin et al., 1984). L'argile de ce lit est tout à fait semblable à celle décrite ici et indique que ces niveaux ont très probablement été resédimentés au contraire de l'échantillon B 126 de même âge stratigraphique. On notera, en

effet, que la composition de l'argile de B 108 est la même que celle des formations sédimentaires carbonatées du reste de la série et non pas celle d'une bentonite type de bassin marin où les intrastratifiés I-Sm dominent.

### 3.2. Étude isotopique

Les biotites ont été séparées et purifiées par lavage, tamisage, séparation magnétique, clivage et traitement aux ultrasons. La fraction

TABLEAU I

Résultats analytiques sur trois biotites du Wenlock de Gotland (Suède)

Échantillon	K, $x \pm 1\sigma$ (%)	$^{40}\text{Ar}$		Âge apparent (Ma)	
		$x \pm 1\sigma$ (nl g <sup>-1</sup> )	(% rad.)	$x \pm 1\sigma$	m.p. $\pm 1\sigma$
B 102 A	7,49 $\pm$ 0,07	141,9 $\pm$ 0,6	99,8	435,2 $\pm$ 4,5	430,5 $\pm$ 3,0
	7,35 $\pm$ 0,07	138,9 $\pm$ 0,6	99,8	427,0 $\pm$ 3,9	
B 108 A	5,88 $\pm$ 0,06	111,8 $\pm$ 0,5	99,8	431,0 $\pm$ 4,3	427,4 $\pm$ 3,0
	5,92 $\pm$ 0,06	109,8 $\pm$ 0,5	99,7	424,0 $\pm$ 4,3	
B 126 B	6,59 $\pm$ 0,07	122,2 $\pm$ 0,5	99,7	423,7 $\pm$ 4,3	425,8 $\pm$ 3,0
	6,57 $\pm$ 0,07	123,6 $\pm$ 0,6	99,6	428,0 $\pm$ 4,4	
LP-6		43,32 $\pm$ 0,11	(moyenne sur 3 mesures)		
GL-O		24,77 $\pm$ 0,07	(moyenne sur 3 mesures)		

m.p. = moyenne pondérée.

500 à 160  $\mu\text{m}$  a été utilisée pour B 102 et B 108 et la fraction 160 à 100  $\mu\text{m}$  pour B 126. Les teneurs en K ont été mesurées indépendamment dans deux laboratoires. L'Ar a été mesuré par le présent organisateur du Projet sur l'appareillage mis au point par M. Flisch à Berne. Trois échantillons de la biotite de référence LP-6 et trois échantillons du minéral de référence "glaucosite GL-O" (Odin et al., 1982) ont été intercalés durant les mesures pour recalibrer la quantité de traqueur de  $^{38}\text{Ar}$  délivré par la micropipette lors de la dilution isotopique (Tableau I).

Les résultats analytiques de K, obtenus sur des quantités supérieures à 300 mg, sont très reproductibles, compte-tenu de la marge d'erreur admise, même si l'on ne considère que l'intervalle de confiance de 66% ( $1\sigma$ ). Par contre, la précision des mesures individuelles d'Ar est supérieure à la reproductibilité à courte échéance des analyses répétées (Tableau I). Ceci est lié au fait que les analyses ont porté sur des prélèvements de faible poids compris entre 30 et 50 mg pour l'Ar. Ces prélèvements sont inférieurs au seuil de bonne reproductibilité car les échantillons de biotite ne sont pas suffisamment homogènes. Ceci nous a conduit à doubler systématiquement ces analyses. Une bien meilleure repro-

ductibilité a été obtenue pour les matériaux de référence qui sont plus homogènes et dont on prélève toujours plus de 75 mg pour chaque mesure. Concernant la qualité des biotites datées, on remarquera que la biotite la plus pauvre en K (B 108) est celle pour laquelle nous avons les présomptions les plus claires d'un dépôt en deux temps d'après la composition des argiles décrite plus haut. Ceci semble indiquer qu'elle a subi un début d'altération après avoir été émise par le volcan et avant d'être sédimentée dans les Lits de Mulde.

#### 4. Discussion et conclusions

Compte-tenu des conditions de gisements très favorables, de la richesse relative en K des biotites analysées, et de la cohérence interne des âges calculés, on peut assurer que les âges apparents des biotites de Gotland caractérisent assez fidèlement l'époque de dépôt des lits argileux plus spécialement pour les bentonites B 126 et B 102. L'âge de 430,5 Ma serait donc caractéristique de la base du Wenlock tandis que l'âge moyen des deux échantillons B 108 et B 126: 426,6 Ma, caractériserait l'âge de dépôt des formations du Wenlock supérieur. On n'a pas d'assurance litho-

stratigraphique sur l'équivalence exacte des deux derniers niveaux datés car il y en a plusieurs dans les Lits de Mulde notamment. Mais s'ils ne sont pas exactement contemporains, le niveau de Hørsne étant plus probablement très légèrement plus jeune, ils sont très proches dans le temps. Les divers âges obtenus se succèdent ainsi dans l'ordre stratigraphique normal. Cependant, si l'on tient compte d'une marge d'incertitude analytique réaliste de  $\pm 6$  Ma, les âges moyens pondérés calculés ne sont pas très différents. Ils ne sont pas très différents non plus des âges que nous avons mesurés par ailleurs pour le Ludlow inférieur de Grande Bretagne ( $420.0 \pm 8.0$  Ma; Odin et al., 1986).

Tous ces résultats sont remarquablement cohérents et les différences modérées entre ces âges sont sans doute significatives. Ces informations sont très instructives. Jusque vers 1981, les données très peu nombreuses permettaient le doute sur l'âge de la base du Silurien; un âge de plus de 430 Ma étant suggéré par Lanphere et al. (1977) tandis qu'à la suite de Gale et al. (1979), un âge inférieur à 420 Ma pouvait être défendu. La résolution de ce dilemme par l'utilisation des âges trace de fission (Ross et al., 1982) n'était pas convaincante pour tous par suite des grandes incertitudes analytiques et méthodologiques de ce type de datation (Storzer et Wagner, 1982). L'un des buts majeurs du présent projet du P.I.C.G. était donc de lever ce doute.

Les propositions pour des âges inférieurs à 425 Ma pour la limite Ordovicien—Silurien (Gale, 1982, 1985) ne semblent plus justifiées aujourd'hui étant donnés les résultats obtenus sur les biotites de Gotland. Celles-ci indiquent et confirment que la base du Silurien doit être plus ancienne que 430 Ma comme l'ont soutenu Lanphere et al. (1977) ainsi que Ross et al. (1982) avant nous. Ces âges préliminaires, bien que très cohérents et obtenus dans des conditions favorables, devront être complétés par des analyses sur d'autres types de chronomètres pour renforcer la confiance qui peut leur être accordée et obtenir, peut-être, des

âges plus précis. On notera, pour finir, combien l'étude sédimentologique des formations datées et notamment celle des argiles, est importante pour interpréter correctement les âges mesurés. L'étude se poursuivra à la fois pour la géochimie des argiles et pour la datation des minéraux pyroclastiques par d'autres méthodes géochronologiques.

### Remerciements

La réunion de terrain durant laquelle ces échantillons ont été récoltés a été organisée et réalisée grâce à l'aide financière commune U.I.S.G.—UNESCO pour le P.I.C.G. complétée par une bourse du comité français du P.I.C.G. à l'un de nous (G.S.O.). Le projet suédois Écostratigraphie, dirigé par S. Lauffeld, a mis à notre disposition la remarquable station géologique d'Allekvia à Gotland. L'Université de Copenhague et la mission de coopération franco-danoise ont aidé financièrement les récoltes à Bornholm; de même, l'Université et le Geologisk Museum d'Oslo ont participé aux frais. De plus, l'aide et l'accueil de MM. G. Henningsmoen et B. Sundvoll à Oslo et de O. Larsen à Copenhague ont grandement facilité notre travail; nous les remercions vivement. Nous sommes aussi redevables à MM. G. Bonhomme et M. Delaloye dont les commentaires ont permis d'améliorer ce manuscrit.

L'analyse isotopique a été permise grâce au financement du Fonds National Suisse, à Berne, et du C.N.R.S. français. Les recherches de L.J. ont été rendues possibles par les crédits attribués par le Conseil National de la Recherche Scientifique Suédois (N.F.R.).

### Bibliographie

- Baadsgaard, H. et Lerbekmo, J.F., 1982. The dating of bentonite beds. In: G.S. Odin (Rédacteur), *Numerical Dating in Stratigraphy*. Wiley, Chichester, pp. 423—440.
- Bonhomme, M.G., 1982. The use of Rb—Sr and K—Ar dating methods as a stratigraphic tool applied to sedimentary rocks and minerals. *Pre-cambrian Res.*, 18: 5—25.

- Gale, N.H., 1982. Numerical dating of Caledonian times. In: G.S. Odin (Rédacteur), Numerical Dating in Stratigraphy. Wiley, Chichester, pp. 467-485.
- Gale, N.H., 1985. Numerical calibration of the lower Palaeozoic time scale. In: N.J. Snelling (Rédacteur), Geochronology and the Geological Record. Geol. Soc. London, Spec. Vol., 10: 81-88.
- Gale, N.H., Beckinsale, R.D. et Wadge, A.J., 1979. A Rb-Sr whole rock isochron for the Stockdale Rhyolite. J. Geol. Soc. London, 136: 235-242.
- Hede, J.E., 1942. On the correlation of the Silurian of Gotland. Lunds Geol. Fältklubb, 1892-1942, pp. 205-229.
- Jäger, H., 1981. Comments on the graptolite chronology of Gotland. In: S. Laufeld (Rédacteur), Proceedings of Project Ecostratigraphy Plenary Meeting, Gotland, 1981. Sver. Geol. Unders., Rapp. Medd., No. 25, p. 12.
- Jeppsson, L., 1983. Silurian conodont faunas from Gotland. Fossils Strata, 15: 121-144.
- Lanphere, M.A., Churkin, M. et Eberlein, G.D., 1977. Radiometric ages of the *Monograptus cyphus* graptolite zone in S. Alaska. Geol. Mag., 114: 15-24.
- Laufeld, S., 1974. Reference localities for paleontology and geology in the Silurian of Gotland. Sver. Geol. Unders., Ser. C, No. 705, 172 pp.
- Laufeld, S. et Jeppsson, L., 1976. Silicifications and bentonites in the Silurian of Gotland. Geol. Fören. Stockholm Förh., 98: 31-44.
- Mabillard, J.E. et Aldridge, R.J., 1985. Microfossil distribution across the base of the Wenlock Series in the type area. Palaeontology, 28: 89-100.
- Martinsson, A., 1967. The succession and correlation of Ostracode faunas in the Silurian of Gotland. Geol. Fören. Stockholm Förh., 89: 350-386.
- Odin, G.S. (Rédacteur), 1982. Numerical Dating in Stratigraphy. Wiley, Chichester, 1094 pp.
- Odin, G.S. et al., 1982. Interlaboratory standards for dating purpose. In: G.S. Odin (Rédacteur), Numerical Dating in Stratigraphy. Wiley, Chichester, pp. 123-150.
- Odin, G.S., Spjeldnaes, N., Jeppsson, L. et Thorshoj-Nielsen, A., 1984. Possibilities of time scale calibration of the Silurian in diverse (P.T.) environments in Scandinavia. Bull. Liais. Info., P.I.C.G. (Prog. Int. Correl. Géol.), Proj. No. 196, 3: 6-23.
- Odin, G.S., Hurford, J.A., Morgan, D.J. et Toghil, P., 1986. K-Ar biotite data for Ludlovian bentonites from Great Britain. In: G.S. Odin (Rédacteur invité), Calibration of the Phanerozoic Time Scale. Chem. Geol. (Isot. Geosci. Sect.), 59: 127-131 (ce numéro spécial).
- Person, A., 1982. The genesis of bentonites. Dans: G.S. Odin (Rédacteur), Numerical Dating in Stratigraphy. Wiley, Chichester, pp. 407-421.
- Ross R.J., Naeser, C.W. et al., 1982. Fission track dating of British Ordovician and Silurian stratotypes. Geol. Mag. 119: 135-153.
- Snäll, S., 1976. Silurian and Ordovician bentonites of Gotland. Acta Univ. Stockholm., No. 31, 80 pp.
- Storzer, D. et Wagner, G., 1982. The application of fission track dating in stratigraphy. In: G.S. Odin (Rédacteur), Numerical Dating in Stratigraphy. Wiley, Chichester, pp. 199-221.
- Williams, I.S., Tetley, N.W., Compston, W. et McDougall, I., 1982. A comparison of K-Ar and Rb-Sr ages of rapidly cooled igneous rocks; two points in the Palaeozoic time scale reevaluated. J. Geol. Soc. London, 139: 557-568.