

Bull. Soc. belge de Géologie Bull. Belg. Ver. voor Geologie	T. 90 V. 90	Fasc. 4 Deel 4	pp. 299-316 blz. 299-316	Bruxelles 1981 Brussel 1981
--	----------------	-------------------	-----------------------------	--------------------------------

## DIAGENÈSE ET MÉTAMORPHISME DES DOMAINES CALEDONIEN ET HERCYNIEN DE LA VALLÉE DE LA MEUSE ENTRE CHARLEVILLE-MÉZIERES ET NAMUR (ARDENNES FRANCO-BELGES)

par Ph. DANDOIS (\*)

**RESUME.** - Les mesures de la cristallinité de l'illite sont peut-être à même de servir de complément indispensable à l'étude du métamorphisme des Ardennes, jusqu'ici réalisée essentiellement par l'intermédiaire des "minéraux du métamorphisme".

La coupe de la vallée de la Meuse entre Charleville-Mézières et Namur nous a permis d'effectuer une étude assez systématique des terrains cambriens, dévoniens et carbonifères représentés en affleurements. La tendance obtenue par la distribution des indices de cristallinité a été confrontée aux données de l'analyse minéralogique de la fraction argileuse ( $< 2 \mu$ ).

Elle semble confirmer l'hypothèse, déjà avancée par BEUGNIES, d'un métamorphisme par enfouissement, apparaissant donc comme antérieur à la tectonique hercynienne.

**ABSTRACT.** - The illite crystallinity may prove to be a powerful tool in the interpretation of the metamorphism of the Ardennes the study of which has previously relied on index minerals. The present study was based on systematic sampling of exposed Cambrian, Devonian and Carboniferous rocks in the Valley of the Meuse between Charleville-Mézières and Namur. Measured illite crystallinity indices were checked against mineralogical analysis of the clay fraction ( $< 2 \mu$ ).

Results appear to confirm BEUGNIES's hypothesis that the Ardennes suffered pre-hercynian burial metamorphism.

### INTRODUCTION.

Depuis de nombreuses années, les études consacrées au métamorphisme des Ardennes (belges et françaises) ont révélé la présence, dans les séries calédoniennes aussi bien qu'hercyniennes, de minéraux du métamorphisme tels les chloritoïdes, grenats, épidotes, amphiboles, biotites, magnétites, chlorites ... (BEUGNIES, 1963; FOURMARIER et al., 1968; de BETHUNE, 1977).

---

(\*) Laboratoire de Pétrographie, Université Catholique de Louvain,  
Place Louis Pasteur 3, B-1348 Louvain-la-Neuve, Belgique.

Cependant, le caractère souvent local de leur apparition a toujours rendu délicates les tentatives d'établissement d'une zéonographie métamorphique à grande échelle (de BETHUNE, 1958; BEUGNIÉS, 1963). Les travaux récents de de BETHUNE (1977) ont en effet montré que la néoformation de ces minéraux est liée non seulement aux conditions métamorphiques proprement dites (pression, température) mais aussi au chimisme des roches dans lesquelles ils se développent. Les minéraux du métamorphisme semblent donc incapables, à eux seuls, de fournir une solution au problème de la zéonographie métamorphique des Ardennes.

Pour cette raison, il nous a paru intéressant de tenter d'appliquer la technique de WEAVER, utilisant les mesures de "cristallinité de l'illite" comme paramètre d'estimation du degré d'évolution diagénétique ou métamorphique acquis par les roches. Nous avons choisi, pour ce faire, la coupe de la vallée de la Meuse entre Charleville-Mézières et Namur. La tendance observée par la distribution des indices de cristallinité le long de cette coupe a été confrontée aux données de l'analyse minéralogique qualitative et semi-quantitative de la fraction argileuse ( $< 2 \mu$ ).

## CONTEXTE GEOLOGIQUE.

La Vallée de la Meuse entre Charleville-Mézières et Namur recoupe un ensemble stratigraphique comprenant les séries cambriennes (Devillien et Revinien) du Massif de Rocroi ainsi que la série complète du Dévonien inférieur au Namurien en contact transgressif vers le nord sur le socle calédonien (Fig. 1).

Cet ensemble, affecté au cours des tectogenèses calédonienne et hercynienne par plusieurs phases de déformations (DELVAUX de FENFFE, 1980), montre une succession de plis de premier ordre, de direction axiale grosso-modo est-ouest qui, au départ de Charleville, forment :

- le synclinorium de Neufchâteau,
- la zone anticlinale du Massif de Rocroi,
- le synclinorium de Dinant,
- une zone anticlinale : la bande silurienne du Condroz au niveau de laquelle se réalise, par l'intermédiaire de la faille du Midi, le chevauchement du synclinorium de Dinant sur celui de Namur,
- le synclinorium de Namur.

De par cette structure, nous avons été amenés à recouper, en plusieurs endroits de la coupe, les mêmes niveaux stratigraphiques pouvant parfois, dans le cas d'extensions importantes, correspondre à des conditions paléogéographiques différentes (par ex., les séries esniennes des bords nord et sud du synclinorium de Dinant).

Les degrés d'évolution diagénétique ou métamorphique acquis par les roches, extrapolés dans l'interprétation à la totalité de leur niveau stratigraphique respectif, n'ont été estimés ici que par l'analyse exclusive des roches pélitiques fines (schisteuses, à la limite calcschisteuses). Une telle restriction dans le type d'échantillons étudiés se justifie par le souci que nous avons eu de pouvoir comparer directement l'ensemble des cristallinités obtenues. Il va sans dire que l'étude d'échantillons d'autres lithologies peut fournir des renseignements complémentaires indispensables mais doivent alors être interprétés indépendamment, en tant qu'entités bien particulières, vu leur contexte sédimentologique et diagénétique propre.

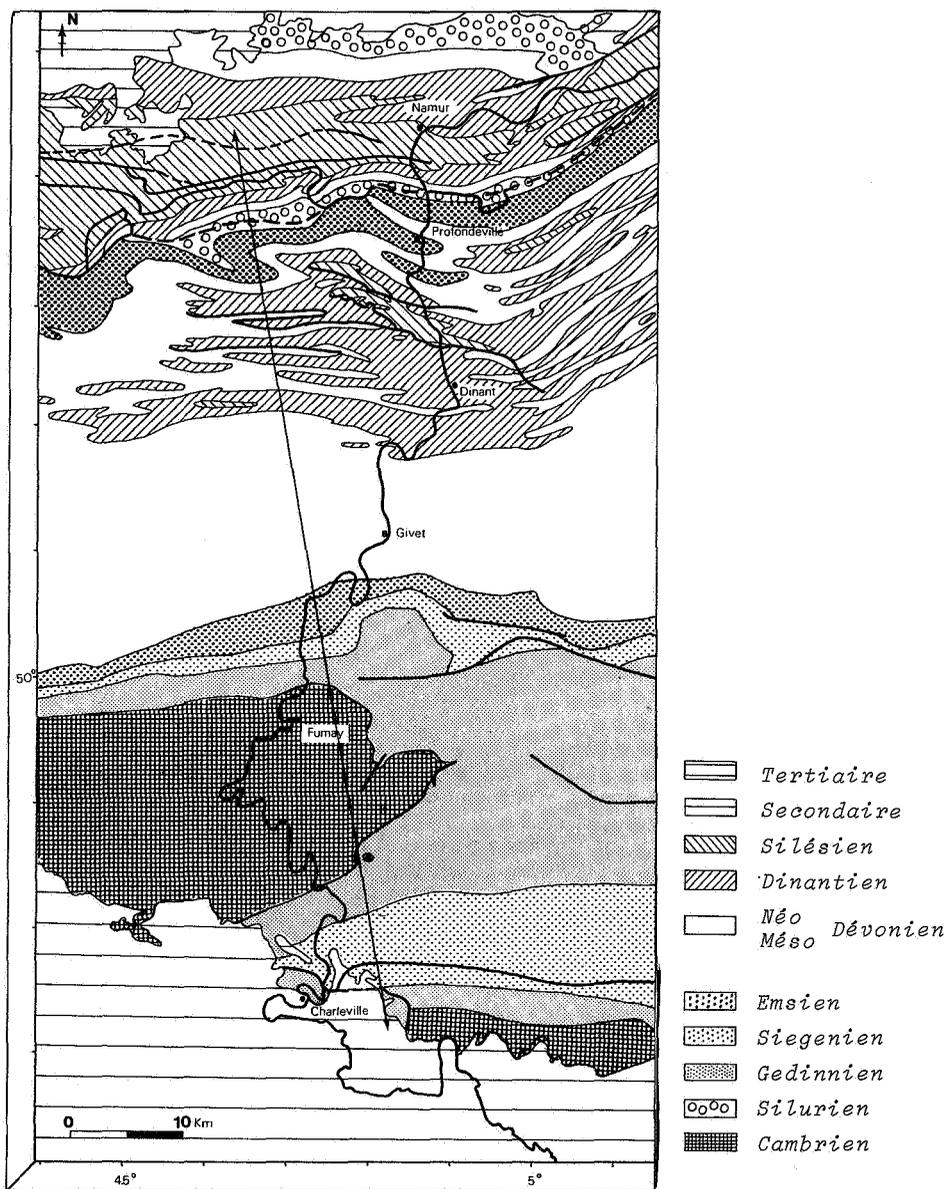


Fig. 1 - Situation géographique et cadre géologique de la coupe de la vallée de la Meuse entre Charleville-Mézières et Namur. La droite de direction NNW-SSE correspond au profil le long duquel les points d'échantillonnage ont été projetés (cfr. fig. 2a).

## PREPARATION DES ECHANTILLONS ET APPAREILLAGE.

La fraction inférieure à 2 microns, sur laquelle sont réalisées les mesures de "cristallinité" ainsi que les analyses minéralogiques qualitatives et semi-quantitatives, est extraite des roches suivant la technique utilisée en routine au Laboratoire de Sédimentologie et Géochimie de la Surface à Strasbourg (THIRY, 1978). Les pâtes orientées obtenues sont analysées aux R. X. après chacun des traitements classiques :

- N au normal, séchée à l'air libre
- E.G. saturée à l'éthylène-glycol dans un dessiccateur pendant 12 h.
- Q chauffée à 490°C pendant 4 h.
- Hy saturée à l'hydrazine-monohydrate dans un dessiccateur pendant 12 h.

Le diffractomètre (Philips) utilisé est celui du Laboratoire de Strasbourg pour lequel les constantes de réglage sont les suivantes :

Tube	Cu K $\alpha$ - filtre Ni
Tension	40 kV
Courant	20 mA
Vitesse gonio	1°/mn
Fentes	0.2 - 1°
Sensibilité	8 - 4 - 1

## CRISTALLINITÉ DE L'ILLITE.

Le terme d'"illite", comme le rappelle KUBLER (communication personnelle), doit être compris dans le sens non d'une espèce minéralogique bien définie mais plutôt comme un ensemble de minéraux dont un des types extrêmes serait représenté par la muscovite, minéral à réseau le plus parfait, possédant la meilleure cristallinité. A l'autre extrémité, on trouverait, possédant un désordre presque parfait, des structures interstratifiées, à taux variables, de feuillets dioctaédriques, à réseau plus ou moins désordonné, et des couches le plus souvent apparentées à la famille des smectites. Entre ces deux pôles, la série est continue et l'un des moyens de suivre les étapes du perfectionnement de ces structures, témoins du degré d'évolution diagénétique ou métamorphique subi, consiste à en déterminer la cristallinité en mesurant la largeur à mi-hauteur, au-dessus du bruit de fond, de leur pic 001 de diffraction X. La mesure de cette largeur, proposée par KUBLER (1967) et connue sous le nom de "largeur de Scherrer", palie aux inconvénients du "quotient" de Weaver, défini initialement pour caractériser le degré de cristallinité des illites. En effet, ce quotient, résultat du rapport des intensités du pic 001 à 10 Å et 10, 5 Å, devient inefficace dès l'entrée dans la diagenèse profonde (et jusque l'épizone) où les pics de diffraction X des illites s'affinent de plus en plus.

Le diagramme de la figure 2a rassemble nos propres données ainsi que celles de BOUABDELLI (1978) et de GROSS et THORETTE (1980), ce qui représente près de 160 échantillons prélevés, pour la plupart, le long de la Meuse ainsi qu'à l'affleurement de plusieurs talus de routes avoisinantes.

En abscisse, se trouve reportée la droite arbitraire, de direction NNW-SSE, le long de laquelle l'ensemble des points d'échantillonnage ont été projetés (cfr. fig. 1). L'ordonnée reprend, en indices DUNOYER, les "indices de cristallinité" ainsi que les valeurs des limites inférieure et supérieure du domaine anchizonal (DUNOYER de SEGONZAC, 1969).

De manière générale, un seul échantillon a été prélevé par affleurement et une mesure unique de cristallinité a été réalisée. Cependant, à l'affleurement de six d'entre eux, nous avons multiplié l'échantillonnage dans 5 à 10 niveaux schisteux différents, distants les uns des autres de + 50 cm. Il est apparu que, pour plusieurs échantillons prélevés à un même affleurement, les cristallinités pouvaient varier et ce d'autant plus fortement que la composition minéralogique variait (granulométrie, pourcentage en illites détritiques, teneur en quartz, ...). Un contrôle pétrographique s'avère donc toujours utile voire indispensable. Cet essai, complété d'un test de reproductibilité strictement instrumentale, nous a amené à définir, pour ces six échantillons, des intervalles de confiance (à 97,5 %) à 2S relatifs de 15 à 17 %. Ceux-ci ont été figurés, dans le diagramme 2a, par des traits verticaux. Par extrapolation, c'est l'ensemble des mesures de cristallinité qu'il conviendra, par la suite, de considérer comme affectées d'intervalles de confiance de même ordre de grandeur et non en tant que valeurs ponctuelles. Il est intéressant de noter que la diminution absolue de la variation des indices avec l'amélioration de la cristallinité est en parfait accord avec les tests déjà réalisés par KUBLER (1968). La principale conséquence de cette remarque est que, s'il ne se réalise pas de recouvrement entre valeurs moyennes des différents domaines (épizone, anchizone, diagenèse), il faut se garder, comme c'est encore souvent le cas, d'interprétations hasardeuses sur des variations faibles de cristallinité à l'intérieur d'un même domaine ou aux frontières entre ceux-ci.

Depuis Charleville-Mézières, limite méridionale de l'affleurement des séries hercyniennes, et jusqu'à hauteur approximative de Montignies-sur-Meuse, les indices de cristallinité confèrent à l'ensemble des terrains concernés un caractère franchement épizonal. On y trouve le dévonien inférieur du synclinorium de Neufchâteau, le Cambrien du Massif de Rocroi ainsi qu'une partie de la couverture gedinienne de son bord nord. Les sigles surmontés d'un "p", à valeur parfois anchizonale, correspondent aux échantillons à paragonite ou à interstratifiés paragonite - phengite. Il convient de ne pas les comparer avec les autres valeurs dans la mesure où le pic 001 de la paragonite (à 9,6 Å), interférant avec celui à 10 Å de l'illite, est responsable de l'élargissement parfois sensible de ce dernier.

Au delà de Montignies-sur-Meuse et dans tout le synclinorium de Dinant, l'ensemble du Dévonien inférieur, moyen et supérieur ainsi que le Tournaisien appartiennent au domaine anchizonal. La seule exception à cette tendance est le Dévonien inférieur du bord nord du synclinorium qui, avec les terrains les plus jeunes, Viséen et Namurien du synclinorium de Dinant et Namurien du synclinorium de Namur, appartient au domaine diagénétique. Les valeurs de cristallinité des échantillons du Tournaisien et du Viséen surmontés d'un "c", correspondant en fait à des niveaux cinéritiques, doivent, ici aussi, être interprétés indépendamment des autres vu les conditions de genèse et d'évolution particulières de ce type de sédiment.

Des confirmations de l'appartenance de tous ces niveaux stratigraphiques aux différents domaines d'évolution, épizonal,

anchizonal ou diagénétique peuvent être apportées par l'analyse minéralogique détaillée de la fraction  $< 2\mu$  des roches.

### ANALYSE MINÉRALOGIQUE.

La figure 2b reprend, sous une forme synthétique, l'ensemble des données minéralogiques de la fraction argileuse ( $< 2\mu$ ) des roches.

Elles se trouvent exprimées sous deux formes : qualitative d'une part et semi-quantitative de l'autre. Cette dernière consiste en une estimation des proportions des différents minéraux présents dans chaque échantillon par simple sommation et règle de trois sur les hauteurs de certains de leurs pics de diffraction.

Outre les minéraux phyllosilicatés que nous allons décrire plus en détail, on observe couramment de petites quantités de quartz, albite et feldspath potassique.

### ILLITE.

L'illite, prise au sens le plus large du terme, représente l'élément prédominant de la fraction argileuse de l'ensemble des roches. Pour certaines d'entre elles, peu nombreuses, elle est même le seul minéral présent. L'approche cristalochimique de ces miné-

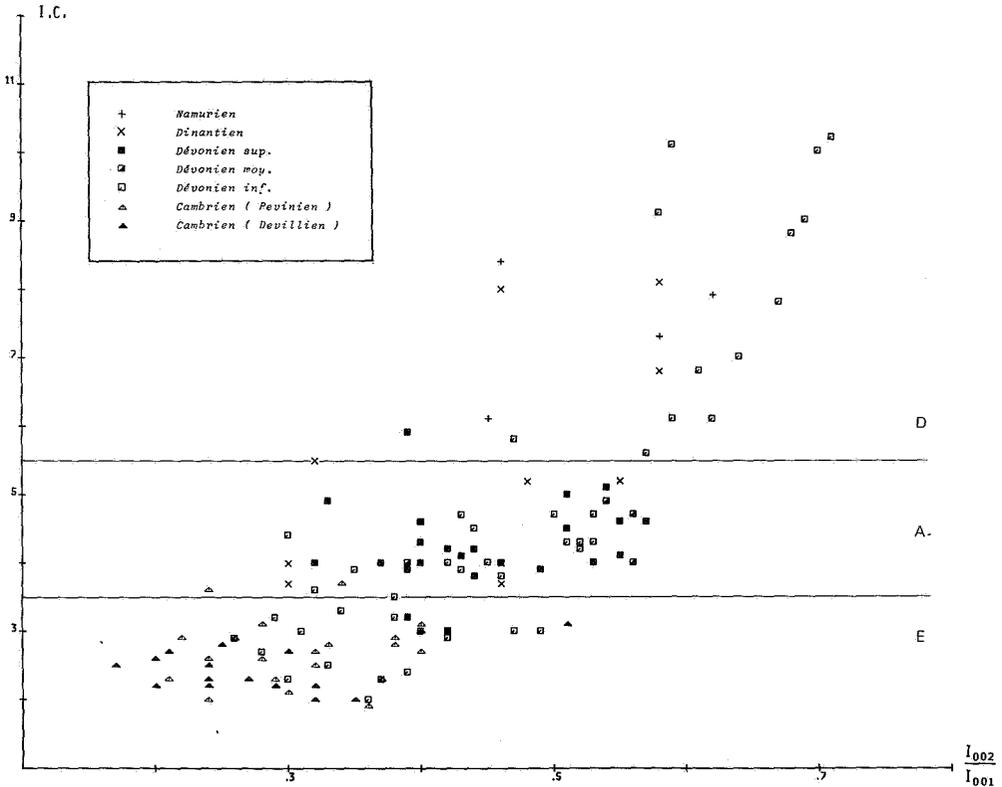


Fig. 3 - Caractérisation des illites selon la méthode d'Esquevin. N'ont pas été reportés, les échantillons à paragonite et les cinérites.

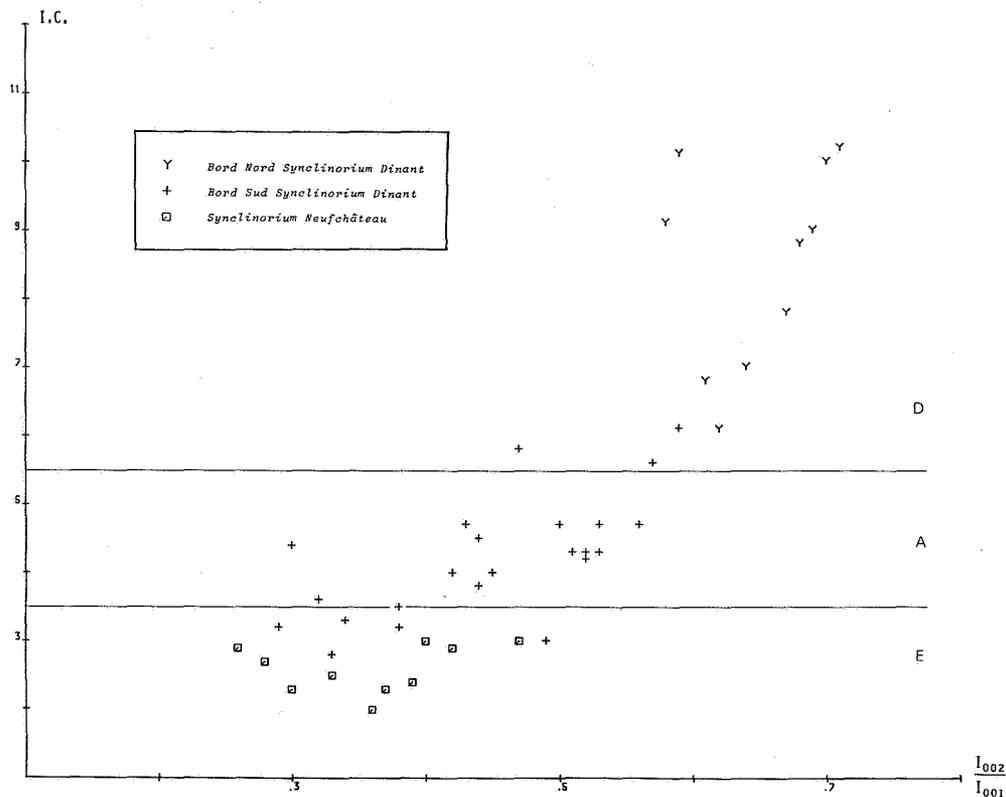


Fig. 4 - Caractérisation des illites du Dévonien inférieur uniquement selon la méthode d'Esquevin.  
Les échantillons à paragonite n'ont pas été reportés.

raux par analyses chimiques classiques, fluorescence X ou microsonde électronique ... est rendue délicate du fait de leur association quasi systématique avec d'autres minéraux dont essentiellement la chlorite. Il subsiste cependant un paramètre dont la mesure est relativement aisée et pour ainsi dire non influencée par la présence d'autres minéraux : l'indice d'Esquevin. Il s'exprime sous forme d'un rapport : celui des intensités de deux pics de diffraction X de l'illite :  $I_{002}/I_{001}$  (ESQUEVIN, 1969). Initialement défini comme directement proportionnel à la quantité de Al ou de Fe + Mg en position octaédrique et exprimant ainsi le caractère alumineux (pour un rapport  $> 0,4$ ) ou ferro-magnésien (rapport  $< 0,4$ ) des illites, il semble aujourd'hui presque acquis que cette relation est fautive (DUNOYER de SEGONZAC et HEDDEBAUT, 1971; DUNOYER de SEGONZAC et HICKEL, 1972).

Nous avons cependant tenu à présenter le diagramme d'Esquevin non dans le but d'en tirer une interprétation mais simplement pour montrer que, les mesures de ce paramètre étant loin de se distribuer de manière aléatoire (figs. 3 et 4), les tendances observées doivent correspondre à quelque chose et qu'il serait intéressant de chercher à redéfinir de manière plus précise la signification de ce paramètre.

Il est un fait bien connu, même s'il subsiste encore une certaine incertitude quand aux mécanismes cristallochimiques intimes, que les illites de l'épizone sont le résultat de la transformation, sous l'effet de conditions métamorphiques croissantes, d'édifices interstratifiés irréguliers illite - montmorillonite (DUNOYER de SEGONZAC, 1969). Les étapes du perfectionnement de la structure de ces édifices, correspondant à une diminution progressive de leur taux d'interstratification, peuvent se suivre à l'aide de la mesure de deux paramètres caractéristiques.

Le premier, résultant entre autres des travaux de HOWER et MOWATT (1966), REYNOLDS et HOWER (1970) et fréquemment utilisé par KISCH (1980a, 1980b), fait appel aux mesures des largeurs à mi-hauteur des pics 001 au normal et à l'éthylène-glycol. Elles mettent

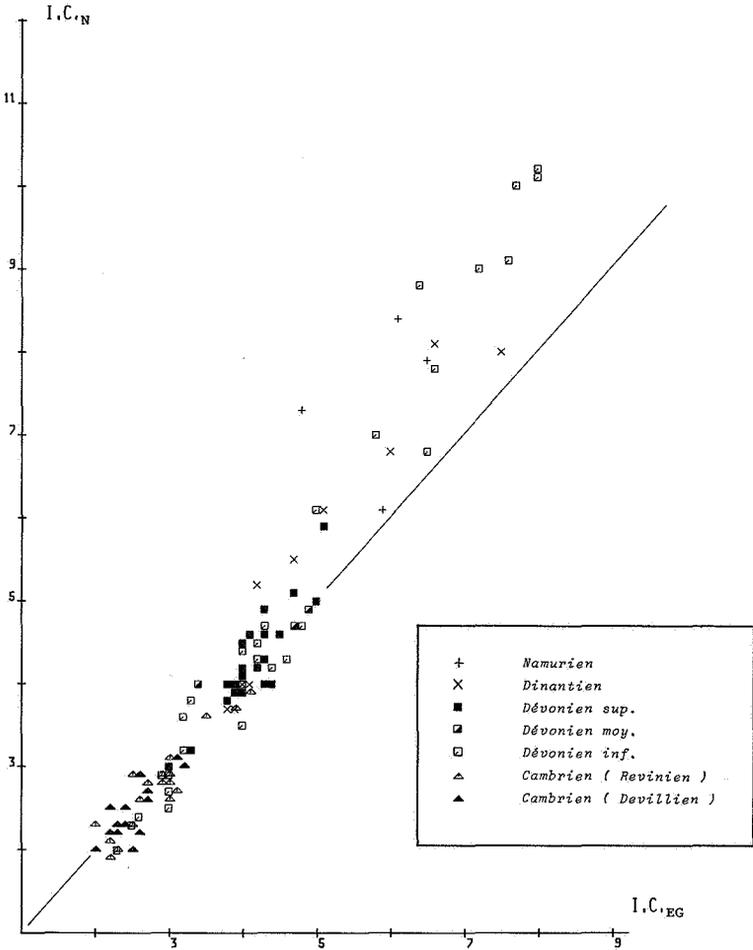


Fig. 5 Evolution du taux d'interstratification smectitique dans les illites (10 - 14<sub>Sm</sub>)<sub>I</sub>. Les échantillons à paragonite et les cinérites ne sont pas reportés. IC<sub>N</sub> = indice de cristallinité du pic 001 au normal. IC<sub>EG</sub> = indice de cristallinité du pic 001 à l'éthylène-glycol.

en évidence, comme le montre la figure 5, que, pour les indices de cristallinité élevés ( $>5.5$ ), la largeur du pic à l'E.G. est systématiquement plus petite que celle du pic au N. Cet effet résulterait du gonflement, à l'E.G., des feuilletts smectitiques interstratifiés entraînant un déplacement vers les petits angles de leur composante diffractométrique (KUBLER, 1961; REYNOLDS et HOWER, 1970), celle-ci étant d'autant plus importante que le taux d'interstratification est plus élevé. Or, on observe également que plus les indices de cristallinité (au N) se rapprochent de 5.5, plus l'affinement du pic à l'E.G. est faible, ce qui semble bien en accord avec le principe selon lequel le taux d'interstratification des structures illitiques décroît avec l'accroissement du degré d'évolution

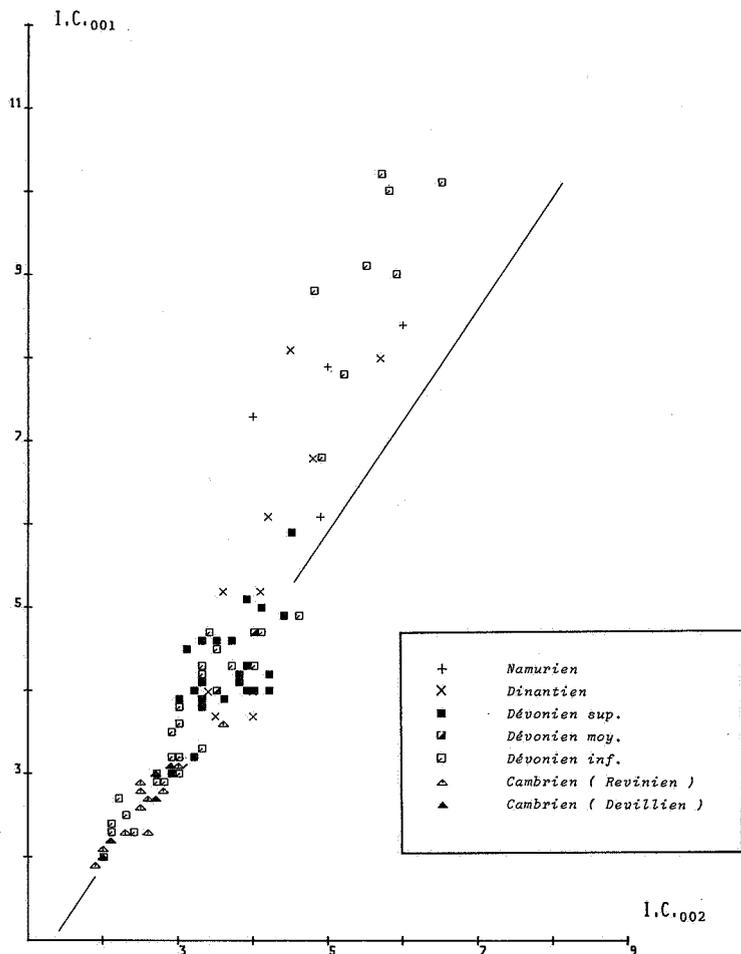


Fig. 6 Evolution du taux d'interstratification dans les illites ( $10 - 14_{SM}$ )<sub>I</sub> par la méthode de Shirozu et Higashi. Les échantillons à paragonite et les cinérites ne sont pas reportés. IC<sub>001</sub> = indice de cristallinité du pic 001. IC<sub>002</sub> = indice de cristallinité du pic 002.

des roches. C'est ainsi que, pour les indices de cristallinité inférieurs à 5.5, les largeurs du pic à 10 Å au N et à l'E.G. deviennent sensiblement égales. Il s'agit alors d'illites soit totalement dépourvues d'interstratification, et c'est certainement le cas des illites épizonales, soit dotées d'un taux d'interstratification pouvant encore aller jusque plus ou moins 5 %, limite de détection à laquelle parviennent, selon REYNOLDS (1980), les méthodes de diffraction X en routine.

L'existence de cette interstratification apparaît également lors des mesures des largeurs à mi-hauteur des pics 001 et 002 au normal. Selon SHIROZU et HIGASHI (1972), "bien que de nombreux facteurs contribuent à l'élargissement d'un pic, on devrait s'attendre, pour un matériel ne contenant pas d'interstratifiés, que ces deux largeurs soient sensiblement égales. Dans ce cas, les largeurs des pics dépendraient principalement de la cristallinité et de la granulométrie du minéral, à l'exception des facteurs instrumentaux". Dès lors, toutes les illites pour lesquelles les différences de largeurs de pic sont significatives s'interprètent comme dotées d'un certain taux d'interstratification, semble-t-il directement proportionnel à l'importance de ces différences. D'après la figure 6, il apparaît que, pour des cristallinités élevées (jusque plus ou moins 5.5), les points montrent une distribution sensiblement linéaire. Ce n'est que pour des valeurs supérieures à 5.5 (c'est-à-dire au-delà de la limite anchizone-diagenèse) que se marque une rupture, signe d'un taux d'interstratification croissant. Il est intéressant de noter que cette limite coïncide parfaitement avec celle de la fig. 5.

#### CHLORITE.

Présente dans la grande majorité des échantillons, la chlorite apparaît comme légèrement plus abondante dans ceux du domaine épizonal. En raison de son association systématique avec l'illite, il nous a paru intéressant de voir s'il existait une corrélation entre leurs indices de cristallinité respectifs, celui de la chlorite étant défini comme la largeur à mi-hauteur de son pic à 7 Å (LÉ CORRE, 1975). Il est bien entendu que nous avons soigneusement évité de réaliser des mesures de cristallinité aussi bien sur les illites des échantillons à paragonite que sur les chlorites de ceux à interstratifiés ( $14C - 14V$ )<sub>I</sub> et ( $C - M$ )<sub>R</sub> ainsi qu'à kaolinite. La figure 7 montre qu'il existe une certaine corrélation, bien que faible, entre ces paramètres. Cependant, comme l'ont déjà montré LÉ CORRE (1975) et SCHAER et PERSOZ (1976), les variations d'indices des chlorites sont beaucoup plus faibles (2 à 4) que celles des illites (2 à 10). Et si, tout comme pour ces dernières, on considère non les valeurs absolues de cristallinité mais les fourchettes de valeurs (2s relatif minimum de 8 à 10 %), on obtient pour les chlorites un recouvrement systématique des mesures qui fait disparaître toute corrélation.

Du point de vue approche cristallographique, plusieurs paramètres cristallographiques ont été comparés les uns avec les autres sans permettre d'établir des corrélations valables. Seule la comparaison des deux paramètres définis par BRINDLEY et GILLERY (1956) et BROWN et BRINDLEY (1980) semble faire ressortir certains éléments intéressants. Le premier de ces paramètres ( $I_{001}/I_{002}$ ) exprime la teneur en fer des chlorites, l'autre ( $I_{003}/I_{001}$ ) sa répartition entre les sites octaédriques du feuillet 2 : 1 et la couche brucitique.

L'ensemble des chlorites, si l'on exclut les édifices interstratifiés, et quelque soit l'âge des roches dans lesquelles elles se trouvent, se situent vers le pôle Fe. Cependant, alors que la majorité d'entre elles montre une tendance à l'équilibre de

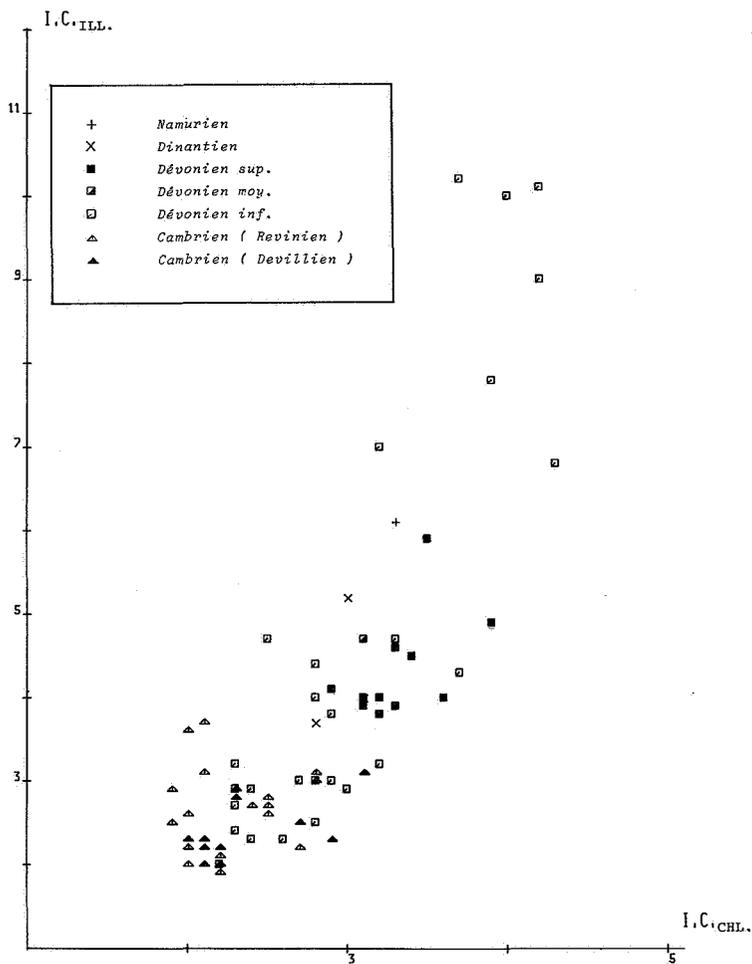


Fig. 7 Corrélation entre indices de cristallinité de l'illite ( $IC_{ill}$ ) et de la chlorite ( $IC_{chl}$ ). Les cinérites et les échantillons à paragonite,  $(14C - 14V)_I$  et  $(C - M)_R$  ne sont pas reportés.

la répartition en fer, un groupe de six échantillons, correspondant aux roches du Dévonien inférieur du bord nord du synclinorium de Dinant, se caractérise par un déséquilibre fortement marqué en faveur du feuillet brucitique (fig. 8). Aucune relation ne semble exister entre les paramètres  $I_{001}/I_{002}$  ou  $I_{003}/I_{001}$  et la cristallinité aussi bien des chlorites que des illites.

Enfin, un parallélisme entre les cristallinités de l'illite et le caractère "stable" ou "instable" des chlorites qui se traduit respectivement par un tassement ou une augmentation de l'intensité de son pic à 14 Å au chauffage s'avère délicat à établir. En effet, tous nos échantillons étant prélevés à l'affleurement et sachant que les chlorites sont parmi les minéraux phylliteux les plus facilement altérables, il est courant que nous observions dans les échantillons cambriens (épizonaux) des chlorites à caractère nettement "instable".

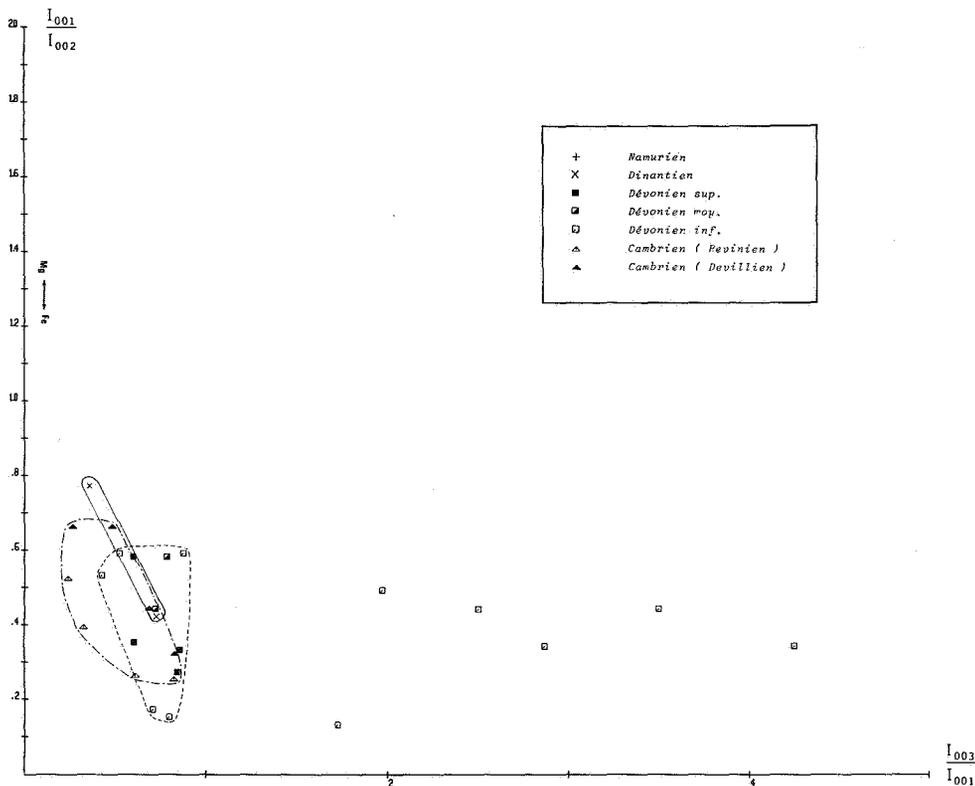
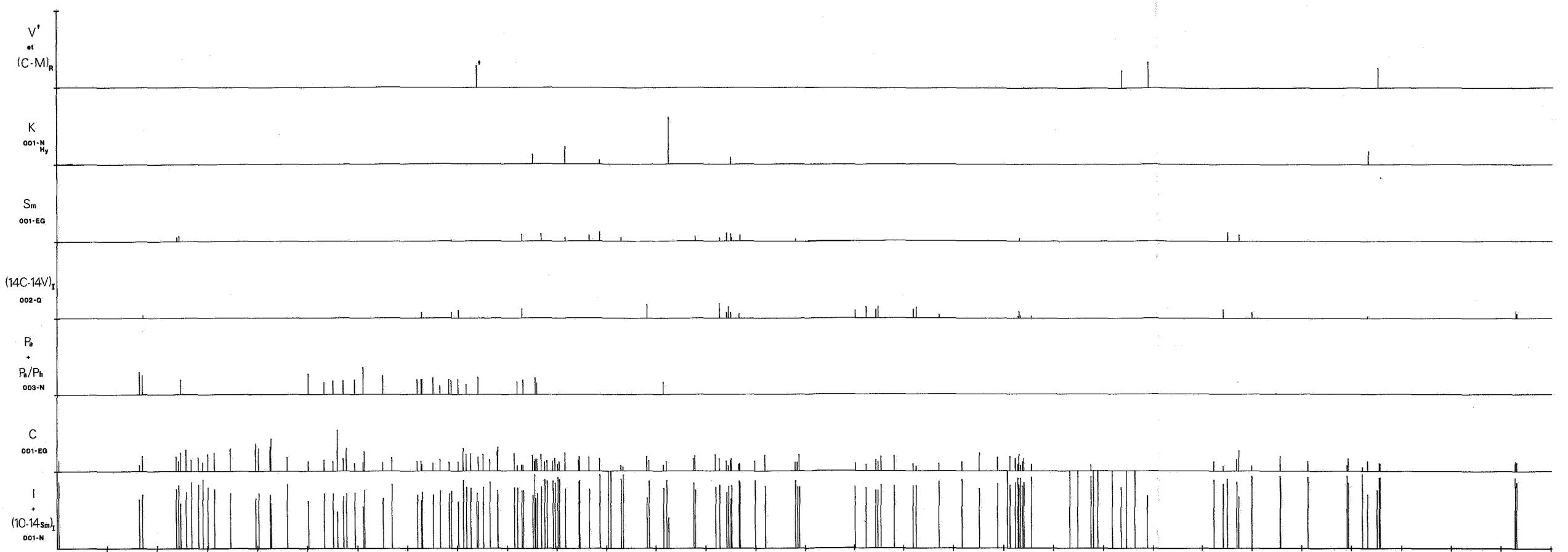


Fig. 8 Diagramme  $I_{001}/I_{002} - I_{003}/I_{001}$  exprimant la teneur en Fe et sa distribution entre la couche octaédrique du feuillet 2 : 1 et la couche brucitique des chlorites. Excepté pour les six échantillons du Dévonien inférieur (à droite du diagramme), seules les valeurs extrêmes ont été reportées. Les échantillons à  $(14C - 14V)_I$  et  $(C - M)_R$  n'ont pas été repris.

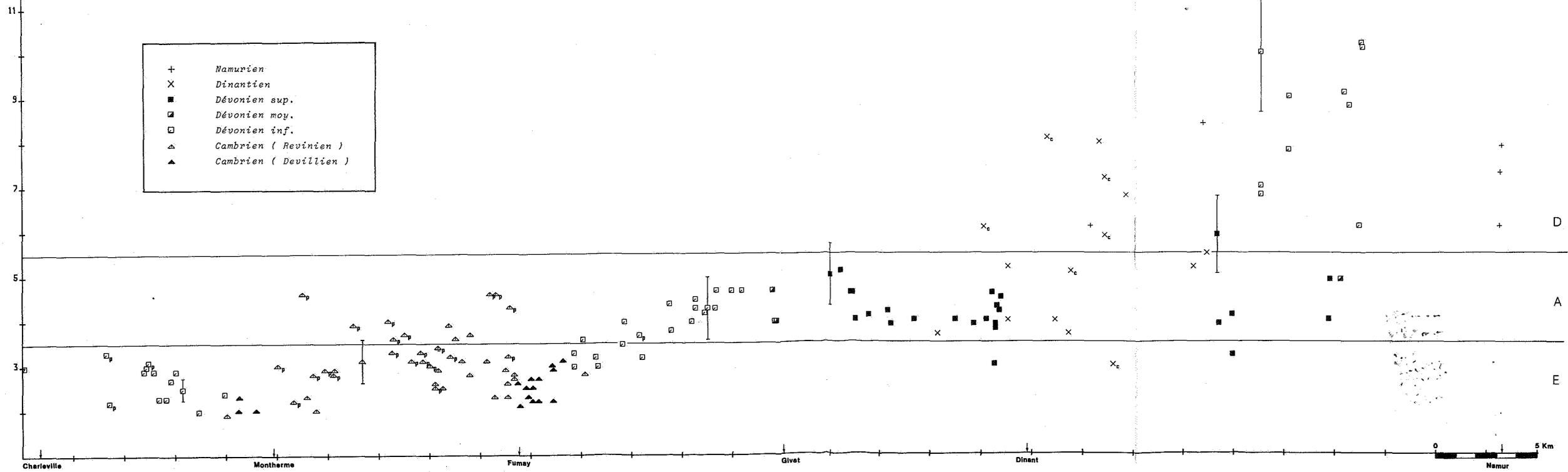
$(14C - 14V)_I$

Pour plusieurs échantillons, de niveaux stratigraphiques différents, les pics à 14 Å de la chlorite acquièrent, au chauffage, une morphologie particulière qui les distingue aisément de ceux des chlorites "vraies". On peut regrouper ainsi les formes rencontrées :

- pic centré sur 12 Å
- pic à 12 Å dominant + pic à 14 Å
- pic à 14 Å dominant + pic à 12 Å
- pic à 14 Å + épaulement vers les grands angles.



I.C.



Cette tendance au déplacement, total ou partiel, du pic à 14 Å vers 12 Å, non accompagné de gonflement à l'E.G., amène à penser que sont présents dans la structure de la chlorite des espaces interfoliaires à comportement vermiculitique. Cette présence semble confirmée par les mesures du rapport  $I_{001}/I_{002}$  (sur les pics au N) pour lequel des valeurs élevées correspondraient à la contribution du pic 001 de la vermiculite à la hauteur totale du pic à 14 Å (fig. 9).

Jusqu'ici il semble difficile, faute d'analyses, de préciser s'il s'agit d'interstratifiés "vrais" chlorite-vermiculite ou de vermiculite où s'organisent peu à peu, à partir d'hydroxydes de fer, des feuillets brucitiques dans les niveaux interfoliaires (PIQUE, 1979). Pour la facilité, nous continuerons d'utiliser le terme  $(14C - 14V)_I$ .

Si l'on est tenté de voir dans ces formes une série continue depuis un minéral de type vermiculitique (au sommet de la diagénèse) jusqu'aux chlorites en fin d'évolution (épizone), il ne semble cependant pas y avoir, dans notre cas, de relation nette entre elles et les indices de cristallinité de l'illite. Mais peut-être faut-il y voir là quelque effet de l'altération à l'affleurement

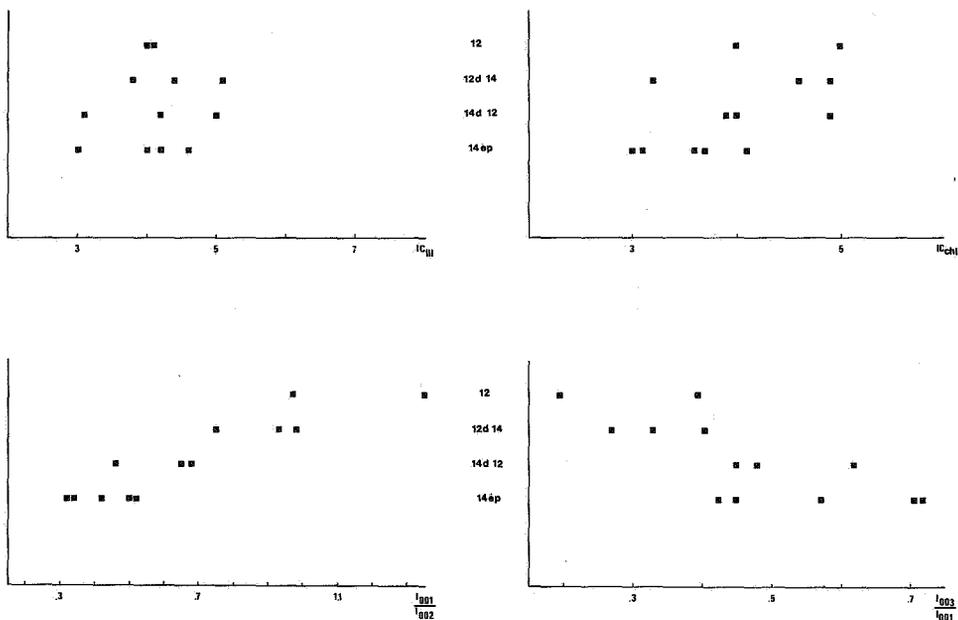


Fig. 9 Caractérisation des  $(14C - 14V)_I$  du Dévonien supérieur à l'aide de plusieurs paramètres :  $IC_{III} - IC_{ChI} - I_{003}/I_{001}$  et  $I_{001}/I_{002}$ .

qui ne sont certainement pas à exclure si l'on veut expliquer la présence de (14C - 14V)<sub>I</sub> dans certains échantillons du Cambrien (épizonaux) où, d'après les conditions métamorphiques, la vermiculite devrait être instable.

#### KAOLINITE ET SMECTITE.

Il est bien connu que, sauf dans certaines conditions particulières (hydrothermalisme, diagenèse régressive) (DUNOYER de SEGONZAC, 1969; DUNOYER de SEGONZAC et ABBAS, 1976), la kaolinite et la smectite deviennent rapidement instables dans les conditions régnant dès le début de l'anchizone.

Or leur présence épisodique, surtout dans les échantillons des domaines anchizone et épizonal, semble pouvoir nous permettre d'imputer leur apparition aux effets d'altération à l'affleurement des roches.

#### PARAGONITE et PARAGONITE/PHENGITE.

La paragonite, associée le plus souvent à l'interstratifié paragonite/phengite, s'observe dans bon nombre d'échantillons surtout du Cambrien (exclusivement Revinien) mais aussi du Dévonien inférieur (synclinorium de Neufchâteau et couverture nord du Massif de Rocroi).

L'interstratifié paragonite/phengite correspondrait, selon FREY (1969 et 1974), à une phase intermédiaire dans la formation de la paragonite. Cependant, bien que pouvant apparaître, selon lui, dès le début de l'anchizone, nous ne l'avons jamais observé que dans le domaine épizonal, domaine auquel nous rattachons également les quelques échantillons cambriens dont les valeurs de cristallinité supérieures à 3.5 s'expliquent, comme nous l'avons déjà signalé précédemment, par l'interférence des deux pics de la paragonite et de l'illite.

(C - M)<sub>r</sub>

L'interstratifié régulier chlorite tri-octaédrique-montmorillonite, ou corrensite, a déjà été signalé dans les terrains tournaisiens et viséens du nord de la France (DUNOYER de SEGONZAC, FERRERO et KUBLER, 1968). Nous l'avons également observé dans trois de nos échantillons, deux du Viséen et un de l'Emsien (au bord nord du synclinorium de Dinant).

Instable dans l'anchi- et dans l'épizone, mises à part quelques rares exceptions, la corrensite est, selon KUBLER (1973), un minéral index des zones intermédiaires à profondes de la diagenèse.

#### CONCLUSION.

Le caractère diagénétique, anchizone ou épizonal des roches, que leur confèrent les valeurs d'indices de cristallinité de l'illite, semble confirmé par les données de l'analyse minéralogique de leur fraction argileuse.

Les terrains viséens et namuriens où apparaissent localement la corrensite et systématiquement des édifices illitiques chargés, en taux variables, d'espaces interfoliaires montmorillonitiques semblent bien n'avoir été soumis qu'aux conditions encore peu intenses régnant dans les zones intermédiaires à profondes de la diagenèse. Dans les terrains du Tournaisien, du Dévonien supérieur et moyen ainsi que de la plus grande partie du Dévonien inférieur du bord sud du synclinorium de Dinant, le passage au domaine anchizone

s'accompagne de la disparition progressive des édifices interstratifiés (10 - 14 Sm)<sub>I</sub>. Avec le Gedinnien du bord sud du synclinorium de Dinant, le Cambrien de Rocroi et le Dévonien inférieur du synclinorium de Neufchâteau, on assiste à l'établissement d'une association minéralogique de type épizonal : les interstratifiés paragonite/phengite et la paragonite sont présents et, exception faite des minéraux d'altération, c'est l'association illite-chlorite qui prédomine, conséquence de la disparition des interstratifiés (10 - 14 Sm)<sub>I</sub> et (14C - 14V)<sub>I</sub>.

L'hypothèse, déjà avancée par BEUGNIES (1963), d'un métamorphisme par enfouissement, apparaissant donc comme antérieur à la tectonique hercynienne, nous paraît être la plus probable au vu de nos résultats.

Il semble, en effet, que pour les terrains calédoniens et hercyniens du domaine de la Vallée de la Meuse, la zonéographie métamorphique est d'ordre plutôt stratigraphique. Les terrains les plus jeunes (Viséen et Namurien) sont les moins évolués (diagenèse). Dans l'anchizone, on retrouve le Tournaisien et pour ainsi dire l'ensemble du Dévonien du synclinorium de Dinant. Le caractère plus métamorphique (épizonal franc) du Dévonien inférieur du synclinorium de Neufchâteau s'explique aisément par les différences d'épaisseurs assez considérables du Dévonien au sud (plus de 5.000 m rien que pour le Dévonien inférieur) et au nord (plus ou moins 5.400 m pour tout le Dévonien) du Massif de Rocroi (BEUGNIES, 1963). Quant au Cambrien de Rocroi, son rattachement au domaine épizonal est depuis longtemps confirmé par les minéraux du métamorphisme (BEUGNIES, 1963).

Un seul problème subsiste quant à la cohérence de cette interprétation : la position des échantillons emsiens du bord nord du synclinorium de Dinant. On a vu que, mis à part le caractère particulier des chlorites, la minéralogie de la fraction argileuse de ces roches ne révèle aucun élément susceptible de pouvoir expliquer leur cristallinité anormale. Les valeurs des indices de cristallinité sont certes confirmées par la présence d'interstratifiés (10 - 14 Sm)<sub>I</sub> mais de deux choses l'une : ou bien l'illite avait acquis une cristallinité plus élevée (devant logiquement correspondre à des conditions anchizonales), les (10 - 14 Sm)<sub>I</sub> traduisant alors une altération postérieure des roches (mais alors, comment expliquer la présence de la corrensité ?), ou bien l'illite n'a jamais acquis de meilleure cristallinité. Il faudrait, dans ce cas, en chercher la cause soit dans un héritage sédimentaire soit, et c'est peut-être le plus probable, dans des conditions physico-chimiques particulières de la diagenèse.

#### REMERCIEMENTS.

Au terme de ce travail, je tiens à remercier le F.N.R.S. (Fonds National de la Recherche Scientifique) pour l'octroi de son crédit aux chercheurs ainsi que le C.N.R.S. (Centre National de la Recherche Scientifique) pour sa bourse de séjour qui m'a permis d'effectuer un stage d'un mois au Laboratoire de Sédimentologie et de Géochimie de la Surface de l'Université de Strasbourg.

Je remercie tout particulièrement Monsieur D. LADURON pour son aide constante et ses nombreuses remarques et critiques tout au long de ce travail.

Mes remerciements s'adressent également à toutes les personnes de l'Université de Strasbourg, MM. G. DUNOYER de SEGONZAC,

A. PIQUE, Ph. LARQUE et M. BOUABDELLI pour l'accueil qu'ils m'ont réservé durant mon stage ainsi que pour leur appui technique (accès aux appareillages, étalons) et leurs nombreux conseils.

Ma reconnaissance va également à Monsieur J. THOREZ de l'Université de Liège, Messieurs A. HERBILLON, A. LEES et H. MARTIN de l'Université de Louvain et Monsieur B. KÜBLER de l'Université de Neuchâtel pour leurs nombreuses et très constructives critiques.

## BIBLIOGRAPHIE.

- BEUGNIES, A. (1963) - Le Massif cambrien de Rocroi. *Bull. Carte Géol. de France*, 59, pp. 1-155.
- BOUABDELLI, M. (1978) - Déformation et métamorphisme dans le paléozoïque de la vallée de la Meuse entre Bogny et Fêpin. *D. E. A. (inédit), Univ. de Strasbourg, France*, 52 p.
- BRINDLEY, G. W. and GILLERY, F. H. (1956) - X-Ray identification of chlorite species. *Am. Miner.*, 41, pp. 169-186.
- BROWN, G. and BRINDLEY, G. W. (1980) - X-Ray diffraction procedures for clay mineral identification. In "Crystal structures of clay minerals and their X-Ray identification", Brindley G. and Brown G. (ed.), *Min. Soc., London*, pp. 305-359.
- de BETHUNE, P. (1958) - Carte géologique de la Belgique et des régions voisines (1/600.000). *Librairie Fonteyn, Louvain*.
- de BETHUNE, S. (1977) - Le métamorphisme de Libramont. *Thèse doctorat (inédite), Univ. Cathol. de Louvain, Belgique*, 70 p.
- DELVAUX de FENFFE, D. (1980) - Etude microtectonique du bord sud du Massif de Rocroi dans la région de Monthermé et Bogny sur Meuse. *Mémoire licence (inédit), Univ. Cathol. de Louvain, Belgique*, 68 p.
- DUNOYER de SEGONZAC, G., FERRERO, J. et KUBLER, B. (1968) - Sur la cristallinité de l'illite dans la diagenèse et l'anchimétamorphisme. *Sedimentology*, 10, pp. 137-143.
- DUNOYER de SEGONZAC, G. (1969) - Les minéraux argileux dans la diagenèse. Passage au métamorphisme. *Mém. Serv. Carte Géol. Als.Lorr.*, 29, pp. 1-320.
- DUNOYER de SEGONZAC, G. et HEDDEBAUT, C. (1971) - Paléozoïque anchimétamorphique à illite - chlorite - pyrophyllite - allevardite et paragonite dans les Pyrénées basques. *Bull. Serv. Carte Géol. Als. Lorr.*, 24, pp. 277-290.
- DUNOYER de SEGONZAC, G. et HICKEL, D. (1972) - Cristallogénie des phengites dans les quartzites micacés métamorphiques du permotrias des Alpes piémontaises. *Sci. Géol., Bull.* 25, pp. 201-229.
- DUNOYER de SEGONZAC, G. et ABBAS, M. (1976) - Métamorphisme des argiles dans le Rhétien des Alpes sud-occidentales. *Sci. Géol., Bull.* 29, pp. 3-20.
- ESQUEVIN, J. (1969) - Influence de la composition chimique des illites sur leur cristallinité. *Bull. Centre Rech. Pau - SNPA*, 3, pp. 147-154.
- FOURMARIER, P., BINTZ, J. et LAMBRECHT, L. (1968) - Anomalies de la schistosité dans le paléozoïque de la Haute-Ardenne. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, 91, pp. 171-269.

- FREY, M. (1969) - A mixed-layer paragonite-phengite of low-grade metamorphic origin. *Contr. Mineral. Petrol.*, 24, pp. 63-65.
- FREY, M. (1974) - Alpine metamorphism of pelitic and marly rocks of the central Alps. *Schweiz. Mineral. und Petrogr. Mitt.*, 54, pp. 489-506.
- GROSS et THORETTE (1980) - Métamorphisme hercynien dans le Dévonien ardennais de Rocroi. I. Etudes aux R. X. *Rapport interne (inédit)*, Univ. Strasbourg, France, 20 p.
- HOWER, J. H. and MOWATT, T. C. (1966) - The mineralogy of illites and mixed layers illite - montmorillonite. *Amer. Min.*, 51, pp. 825-854.
- KISCH, H. J. (1980a) - Incipient metamorphism of Cambro -Silurian rocks from the Eastern complex Caledonides of Jämtland, Western Sweden : Illite crystallinity and vitrinite reflectance. *J. Geol. Soc., London*, 137, pp. 271-288.
- KISCH, H. J. (1980b) - Illite crystallinity and coal rank associated with lowest-grade metamorphism of the Tavayanne greywacke in the Helvetic zone of the Swiss Alps. *Ecl. Geol. Helv.*, 73, pp. 753-777.
- KUBLER, B. (1961) - Sur quelques interstratifiés irréguliers : mica - montmorillonite. *Bull. Serv. Carte Géol. Als. Lorr.*, 14, pp. 173-178.
- KUBLER, B. (1967) - La cristallinité de l'illite et les zones tout à fait supérieures du métamorphisme. *Etages tectoniques. Colloque, Neuchâtel, 18-21 avril 1966*, pp. 105-122.
- KUBLER, B. (1968) - Evaluation quantitative du métamorphisme par la cristallinité de l'illite. *Bull. Centre Rech. Pau - SNPA*, 2, pp. 385-397.
- KUBLER, B. (1973) - La corrensite, indicateur possible de milieux de sédimentation et du degré de transformation d'un sédiment. *Bull. Centre Rech. Pau - SNPA*, 7, pp. 543-556.
- LE CORRE, C. (1975) - Analyse comparée de la cristallinité des micas dans le Briovérien et le Paléozoïque centre-armoricains : zonéographie et structure d'un domaine épizonal. *Bull. Soc. Géol. France*, 17, pp. 547-553.
- PIQUE, A. (1979) - Evolution structurale d'un segment de la chaîne hercynienne : la meseta marocain nord-occidentale. *Thèse doctorat (inédite)*, Univ. Strasbourg, France, 253 p.
- REYNOLDS, R. C. and HOWER, J. (1970) - The nature of interlayering in mixed-layer illite-montmorillonites. *Clays and Clay Min.*, 18, pp. 25-36.
- REYNOLDS, R. C. (1980) - Interstratified clay minerals. In "Crystal structures of clay minerals and their X-Ray identification", BRINDLEY G. and BROWN, G. (ed.), *Min. Soc., London*, pp. 249-304.
- SCHAER, J. P. et PERSOZ, F. (1976) - Aspects structuraux et pétrographiques du Haut Atlas calcaire de Midelt (Maroc). *Bull. Soc. Géol. France*, 18, pp. 1239-1250.
- SHIROZU, H. and HIGASHI, S. (1972) - X-Ray examination of sericite minerals associated with the Kuroko deposits. *Clay Sci.*, 4, pp. 137-142.
- THIRY, M. (1978) - Technique de préparation des minéraux argileux en vue de l'analyse par diffraction des rayons X. *Note Techn. Inst. Géol.*, 3e éd., Univ. Strasbourg, France, 34 p.

- THOREZ, J. (1975) - *Phyllosilicates and clay minerals (A laboratory handbook for their X-Ray diffraction analysis)*. Ed. G. Lelotte (Belgique), 579 p.
- WEAVER, C. E. (1960) - Possible uses of clay minerals in search for oil. *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, 44, pp. 1505-1518.
- WEAVER, C. E. (1961) - Clay minerals of the Ouachita structural belt and adjacent foreland. In *"The Ouachita system"*, *The Univ. Texas Publ.*, 6120, Bureau Econ. Geol. Austin, pp. 147-160.

Manuscrit déposé en février 1982.

## LES MINÉRAUX SECONDAIRES D'URANIUM DU ZAIRE

par M. Deliens (Musée royal de l'Afrique centrale), P. Piret (Université de Louvain) et G. Comblain (M.R.A.C.)  
Ed. Musée royal de l'Afrique centrale, Tervuren, Belgique  
1981, 113 pages, 88 photos en couleur, 7 figures.

Un ouvrage consacré aux minéraux secondaires d'uranium du Zaïre vient de paraître aux éditions du Musée royal de l'Afrique centrale.

Les 44 espèces minérales connues à ce jour y sont décrites :

<b>Minéral primaire</b>	<b>Carbonates</b>	<b>Mundite</b>
<i>Uraninite</i>	<i>Rutherfordine</i>	<i>Parsonsite</i>
<b>Oxydes hydratés</b>	<i>Sharpite</i>	<i>Phosphuranylite</i>
<i>Becquerelite</i>	<i>Wyartite</i>	<i>Phuralumite</i>
<i>Billietite</i>	<b>Sélénites</b>	<i>Phurcalite</i>
<i>Curite</i>	<i>Demesmaekerite</i>	<i>Ranunculite</i>
<i>Fourmariérite</i>	<i>Derriksite</i>	<i>Renardite</i>
<i>Iantbinite</i>	<i>Guilleminite</i>	<i>Saléite</i>
<i>Masuyite</i>	<i>Marthozite</i>	<i>Threadgoldite</i>
<i>Richetite</i>	<b>Molybdate</b>	<i>Torbernite</i>
<i>Roubaultite</i>	<i>Umboite</i>	<i>Upalite</i>
<i>Schoepite</i>	<b>Vanadates</b>	<b>Silicates</b>
<i>Studite</i>	<i>Curiénite</i>	<i>Cuproskłodowskite</i>
<i>Vandenbrandéite</i>	<i>Francevillite</i>	<i>Kasolite</i>
<i>Vandendriesschéite</i>	<i>Sengierite</i>	<i>Skłodowskite</i>
<i>Wölsendorfite</i>	<b>Phosphates</b>	<i>Soddyite</i>
<b>Tellurate</b>	<i>Autunite</i>	<i>Uranophane</i>
<i>Schmitterite</i>	<i>Dumontite</i>	

Pour chaque espèce figurent les caractères morphologiques, les propriétés physiques et cristallographiques, la composition chimique, les associations ainsi que les références bibliographiques utiles (dont le n° JCPDS).

L'ouvrage est destiné aux spécialistes et aux collectionneurs.

Les minéraux sont répartis en familles chimiques et en groupes structuraux. 88 photos en couleur illustrent les faciès les plus caractéristiques.

L'ouvrage comporte en outre une introduction géologique, un chapitre consacré à la genèse des minéralisations secondaires et une liste des minéraux discrédités ou incomplètement étudiés.

La commande peut être effectuée en versant la somme de 1.000 FB au compte 000-2007023-93 du Patrimoine du Musée royal de l'Afrique centrale, B 1980, Tervuren, Belgique, avec la mention :  
«Minéraux secondaires d'uranium du Zaïre».

# TOTAL sait le faire.



TOTAL sait utiliser les méthodes géophysiques les plus sophistiquées pour chercher et découvrir les hydrocarbures restant encore enfouis dans le sous-sol. Les géophysiciens de TOTAL savent choisir et mettre en œuvre les équipements appropriés pour résoudre les problèmes difficiles de l'Exploration. Ils ont été les premiers à enregistrer en 3 dimensions en Mer du Nord et dans le Golfe de Suez. Ils savent traiter sur les ordinateurs les plus

modernes l'énorme quantité d'informations récoltées lors des campagnes sismiques, de façon à produire des documents exploitables pour l'interprétation. L'expérience mondiale de ses géophysiciens lui permet de reconnaître sur ces documents tous les pièges possibles d'accumulation d'hydrocarbures, voire de détecter parfois la présence de ceux-ci, en tout cas de déterminer avec précision le meilleur endroit pour placer les forages productifs.

**TOTAL CHERCHE ET TROUVE LES HYDROCARBURES DE DEMAIN.**

**TOTAL**

Compagnie Française des Pétroles - Direction de l'Information et des Relations Extérieures  
Département de la Documentation - 5, rue Michel-Ange - 75781 Paris CEDEX 16 - FRANCE



**LE SPECIALISTE**

**EN SONDAGES - FONÇAGES DE PUIITS - CONGELATION DES  
SOLS - CREUSEMENT TUNNELS - INJECTION D'ETANCHEMENT  
ET CONSOLIDATION - MURS EMBOUES ET ANCRAGES.**

**Place des Barricades 13 - B - 1000 BRUXELLES**

**Téléphone : 218 53 06 - Telex : FORAKY Bru. 24802**