

# UN EVENEMENT GEOCHIMIQUE DU VISEEN SUPERIEUR DANS LE BASSIN DE DINANT (BELGIQUE). LA COUPE D'ANHEE ET SES ANOMALIES RADIOACTIVES<sup>1</sup>

par

Yves QUINIF & Jean-Marie CHARLET<sup>2</sup>

(6 figures et 2 tableaux)

**RESUME.** - Les anomalies uranifères des couches de transition du Viséen au Namurien sont annoncées dans le Viséen par une augmentation de la radioactivité. Les calcaires s'enrichissent en uranium, tandis que des interlits décimétriques marneux et argileux montrent soit des anomalies thorifères et uranifères associées à de la kaolinite, soit des anomalies uranifères seules associées à des matières réduites. Ce contexte stratigraphique, minéralogique et géochimique prend place dans une explication biorhexistasique avec préconcentration pédogénétique continentale du thorium et d'une partie de l'uranium à la base de profils ferralitiques, libération d'une autre partie de l'uranium dans la phase migratrice soluble, pulsions rhexistasiques avec érosion de sols, concentration de l'uranium dissout dans le bassin de sédimentation sur les matières réduites.

**ABSTRACT.** - The uranium anomalies in the transition layers of the Visean-Namurian are preceded in the Visean of the Dinant basin by a growth of the radioactivity. The limestones contain more and more uranium (up to 18 ppm). Clay layers are present, with sometimes thorium anomalies associated with kaolinitic-clays and uranium anomalies associated with the reduced matters. The stratigraphical, geochemical and mineralogical characteristics are explained in a bio-rhexistasic evolution : pedogenetical concentration of Th and U at the lower part of ferralitic profiles, rhexistasic pulsation with erosion of soil, concentration of uranium in the sedimentary basin on reduced matters.

## I. - INTRODUCTION

Le Viséen du bassin de Dinant, essentiellement carbonaté, annonce le Namurien par des couches de transition à lithologie plus diversifiée. Des interlits décimétriques marneux et argileux font d'abord leur apparition au V3b $\alpha$  (Pirlet, 1968) avant le développement des séries pélitiques et siliceuses du V3c. C'est dans ce contexte lithostratigraphique que se localise une des anomalies géochimiques en uranium de Belgique. Elle fut repérée dans le bassin de Dinant au cours d'une prospection radiométrique autoportée (Charlet *et al.*, 1983). Une étude plus complète (Charlet, Nziba, Quinif, à paraître) montre qu'elle apparaît déjà dans les calcaires, marnes et argiles du V3b $\gamma$ . La coupe des anciennes carrières de marbre bleu belge à Anhee (V3b $\gamma$  - V3c inférieur) fournit de nombreuses données minéralogiques et géochimiques qui permettent d'appréhender les causes de cette anomalie et de la situer dans un cadre géodynamique plus général. Vers la partie orientale du bassin, la lacune du V3c inférieur interdit une étude aussi complète de la radioactivité dans la zone de passage V3b - V3c.

## II. - LITHOSTRATIGRAPHIE DE LA COUPE D'ANHEE

La coupe étudiée débute dans les calcaires V3b $\gamma$  au sud de la carrière souterraine de marbre bleu belge (fig. 2). Elle montre de bas en haut :

- 1.3 m de calcaires bleus à 3.5 - 5 Ur (1).
- Un premier niveau argileux N1, à kaolinite, épais de 15 cm et subdivisé en 2 bancs : l'un argileux jaune-brun, l'autre schisteux noir brillant. Sa radioactivité est faible, de l'ordre de 2 Ur.
- 8.4 m de calcaires bleus en bancs épais de 70 à 80 cm. La radioactivité faible dans la partie inférieure (3.5 à

1. Communication présentée le 5 juin 1984, manuscrit reçu, après révision, le 3 avril 1985.

2. Laboratoire de Minéralogie G.E.P., Faculté Polytechnique de Mons, rue de Houdain, 9, 7000-Mons, Belgique.

(1) L'Ur est l'unité de radioactivité d'une formation géologique qui produit la même réponse qu'une source identique contenant 1 ppm d'uranium en équilibre radioactif.

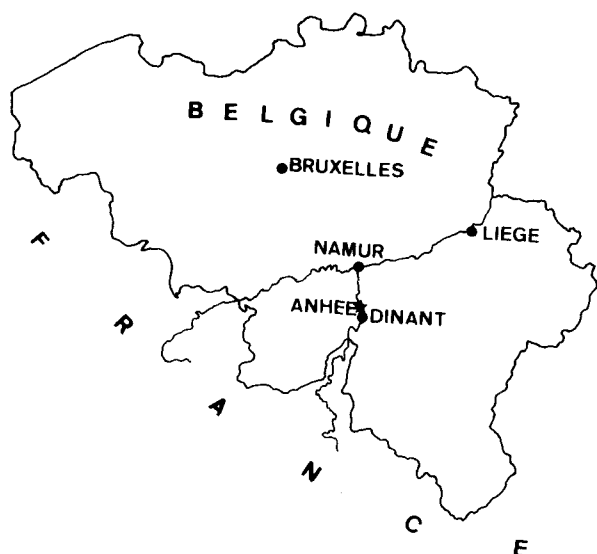


Figure 1. - Localisation du site

5 Ur avec un petit pic à 6.9 Ur) devient plus élevée dans la partie supérieure (au-dessus de 7 Ur avec un maximum à 14 Ur).

- Un second joint argileux noir N2 de quelques cm, avec une radioactivité de 18 Ur (2).
- 3 m de calcaires bleus en bancs de 0.6 à 1 m de radioactivité allant de 5 à 7 Ur.
- Un joint argileux N3 identique à N2 (radioactivité de 18 Ur).
- 3.5 m de calcaires bleus à radioactivité plus élevée (8 à 10 Ur) présentant en outre quelques joints de 12-15 Ur.
- Un niveau argileux N4 à kaolinite épais de 30 cm formé d'un intercalaire blanchâtre dans un schiste noir calcaireux (radioactivité : 26.5 Ur). En outre, un banc à cherts assez continu forme le mur du niveau kaolitique.
- 8 m de calcaires "marbre bleu belge" en exploitation souterraine dont l'accès est malheureusement difficile.
- Un niveau argileux N5 épais de 80 cm formant le sommet du V3b $\gamma$  et constitué de schistes noirs avec un intercalaire calcaire de 20 cm dont les fractures sont parfois tapissées de fluorine. La radioactivité est assez faible : 11 Ur dans les schistes, 8 Ur dans les calcaires.
- 1.2 m de calcaires gris à cherts présentant une anomalie à 14 Ur.
- Un sixième niveau argileux brunâtre épais de 10 cm à 28 Ur.
- 3 m de calcaires gris à cherts à plus faible radioactivité à l'exception d'une zone plus marneuse et plus radioactive.

D'une manière générale, cette coupe montre

donc que la radioactivité augmente du bas vers le haut de la série notamment dans les calcaires. Les joints argileux sont souvent radioactifs.

D'après leurs teneurs en carbonates, les échantillons étudiés appartiennent à trois catégories : les calcaires à plus de 90 % de CaCO<sub>3</sub>, les marnes et les argilites peu ou pas carbonatées. Ont également été dosés les minéraux des argiles des niveaux terrigènes (3).

### III. - DISTRIBUTION DES RADIOELEMENTS (4)

#### A. - DANS LES CALCAIRES

D'une manière générale, les calcaires se caractérisent par l'absence de thorium et de potassium, deux radioéléments liés, dans les roches sédimentaires habituelles, à une phase détritique (minéraux argileux et lourds) (Quinif, Charlet, Dupuis, 1982). Quant à l'Uranium, son clarke se situe vers 2 ppm (Parker, 1967).

Les calcaires de la coupe d'Anhée s'avèrent plus diversifiés, ainsi que le montrent la figure 2 et le tableau 1a. Les bancs appartenant à la base de la série (AN 121-127-128) sont "normaux" et constituent notre valeur moyenne de référence hors anomalie (U = 2.8, 1.5, 1.9 ppm; Th < 0.5 ppm; K<sub>2</sub>O < 0.006 %). Par contre, ceux situés vers la partie supérieure de la série sont anormaux en uranium, les teneurs montant jusqu'à 19 ppm (pour des teneurs en CaCO<sub>3</sub> supérieures à 90 %). Vu l'absence de thorium et de potassium dans ces échantillons, les anomalies en uranium ne peuvent provenir que de précipitations chimiques ou biochimiques à partir de solutions et non à partir d'une phase détritique.

#### B. - DANS LES MARNES ET ARGILITES

La dispersion des valeurs en uranium (tab. 1b) depuis celles voisines du clarke des argiles (Parker, 1967) (U = 3.4 ppm pour le 126) jusqu'à de fortes anomalies (U = 59 ppm pour le 145) indique qu'elles sont indépendantes de la teneur en carbonate. Le thorium et le potassium apparaissent bien liés à une phase détritique; les corrélations inverses (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> - K<sub>2</sub>O et

(2) L'intensité des anomalies mesurée au droit des joints ainsi que des zones étroites est sous/ou surestimée à cause des effets géométriques (influence des roches voisines).

(3) Nous remercions Melle Mercier (chercheur INISMa) et Th. Holtzapffel (Univ. de Lille) pour l'aide qu'ils nous ont apportée dans le dépouillement des diffractogrammes, R. Bayart (FPMs) qui a réalisé les analyses chimiques et les autoradiographies et G. Libert (FPMs, statistique appliquée) qui nous a aidé dans l'interprétation statistique des données.

(4) Etudiée sur l'installation de spectrométrie gamma du laboratoire de minéralogie de la FPMs (Quinif, Lair, Charlet, à paraître).

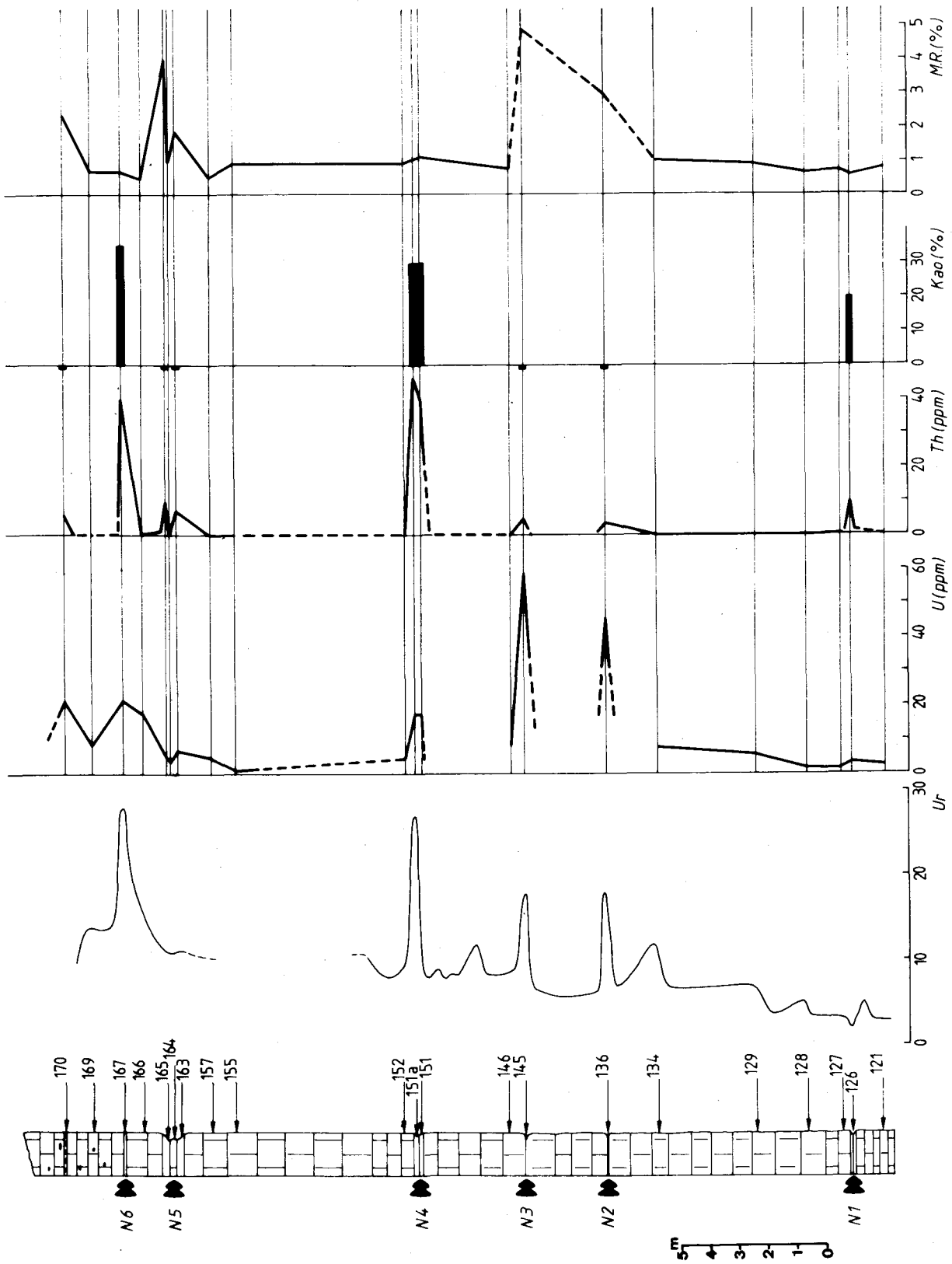


Figure 2. - Coupe lithologique de la carrière d'Anhéé et variation de différentes variables : U<sub>j</sub> : radioactivité totale mesurée au scintillateur portatif; U : teneur en uranium-métal; Th : teneur en thorium; Kao : teneur en kaolinite de la fraction argileuse; M.R. : teneur en matières réduites.

Tableau 1

Teneurs en radioéléments (1a : roches calcaires, 1b : roches argileuses). Kao : teneurs en kaolinite, en pourcentage de la fraction argileuse.  
 CO<sub>3</sub> : teneurs en carbonate, déterminées par calcimétrie. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : teneurs en phosphates, déterminées par colorimétrie.  
 M.R. : teneurs en matières réduites, déterminées par oxydation à chaud par le bichromate en milieu sulfurique.  
 C : teneurs en carbone organique, déterminées par pyrolyse.

| AN  | Th (ppm) | K <sub>2</sub> O (%) | U (ppm) | CO <sub>3</sub> (%) | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%) | M.R. (%) | C (%) |
|-----|----------|----------------------|---------|---------------------|-----------------------------------|----------|-------|
| 169 | 0        | 0                    | 8,4     | 94,9                | 0,59                              | 0,7      | 0,2   |
| 166 | 0        | 0                    | 17,7    | 93,1                | 0,88                              | 0,48     | 0,2   |
| 164 | 0,7      | 0,15                 | 3,5     | 90,3                | 0,03                              | 1,0      | 0,4   |
| 157 | 0        | 0                    | 4,6     | 96,9                | 0,07                              | 0,52     | 0,2   |
| 155 | 0,1      | 0,02                 | 1,5     | 97,3                | 0                                 | 0,96     | 0,2   |
| 152 | 0        | 0                    | 4,5     | 85,5                | 0,09                              | 0,96     | 0,3   |
| 146 | 0        | 0                    | 8,1     | 95,8                | 0,05                              | 0,77     | 0,4   |
| 134 | 0        | 0                    | 7,8     | 99,1                | 0,03                              | 1,02     | 0,1   |
| 129 | 0        | 0                    | 5,5     | 99                  | 0                                 | 0,93     | 0     |
| 128 | 0,2      | 0,05                 | 1,9     | 96,1                | 0,03                              | 0,7      | 0,5   |
| 127 | 0,4      | 0,06                 | 1,5     | 92,4                | 0                                 | 0,73     | 1,5   |
| 121 | 0        | 0                    | 2,8     | 99,2                | 0,08                              | 0,82     | 0,08  |

Tableau 1a

| AN   | Th (ppm) | K <sub>2</sub> O (%) | U (ppm) | Kao (%) | CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (%) | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%) | M.R. (%) | C (%) |
|------|----------|----------------------|---------|---------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------|-------|
| 181  | 11,3     | 1,88                 | 9,8     |         | 0                                 | 0,48                              | 1,4      | 2,9   |
| 180  | 9,8      | 1,1                  | 7,7     |         | 0                                 | 0,57                              | 1,4      | 3,3   |
| 170  | 5,5      | 0,46                 | 21,2    | 0       | 65,3                              | 0,61                              | 2,4      | 1,8   |
| 167  | 40       | 1,67                 | 21,5    | 35      | 19,5                              | 0,7                               | 0,7      | 0,3   |
| 165  | 9,6      | 1,77                 | 5,6     | 0       | 24,11                             | 0,15                              | 4,0      | 3,5   |
| 163  | 6,9      | 1,36                 | 7       | 0       | 41,5                              | 0,07                              | 1,9      | 2,7   |
| 151a | 46,1     | 1,34                 | 17,5    | 30      | 0                                 | 0,27                              | 1,1      | 1,3   |
| 151  | 40       | 1,28                 | 17,6    | 30      | 0,5                               | 0,3                               | 1,2      | 1,5   |
| 145  | 5        | 1,52                 | 59      | 0       | 33,3                              | 0,13                              | 4,8      | 4,7   |
| 136  | 3,7      | 1,18                 | 45,1    | 0       | 52,6                              | 0,74                              | 3,0      | 6,9   |
| 126  | 9,3      | 0,98                 | 3,3     | 20      | 38,6                              | 0,04                              | 0,67     | 0,6   |

Tableau 1b

CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> - Th) de la figure 3 mettent en évidence un pôle chimique (carbonate) opposé à un pôle détritique (Th - K<sub>2</sub>O) :

$$K_2O = -0.02 (CO_3^{2-}) + 1.7 \quad r^2 = 0,86 \quad (1)$$

$$Th = -0.27 (CO_3^{2-}) + 24.8 \quad r^2 = 0.57 \quad (2)$$

Notons que la valeur médiocre du coefficient de corrélation de l'équation (2) est due à 3 échantillons (151-151a-167) caractérisés simultanément par de forts pourcentages en kaolinite. Lorsqu'on les extrait de la corrélation, on obtient l'équation suivante :

$$Th = -0.11 (CO_3^{2-}) + 11.1 \quad r^2 = 0,93 \quad (3)$$

Les ordonnées à l'origine des équations (1) et (3) représentent les teneurs moyennes en K<sub>2</sub>O et Th des fractions terrigènes non kaolinitiques. Elles correspondent assez bien aux clarkes annoncés dans la littérature (Parker, 1967).

#### IV. - GEOCHIMIE DES RADIOELEMENTS

##### A. - DANS LES CALCAIRES

L'uranium se concentrant dans les calcaires par des processus purement chimiques ou biochimiques, nous cherchons à identifier les phases porteuses de cette concentration.

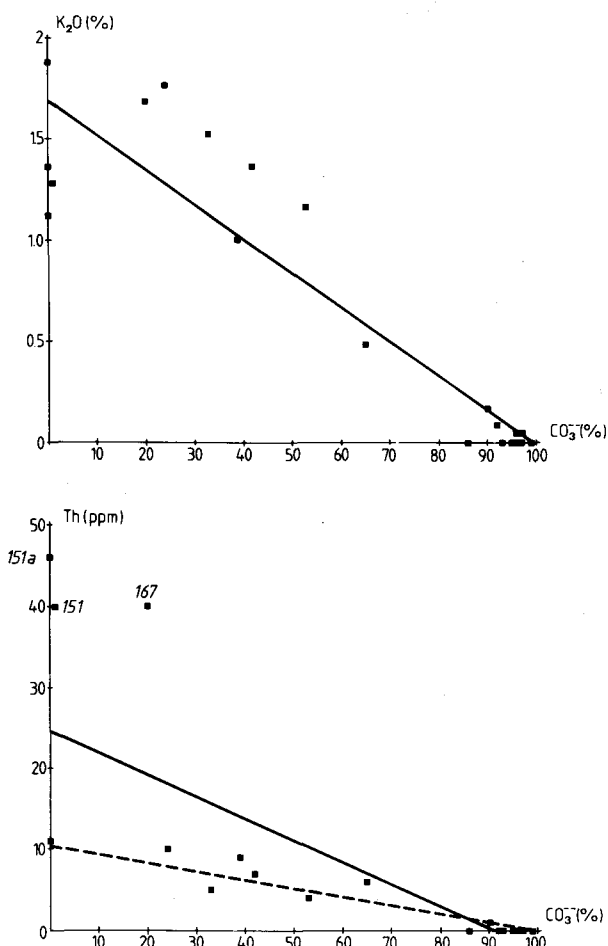


Figure 3

a. Corrélation  $CO_3^{--} - K_2O$

b. Corrélation  $CO_3^{--} - Th$ . La droite en traits interrompus est obtenue en excluant du calcul les échantillons 151, 151a, 167.

En milieu sédimentaire carbonaté, les phosphates jouent souvent un rôle fondamental dans le mécanisme de fixation de l'uranium (Altschuler, Cuttitta, Berman, 1957; Baturin, Kochenov, 1974; Quinif, Charlet, Dupuis, Robaszynski, 1981; Sheldon, 1959; Slansky, 1980; Veeh, Calvert, Price, 1974). A Anhée, aucune corrélation n'est clairement exprimée bien qu'une tendance existe peut-être ( $U = 13.75 (P_2O_5) + 3.59$  avec  $r^2 = 0.72$ ). La figure 4 montre clairement que pour la plupart des points, les teneurs en phosphate ne sont en aucune façon anormales. L'échantillon N° 166 titre, pour 18 ppm d'U, 0,88 % de  $P_2O_5$ . Or, pour des teneurs semblables en  $P_2O_5$ , des calcarénites daniennes du bassin de Mons contiennent moins de 2 ppm d'U (Quinif, Charlet, Dupuis, Robaszynski, 1981). En outre, les liaisons U-matières réduites (5) ou U-carbone organique ne sont pas significatives.

L'uranium ainsi présent dans ces échantillons l'est grâce à un processus qui apparaît lié directement à la coprécipitation avec le carbonate de calcium. La fixation de l'uranium en milieu marin par des organismes ou des carbonates d'origine biologique a été citée par divers auteurs (Heye, 1965; Thurber, 1962; Got, 1973).

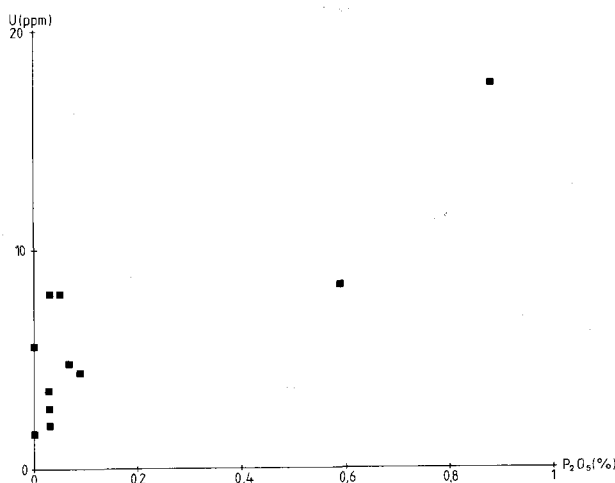


Figure 4. - Corrélation  $P_2O_5 - U$  dans les calcaires

B. - DANS LES ROCHES DETRITIQUES

1. Les équations "T.U.K."

Nous avons montré dans une étude précédente (Quinif, Charlet, Dupuis, 1982) que les 3 radioéléments naturels les plus abondants (U-Th-K<sub>2</sub>O) caractérisent les roches sédimentaires détritiques selon la nature et l'origine de leurs minéraux (altérations continentales), le transport, le mode de dépôt, les conditions physico-chimiques de sédimentation, par le biais de l'utilisation de 2 diagrammes : Th/U-U/K<sub>2</sub>O et K<sub>2</sub>O-Th : c'est la méthode T.U.K. Les échantillons obéissent à 2 relations :

$$\frac{U}{K_2O} = a \left( \frac{Th}{U} \right)^b \tag{4}$$

$$Th = c (K_2O) + d \tag{5}$$

C'est dans les argiles illitiques-smectiques que la relations (5) est la mieux vérifiée. Nous avons montré (Quinif, Mercier, Roche, Dupuis, 1983) que cette relation exprime une pédogenèse modérée en climats tempérés ne permettant pas la formation de kaolinite. Dans la coupe d'Anhée, la corrélation K<sub>2</sub>O-Th est mauvaise :

$$Th = 12.4 (K_2O) + 0.20 \quad r^2 = 0.41 \tag{6}$$

Néanmoins, ainsi que nous l'avions déjà constaté dans la relation (2), la corrélation devient meilleure en extrayant les valeurs de 3 échantillons N° 151, 151a, 167 riches en kaolinite :

$$Th = 5.42 (K_2O) + 0.27 \quad r^2 = 0.82 \tag{7}$$

(5) Les matières réduites sont les substances oxydées à chaud par le biochromate de potassium en milieu sulfurique.

Le diagramme Th/U - U/K<sub>2</sub>O obtenu en appliquant la relation (4) permet de faire les mêmes constatations. La prise en compte de la totalité des échantillons donne l'équation suivante :

$$U/K_2O = 11.0 (Th/U)^{-0.58} \quad r^2 = 0.59 \quad (8)$$

En éliminant l'influence des trois échantillons 151, 151a, 167, on constate que la corrélation s'améliore, on obtient :

$$\frac{U}{K_2O} = 6.59 \left(\frac{Th}{U}\right)^{-0.80} \quad r^2 = 0.88 \quad (9)$$

Il est significatif de constater que ces 3 échantillons sont à la fois riches en kaolinite et anormaux en U et Th. Notons aussi que les équations (7) et (9) ont des coefficients proches de ceux des séries de passage Viséen-Namurien (Quinif, Charlet, Dupuis, 1982). Les échantillons N° 151, 151a, 167 se détachent ainsi d'une logique géochimique définie par les équations (7) et (9).

## 2. Facteurs contrôlant la distribution des radioéléments

Trois catégories de roches détritiques peuvent être distinguées :

- L'échantillon N° 126 constitue notre référence "normale" (U = 3.3 ppm, Th = 9.3 ppm, K<sub>2</sub>O = 0.98 %). Il faut toutefois noter la valeur faible du potassium qui peut s'expliquer par la teneur en kaolinite.
- Les échantillons N° 151, 151a, 167, riches en kaolinite, sont mis en exergue par la méthode T.U.K. Ils possèdent des valeurs anormales à la fois en Th et en U.

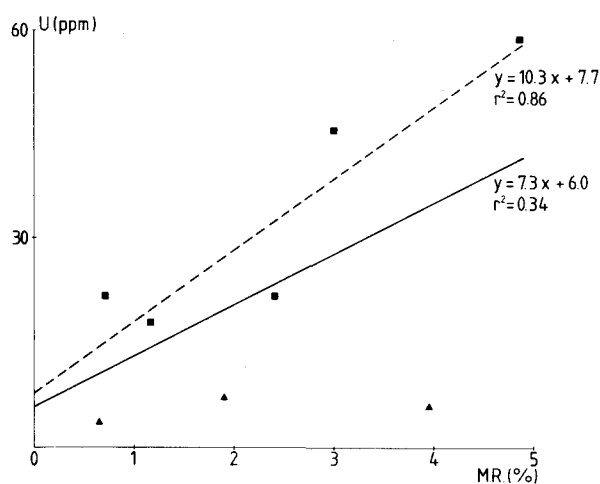


Figure 5

Corrélation M.R.-U. La droite en traits interrompus est obtenue en excluant du calcul les échantillons 126, 163, 165 (argiles peu uranifères représentées par les triangles).

Tableau 2

Mesure de la radioactivité totale après séparation en liqueur dense.

|     |                          | Radioactivité en c/gr/min |           | Poids du plongeant (%) | Contribution du plongeant à la radioactivité totale (%) |
|-----|--------------------------|---------------------------|-----------|------------------------|---|
|     |                          | flottant                  | plongeant |                        |   |
| 167 | niveau argileux brunâtre | 34,8                      | 27,7      | 5,4                    | 4,33  |
|     | niveau calcaire *        | 35,6                      | 36,2      | 4,08                   | 4,15  |
| 151 | niveau argileux brunâtre | 30,9                      | 35,7      | 0,47                   | 0,54  |
|     | niveau argileux noir     | 39,4                      | 21,9      | 0,78                   | 0,43  |
| 126 | niveau argileux brunâtre | 17,9                      | 6,5       | 6,75                   | 3,70  |
|     | niveau argileux noir     | 87,7                      | 26        | 3,92                   | 1,20  |

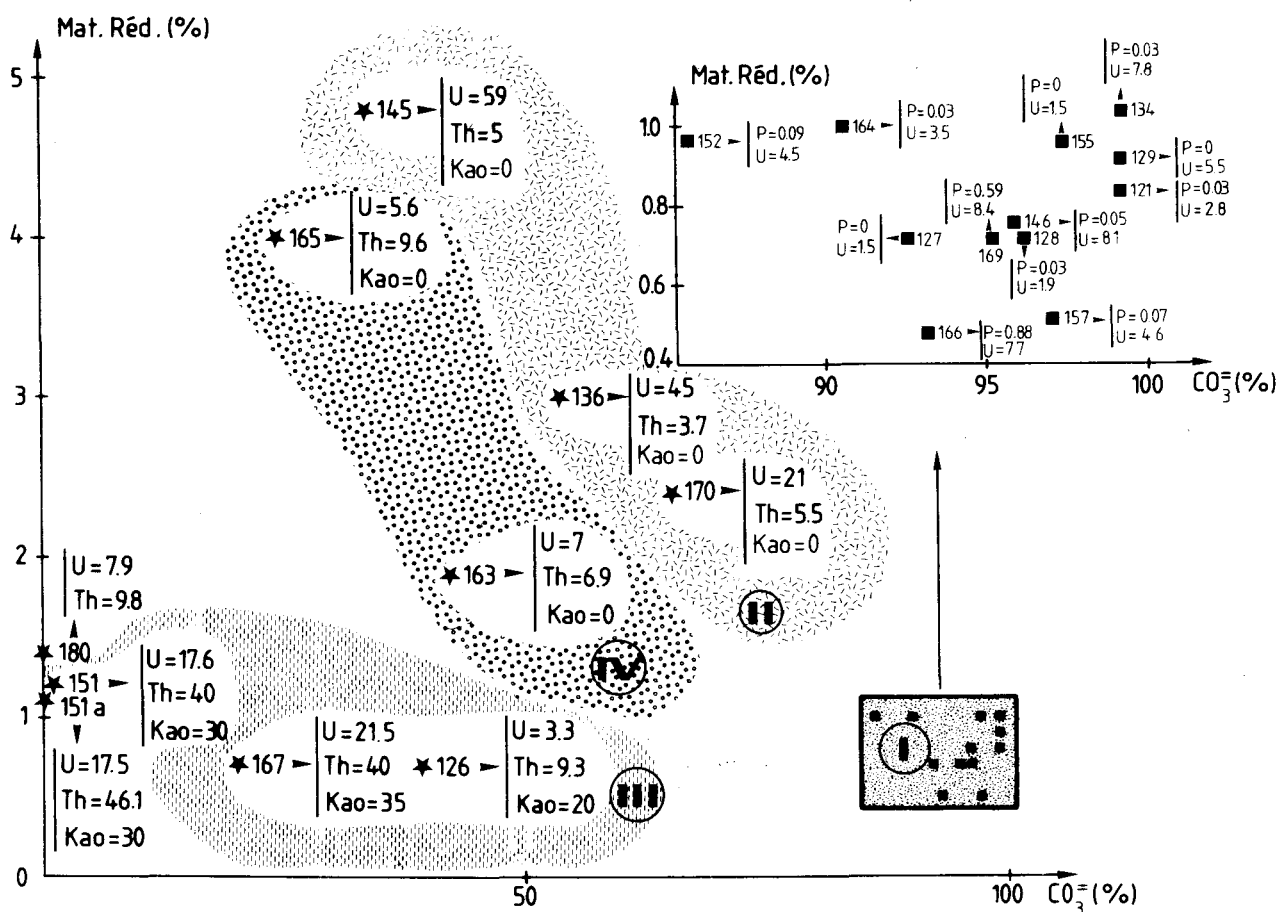
- Toutes les autres argiles sont anormales en U mais possèdent des teneurs normales en Th. Elles sont exemptes de kaolinite.

Les matières réduites jouent ici un rôle important inexistant dans les carbonates purs. En excluant les argiles peu ou pas anormales, l'uranium est corrélé aux matières réduites (fig. 5), quel que soit le rapport Th/U. Le Th par contre ne l'est pas. Notons enfin que la corrélation entre l'uranium et le carbone organique est moins bonne qu'en considérant la totalité des matières réduites, et que les teneurs en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, normales, ne sont pas corrélées aux teneurs en uranium. Il apparaît enfin que l'uranium et le thorium ne sont pas liés aux minéraux lourds. Une séparation en liqueurs denses suivie d'un comptage de la radioactivité globale a prouvé que les minéraux denses ne participent que pour une part mineure à la radioactivité totale de la roche (tab. 2).

## V. - SYNTHÈSE ET INTERPRÉTATION

Le diagramme CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> - Matières réduites de la figure 6 permet de synthétiser les données principales. Le pôle (I) se caractérise par ses fortes teneurs en carbonates et faibles en matières réduites. Les marnes et argiles sont plus dispersées mais se distribuent en 2 familles. En II, pour des teneurs en kaolinite nulles, l'uranium et les matières réduites sont corrélées tandis que les valeurs en thorium sont normales. En III, les échantillons sont riches en kaolinite et possèdent aussi des teneurs fortes en uranium et en thorium. Il reste enfin 2 échantillons (IV) dépourvus de kaolinite mais à teneurs normales en thorium. L'uranium y est en quantités un peu anormales.

Ces données géologiques et géochimiques peuvent trouver place dans un schéma biorhexistatique (Erhart, 1956). Les carbonates de Ca et Mg du Viséen et les cherts siliceux qui y sont inclus sont des dépôts en phase biostatique. Une pédogénèse de type ferrallitique sous climat chaud et humide libère dans le réseau hydrographique une phase migratrice : Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>,

Figure 6. - Diagramme  $\text{CO}_3^{--}$  - Matières réduites.

$\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SiO}_2$  tandis que des altérites insolubles s'accumulent sur le continent : kaolinite, oxydes et hydroxydes de fer et d'aluminium. Suite à des accidents (mouvements tectoniques, éruptions volcaniques) bien localisés dans le temps et dans l'espace, de brefs événements rhexistatiques provoquent l'érosion d'une quantité modeste de ces dépôts insolubles : telle serait l'origine des interlits marneux.

Dans ce modèle, les mouvements de l'uranium et du thorium peuvent être bien appréhendés (Giblin, Batts, Swaine, 1981; Langmuir, 1978; Langmuir, Herman, 1980). Durant une période biostatique, une partie de l'uranium est lessivée et part avec la phase migratrice, une autre se fixe sur les argiles kaoliniques, les oxydes et hydroxydes de fer à la base des profils pédologiques. Le thorium, lui, essentiellement insoluble, se concentre dans la phase résiduelle par élimination d'une partie de la roche.

L'uranium en quantités supérieures au clarke dans les calcaires témoigne ainsi de concentrations anormales dans le bassin de sédimentation, vu qu'aucune substance concentratrice ( $\text{P}_2\text{O}_5$ , M.R.) n'est présente. Ces concentrations anormales seraient dues à des lessivages privilégiés de ce métal dans des configurations morphologiques favorables.

La composition minéralogique des argiles est le reflet des conditions pédogénétiques qui ont existé sur le continent avant l'érosion, des teneurs appréciables de kaolinite indiquant une pédogénèse de type ferrallitique en climat chaud et humide sur des zones bien drainées. Par contre, les illites et smectites proviennent des sols évoluant en climats tempérés ou dans des contextes confinés. Notons que la smectite, minéral très fragile a pu se transformer en minéraux illitiques par la diagenèse. La succession d'argiles kaoliniques (échantillons N° 126, 167, 151, 151a) et d'argiles illitiques (échantillons N° 136, 145, 163, 165) témoignent de pulsions rhexistatiques atteignant telle ou telle zone géographique du continent.

Dans les argiles kaoliniques, les teneurs élevées en uranium et surtout en thorium sont le reflet de leur préconcentration pédogénétique. Ce faciès géochimique doit être caractérisé à la fois par des quantités anormales d'uranium et de thorium. Par contre, les dépôts détritiques sans kaolinite et seulement uranifères sont typiques de phénomènes de précipitation favorisée par la présence des matières réduites. Ces dernières, dans un schéma bio-rhexistatique, sont en relation avec un apport de matières végétales continentales. L'ensemble de ces corrélations a été observé dans le

Tertiaire belge en milieu essentiellement détritique (Quinif, Mercier, Roche, Dupuis, 1983). Rappelons également que le double comportement de l'uranium entraîné par mise en solution ou fixé sur les particules argileuses ou les matières organiques (végétaux flottés,...) a été mise en évidence par divers auteurs dans des modèles qui traitent de la sédimentation actuelle en milieu marin (Got, 1973; Bell, 1975).

#### Comparaison avec les cinérites des bassins houillers

Ces niveaux sont également anormaux en U et Th tout en ayant de faibles teneurs en  $K_2O$ . Spears (1971) mentionne 11.7 ppm en U et 43.9 ppm en Th pour un tonstein de Grande-Bretagne. Ces niveaux cinéritiques résultent du dépôt dans le bassin houiller de retombées volcaniques acides qui s'altèrent par pédogénèse in situ en phyllites (illite en présence de roche mère potassique, kaolinite pour une roche mère calco-sodique, ou de lessivages intenses) grâce à une circulation d'eaux acides dans un matériel très poreux (Bouroz, Spears, Arbey, 1983). On voit des similitudes avec les interlits marneux et argileux du V3B $\alpha$  et V3C inf.

Néanmoins, des différences se font jour dans les associations minéralogiques et géochimiques ainsi que dans le milieu de sédimentation. Dans le cas des cinérites ayant évolué en tonsteins, si le thorium est associé à la kaolinite, l'uranium s'y trouve lié aux zircons (Spears, 1971). Or, la contribution des minéraux lourds à la radioactivité des interlits argileux et marneux de la coupe d'Anhée est négligeable, le thorium étant lié à la kaolinite, l'uranium pro parte aux matières réduites. De plus, des argiles anormales en uranium peuvent être normales en thorium. Quant au milieu, si la pédogénèse in situ est évidente dans le cas des cinérites du houiller, elle est absente dans le cas étudié ici en environnement essentiellement carbonaté. En outre, dans le V3C supérieur, les anomalies essentiellement uranifères et non thorifères ne peuvent s'expliquer par un lessivage important d'un matériel cinéritique pédogénéisé in situ, le milieu devenant très confiné.

## VI. - CONCLUSIONS

L'anomalie radioactive du passage Viséen - Namurien fut d'abord reconnue dans le bassin de Namur (Charlet, Dupuis, Quinif, 1977). Découverte par la suite dans tout le bassin de Dinant, elle peut constituer un excellent marqueur stratigraphique (Charlet, Nziba, Quinif, 1985). Plusieurs études démontrent l'importance de cet événement géochimique.

La coupe d'Anhée située dans le V3b $\gamma$  - V3c inférieur fournit de nombreuses données qui éclairent les mécanismes géochimiques mis en oeuvre, précurseurs du développement des anomalies du V3c supérieur. C'est dans le contexte général d'un schéma biorexhistasique que s'intègrent le mieux les observations, à la

fois stratigraphiques, minéralogiques et géochimiques. Une pédogénèse de type ferralitique élabore une pré-concentration continentale de l'uranium et du thorium à la base des profils. Simultanément une phase migratrice soluble fournit les éléments nécessaires à une sédimentation chimique et biochimique (calcaire à cherts siliceux), ainsi qu'à la précipitation d'une partie de l'uranium. De petits épisodes rexhistasiques provoquent l'arrivée dans le bassin de sédimentation d'argiles dont la composition minéralogique témoigne de la pédogénèse continentale. De plus, des débris organiques fournissent des matières réduites qui pourront piéger l'uranium dans le bassin de sédimentation.

Ces observations pourraient-elles s'intégrer dans un schéma où le phénomène volcanique serait le moteur évolutif (Thorez, Pirllet, 1979)? Non seulement, il n'est pas nécessaire à leur explication, mais de plus, plusieurs arguments militent en faveur du mécanisme biorexhistasique. Le thorium est associé à des argiles kaoliniques et non à une phase minéralogique "lourde". L'absence de cette kaolinite est couplée à une absence de thorium en quantité anormale. Dans l'hypothèse d'une origine volcanique des anomalies, le thorium, vu son insolubilité, serait présent quelle que soit l'évolution postérieure au dépôt des cendres volcaniques. Les matières réductrices abondantes qui piègent l'uranium ne peuvent avoir qu'une origine continentale liée à la destruction du couvert forestier dans certaines zones qui seront ainsi soumises à une rexhistasie. L'observation de végétaux épigénisés dans certains nodules phosphatés du V3c sup. prouvent cette origine. Nos observations sont limitées au V3b $\gamma$  et au V3c. Peut-être, faudrait-il envisager des origines variées pour ces couches. En particulier, il faut noter le caractère différent au niveau N1 (éch. 126) qui, riche en kaolinite, reste pauvre en thorium. Les sédiments provenant du remaniement des sols de type ferralitique doivent être caractérisés dans notre hypothèse par des teneurs anormales à la fois en thorium et en uranium et par une proportion importante de kaolinite dans le cortège des minéraux argileux.

Enfin, on pourrait relier les pulsions rexhistasiques à la destruction du couvert végétal par les éruptions volcaniques responsables, au moins en partie, des interlits argileux.

## BIBLIOGRAPHIE

- ALTSCHULER, Z.S., CUTTITTA, F. & BERMAN, S., 1957. Rare earths in phosphorites. Geochemistry and economic potential. U.S. Geol. Survey Prof. Paper 575-B : 81-89.
- BATURIN, G.N. & KOCHENOV, A.K., 1974. Uranium content of oceanic phosphorites. Lithology and mineral resources, (1) : 99-103.
- BELL, R.T., 1975. Uranium in black shales, a review. In M.D. Kimberley, Ed., 3 : 307-322.



- BOUROZ, A., SPEARS, D.A. & ARBEY, F., 1983. Essai de synthèse des données acquises sur la genèse et l'évolution des marqueurs pétrographiques dans les bassins houillers. *Mém. Soc. Géol. du Nord*, XVI : 115 p., 10 pl.
- CHARLET, J.M., DEJONGHE, L., DE WITTE, S.M., HENRY, J. HERBOSCH, A., LEFIN, J.P. & MARTIN, H., 1983. Reconnaissance survey for uranium in the belgian Paleozoic. *Prof. Paper*, 1983/1, 196/P.
- CHARLET, J.M., DUPUIS, C. & QUINIF, Y., 1977. Perspectives de la prospection de l'uranium à l'échelle nationale. *Ann. Mines de Belgique* : 521-531.
- CHARLET, J.M., NZIBA, M. & QUINIF, Y., 1985. Les anomalies radiométriques du V3c supérieur du Bassin de Dinant. *Ann. Soc. géol. Belg.*, 108 :
- ERHART, H., 1956. La genèse des sols en tant que phénomène géologique. *Ed. Masson, Paris*, 90 p. 387-399.
- GIBLIN, A.M., BATTS, B.D. & SWAINE, D.J., 1981. Laboratory simulation studies of uranium mobility in natural waters. *Geochim. Cosmochim. acta*, 45 : 699-709.
- GOT, H., 1973. La radioactivité gamma des sédiments. *In* : Etude des corrélations tectonique-sédimentation au cours de l'histoire quaternaire du précontinent pyrénéo-catalan. Thèse, Perpignan : 197-275.
- HEYE, D., 1965. Uranium, thorium and radium in ocean water and sediments. *Earth Planet. Sc. Lett.*, 6 : 112-116.
- LANGMUIR, D., 1978. Uranium solution - mineral equilibria at low temperatures with applications to sedimentary ore deposits. *Geochim. Cosmochim. acta*, 42 : 547-569.
- LANGMUIR, D. & HERMAN, I.S., 1980. The mobility of thorium in natural waters at low temperatures. *Geochim. Cosmochim. acta*, 44 : 1753-1764.
- PARKER, R.L., 1967. Composition of the Earth's Crust in Data of Geochemistry. *Geol. Surv. Prof. Pap.* 440-D, 17 p.
- PIRLET, H., 1968. La sédimentation rythmique et la stratigraphie du Viséen V3b, V3c inférieur dans le synclinorium de Namur et de Dinant. *Acad. roy. de Belg., Mém.* 4, 17, 98 p.
- QUINIF, Y., CHARLET, J.M. & DUPUIS, C., 1982. Géochimie des radioéléments : U - Th - K<sub>2</sub>O dans les roches détritiques : une nouvelle méthode d'interprétation. *Ann. Soc. géol. Belg.*, 105 : 223-233.
- QUINIF, Y., CHARLET, J.M., DUPUIS, C. & ROBASZYNSKI, F., 1981. Relations uranium - phosphate dans les craies phosphatées des bassins de Mons et de Picardie. *C.R.A.S.*, 293 (II) : 913-916.
- QUINIF, Y., LAIR, P. & CHARLET, J.M. (à paraître). Le dosage des radioéléments naturels par spectrométrie gamma sur chaîne de mesures automatisée. Les applications aux Sciences de la Terre. *Bull. Soc. belg. Géol.*
- QUINIF, Y., MERQUIER, M., ROCHE, E. & DUPUIS, C., 1983. Essais de reconstitution géodynamique du Paléogène du Bassin belge à partir des données de la minéralogie des argiles, de la géochimie des radioéléments (U, Th, K<sub>2</sub>O) et de la palynologie. *C.R.A.S.*, 296 (II) : 1621-1624.
- SHEDON, R.P., 1959. Geochemistry of uranium in phosphorites and black shales of the phosphoria formation. *Geol. Survey Bull.* 1084-D, Washington.
- SLANSKY, M., 1980. Géologie des phosphates sédimentaires. *Mém. B.R.G.M.*, n° 114, 92 p.
- SPEARS, D.A., 1971. The mineralogy of the Stafford Tonstein. *Pric. Yorks. Geol. Soc.*, 38 : 497-516.
- THOREZ, J. & PIRLET, H., 1979. Petrology of K-bentonite beds in the carbonate series of the Viséan and Tournaisian stages of Belgium. *Int. Clay conf.*, 1978. Elsevier Scient. Pub. Comp., Amsterdam.
- THURBER, D.L., 1962. Anomalous <sup>234</sup>U/<sup>238</sup>U in nature. *J. Geophys. Res.*, 67 : 4518-4520.
- VEEH, H.H., CALVERT, S.E. & PRICE, N.B., 1974. Accumulation of uranium in sediments and phosphorites of the Southwest african shelf. *Marine Chemistry*, 2 : 189-202.