

LES ANOMALIES RADIOMETRIQUES DU V3c SUPERIEUR DU BASSIN DE DINANT ¹

par

Jean-Marie CHARLET ², Maurice NDZIBA ³ & Yves QUINIF ²

(7 figures, 6 tableaux et 1 planche)

RESUME. - La prospection radiométrique autoportée du Paléozoïque de Belgique a permis de mettre en évidence une zone d'anomalies uranifères d'allure stratiforme dans le Viséen supérieur du Bassin de Dinant (les teneurs en eU peuvent parfois atteindre 170 eU). Cet article décrit l'environnement géologique, pétrographique et géochimique de ces anomalies localisées dans le faciès "schistes noirs" du V3c supérieur partout où cette formation affleure dans le Bassin. Ces anomalies sont en relation avec une sédimentation de type chimique ou biochimique (bancs phosphatés, abondance de la matière organique, organisme à tests siliceux, ...) dont la composante détritique est absente. La phosphatogénèse joue un rôle important dans la concentration d'uranium bien qu'il n'y ait pas de corrélation complète entre ces deux constituants. Une étude pétrographique et par autoradiographie montre en effet que l'uranium est principalement fixé sur certaines phases phosphatées particulières.

ABSTRACT. - The carbone radiometric survey of the Belgian Paleozoic has allowed to discover several stratiform uraniferous anomalies in the upper Viséan of the Dinant Basin (sometimes the eU grade can reach 170 ppm). This paper describes the geological, petrographical and geochemical environment of these anomalies, located in the "black shale" facies of the upper V3c wheresoever this formation occurs in the Basin. These anomalies are in relation with a chemical or biochemical type deposit (phosphatic beds, abundance of the carbonaceous matter, organism with silicious tests, ...) where the detrital component is absent. The phosphatic matter has an important part in the uranium concentration but there is no complete correlation between these both components. A petrographical and autoradiography study shows that uranium is chiefly fixed upon some particular phosphatic phases.

I. - INTRODUCTION

Le levé radiométrique autoporté effectué par la Faculté Polytechnique de Mons dans le cadre de l'exploration uranium du Paléozoïque de la Belgique (1) a permis de mettre en évidence toute une série d'anomalies dans les synclinaux namuriens du Bassin de Dinant. Cette note a pour objet de décrire ces anomalies et d'en préciser le contexte géologique, pétrographique et géochimique. Certes, l'existence locale d'anomalies radiométriques dans le Viséen supérieur/Namurien de la Belgique avaient déjà été signalée dans le Bassin de Namur par R. Legrand et précisées par nos travaux (Charlet *et al.*, 1977; Charlet *et al.*, 1979) pour la région de Blaton et par ceux de Herbosch *et al.* (1979) pour la région de Visé. Toutefois, le levé autoporté, grâce à sa rapidité d'exécution, a permis de circonscrire un grand nombre de zones anomaliqes nouvelles dans le bassin de Dinant (Charlet *et al.*, 1983). Une étude géologique préliminaire (Ndziba, 1980) a précisé le contrôle stratigraphique majeur de ces anomalies. Celui-ci est constitué par les schistes du V3c supérieur, horizon qui, en raison de son altérabilité, affleure généralement mal entre des formations plus

résistantes : les calcaires du V3b d'une part, les schistes siliceux et les grès du Namurien d'autre part. Fort heureusement dans la partie Ouest du Bassin de Dinant, les tranchées d'accès aux carrières de marbre "Bleu belge" ont fréquemment recoupé les schistes du V3c. L'examen systématique de ces descenderies inaccessibles en prospection autoportée a permis des observations complémentaires d'une bonne qualité propres à établir les relations entre la distribution des radioéléments, le contexte géochimique, minéralogique et pétrographique (Ndziba, 1982).

1 Communication présentée le 5 juin 1984, manuscrit reçu, après révision, le 25 janvier 1985.

2 Laboratoire de Minéralogie GEP, Faculté Polytechnique de Mons, rue de Houdain, 9, 7000 Mons, Belgique.

3 Libreville, Gabon, BP 175.

(1) Contrat financé par la Commission des Communautés Européennes et le Service Géologique de Belgique - Ministère des Affaires Economiques, coordinateur L. Dejonghe.

II. - LE CADRE GEOLOGIQUE

Les couches de passage du Viséen supérieur au Namurien ont fait l'objet de nombreux travaux. Les études biostratigraphiques ont été basées sur les Goniatites (Demanet, 1937-1838), les Conodontes (Bouckaert & Higgins, 1963) et les Foraminifères (Conil *et al.*, 1977). Elles ont principalement été effectuées dans le bassin d'Anhée et plus particulièrement dans la coupe type de la carrière de Jaiffe. Les couches de passage du V3c y reposent sur les calcaires dits "Marbre bleu belge" du V3by bien caractérisés par leur microfaune de Foraminifères (Paproth *et al.*, 1983) et qui montre à leur sommet un banc métrique de calcschistes noirâtres "le banc de desserre". Le V3c inférieur épais de 7 mètres environ est constitué de calcaires gris à cherts alternant avec des niveaux de calcschistes et de schistes (faune guide : Goniatites striatus). Le V3c supérieur débute pratiquement avec les schistes à Goniatites spirales; les schistes y dominent sur les calcaires. L'épaisseur est de 13 mètres à la carrière de Jaiffe. Les calcaires du V3c contiennent une abondante microfaune de Conodontes représentée par le genre *Gnathodus* et ses différentes espèces. La base des schistes namuriens est définie par sa faune à Goniatites; l'âge de ces couches

a fait l'objet de nombreuses mises au point qui tendent à montrer que le Namurien est transgressif du SW au NE et qu'il existerait une lacune de la zone E1 dans tout le bassin de Dinant (Bouckaert & Higgins, 1963; Bouckaert, 1967; Paproth *et al.*, 1983). L'existence de cette lacune a cependant été mise en doute par certains auteurs (Austin *et al.*, 1974). Il n'en reste pas moins vrai que si la zone E1 existe, le V3c supérieur et éventuellement l'extrême base du Namurien apparaissent en séries très condensées.

Dans la partie orientale du Bassin de Dinant, seul existerait le V3c supérieur puissant d'une dizaine de mètres et reposant sur les calcaires du V3by (Mortelmans & Bourguignon, 1954; Bouckaert & Higgins, 1963). C'est donc dans un bassin en voie de confinement tel qu'il apparaît à la fin du Viséen que vont se développer les anomalies radiométriques repérées par la prospection autoportée et dont l'étude fait l'objet de la présente note.

III. - METHODOLOGIE

L'étude des anomalies radiométriques a été effectuée en plusieurs étapes :

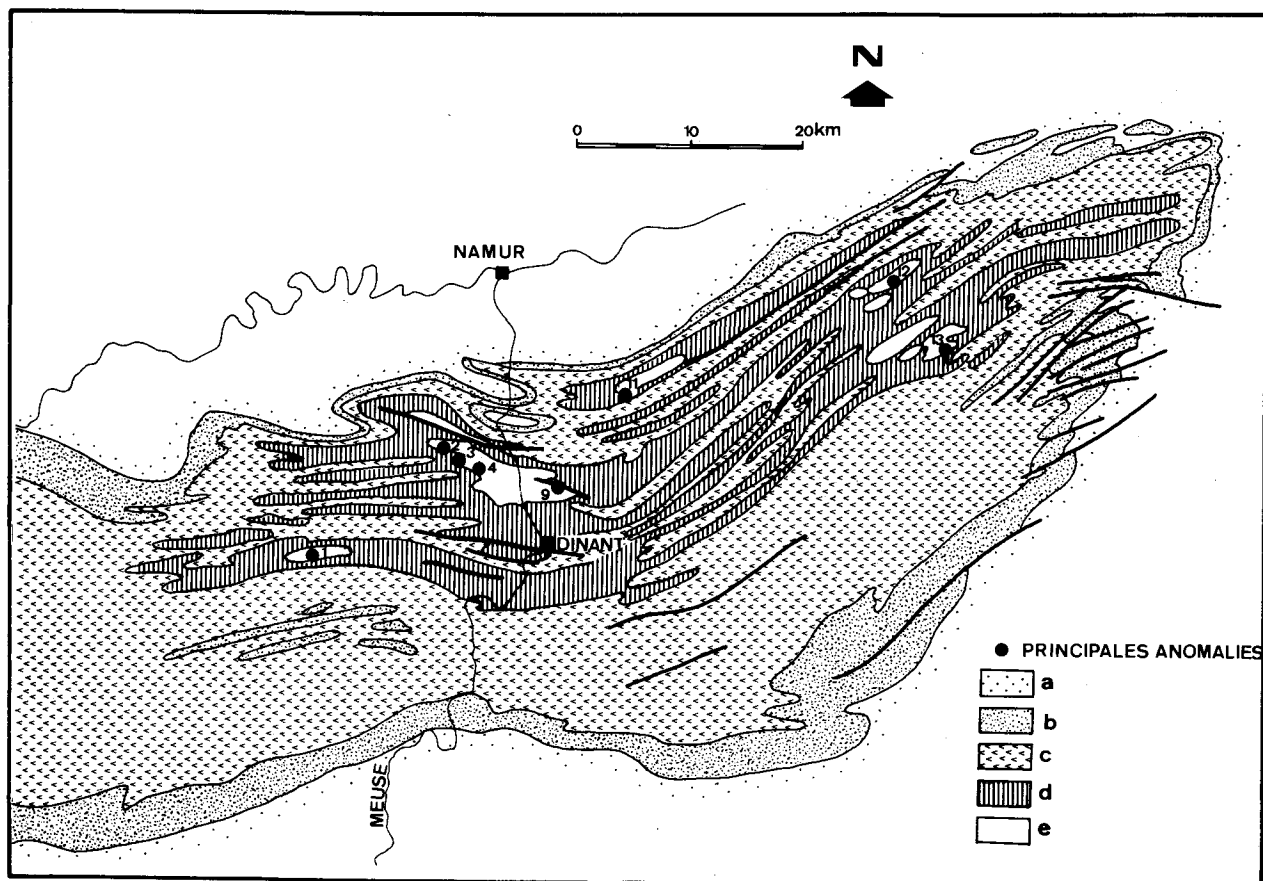


Figure 1. - Localisation des principales anomalies radiométriques du V3c supérieur du Bassin de Dinant
 a : Dévonien inférieur; b : Dévonien moyen; c : Dévonien supérieur; d : Dinantien; e : Namurien.
 Rem. : La situation des anomalies est reprise au tableau 1.

- Interprétation des levés spectrométriques issus de la prospection autoportée après conversion des données en terme de concentration en radioéléments (Charlet *et al.*, 1983).
- Levé pedestre à l'aide d'un scintillateur Geometrics calibré sur les stations de la FPMs, les taux globaux de comptage étant convertis en unités de radioactivité (Ur) (2) suivant les recommandations du groupe mixte d'experts AEN-IAEA (Charlet *et al.*, 1982).
- Echantillonnage systématique (généralement tous les 30 centimètres) des coupes les plus complètes, préalablement dégagées en raison de la mauvaise qualité des affleurements.
- Dosage par spectrométrie gamma de laboratoire des principaux radioéléments (équivalent uranium, thorium, potassium 40) et détermination de l'équilibre U/Ra.
- Etude de la répartition des radioéléments en lames minces et surfaces polies par autoradiographie alpha réalisées à l'aide des films kodak LR-115 type 2 et CN 85.
- Etude micropaléontologique (Conodontes, foraminifères) (3) et pétrographique.
- Etude minéralogique : description des phosphates, détermination des minéraux argileux par la méthode des pâtes orientées, détermination des minéraux accessoires par la méthode des poudres désorientées (4).
- Analyse de la matière réductrice par oxydation à chaud au bichromate de potassium en milieu sulfurique (4).
- Analyse des phosphates par titrimétrie ou colorimétrie suivant la richesse en P_2O_5 des échantillons (4). Les phosphates ont été dosés par volumétrie pour les fortes teneurs avec un erreur relative de 1 % à 1 écart-type, par colorimétrie pour les faibles teneurs avec une erreur relative de 3 % à 1 écart-type. Les matières réduites sont analysées par oxydation à chaud au bichromate de potassium en milieu sulfurique avec une erreur relative de 1.5 % à 1 écart-type.
- Traitement synthétique des données par l'analyse en composantes principales. Les résultats sont synthétisés dans les tableaux 3 et 6 sous la forme des matrices des coefficients de corrélation.

IV. - ETUDE DES ANOMALIES DU V3c SUPERIEUR

A. - LOCALISATION

Plus d'une dizaine d'anomalies ont été localisées au terme de la prospection autoportée et de la prospection scintillométrique pedestre orientée sur un contrôle stratigraphique préalable. Elles apparaissent dans tous

les synclinaux namuriens du Bassin de Dinant là où les conditions d'affleurement permettent l'observation du contact Namurien-Viséen (tab. 1, fig. 1, 2). Elles ont donc un caractère stratiforme et continu à l'échelle du Bassin.

Les anomalies A1 - A2 - A5 - A6 - A7 - A8 - A9 - A10 ont été découvertes par le levé autoporté (fig. 2). Les autres anomalies n'ont été découvertes que par le levé pedestre. Elles apparaissent soit dans les tranchées d'accès aux carrières de marbre bleu belge (A3 - A4) et dans les tranchées de chemin de fer (A11), soit le long d'itinéraires parcourus par la prospection autoportée mais pour lesquels les anomalies n'ont pu être mises en évidence en raison de leur caractère probablement trop ponctuel (cas de la région d'Ocquier-Modave).

La conversion des résultats de l'autoportée en concentration de radioéléments montre que les schistes du Viséen supérieur sont caractérisés par des teneurs élevées en uranium et accessoirement des teneurs anormalement faibles en thorium comparées aux valeurs moyennes des schistes du Paléozoïque de l'Ardenne (tab. 2). Elles apparaissent donc comme des anomalies essentiellement uranifères dans un ensemble où la composante détritique n'est pas dominante (faible concentration en thorium, radioélément généralement associé à la fraction terrigène; Quinif *et al.*, 1982).

Les coupes les plus représentatives (A₃ - A₄ - A₆ - A₉ - A₁₂ - A₁₃) ont été étudiées en détail, plus d'une centaine d'échantillons y ont été prélevés et analysés. Pour illustrer les résultats obtenus, nous avons sélectionné deux coupes complètes dans le V3c supérieur; l'une à l'Ouest du Bassin (carrière de Jaiffe à Warnant), l'autre à l'Est du Bassin (Ocquier).

B. - LA COUPE

1. Description de la carrière de Jaiffe à Warnant

La carrière de Jaiffe recèle la coupe de référence des "couches de passage" du V3c décrite en 1938 par F. Demanet. Plus récemment, son étude a été reprise par R. Conil, J. Bouckaert & A.C. Higgins. Un schéma d'ensemble (fig. 3) situe les observations qui peuvent encore être effectuées à la carrière de Jaiffe. A partir du terre-plein inférieur, on accède à l'entrée des exploitations souterraines du marbre bleu belge (V3b γ)

(2) L'Ur est le taux de comptage obtenu sur une couche infinie contenant 1 ppm d'eU en équilibre radioactif.

(3) Nous remercions Mr. le Prof. R. Conil et Mr. E. Groessens pour leur aide dans la détermination de la microfaune.

(4) Nous remercions Melle. M. Mercier (chercheur INISMa) et Th. Holtzapffel (Univ. Lille) pour l'aide qu'ils nous ont apporté 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 aidés dans l'interprétation statistique des données.

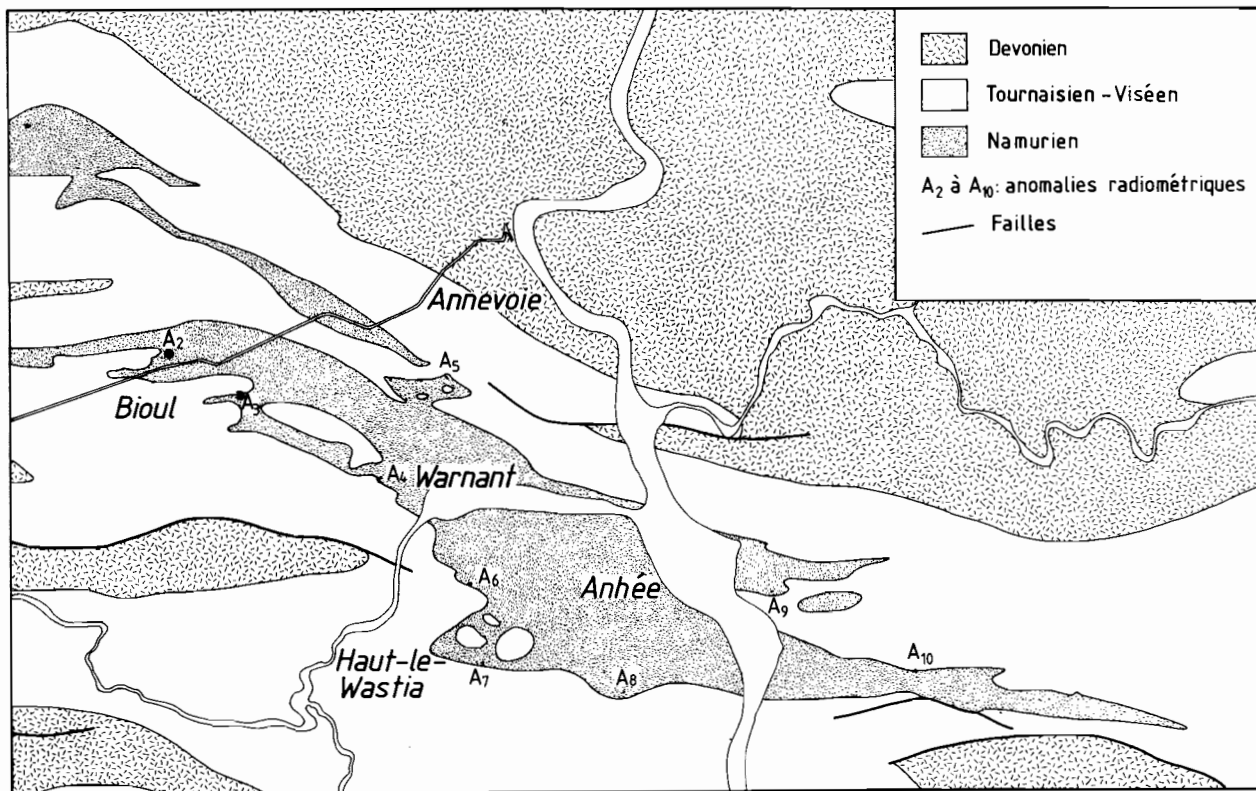


Figure 2. - Localisation des principales anomalies radiométriques du Bassin d'Anhéé.
Rem. : La situation des anomalies est reprise au tableau 1.

Tableau 1

| Synclinaux | Anomalies radiométriques | Coordonnées X | Lambert Y | Cartes | |
|--------------|---|---|---------------------------------|--------|--------|
| Florennes | A1 | 167,25 | 103,32 | 53/5-6 | |
| Bioul-Anhéé. | Rive gauche de la Meuse. | A2 : Bioul - Centre | 180,15 | 113,75 | 53/3-4 |
| | | A3 : Carrière de la Noire Terre (Bioul) | 181,12 | 113,30 | 53/3-4 |
| | | A4 : Carrière de Jaiffe (Warnant) | 182,8 | 111,8 | 53/3-4 |
| | | A5 : Bois de Warnant | 183,6 | 113,4 | 53/3-4 |
| | | A6 : Nouvelle route de Haut-les-Wastia | 183,85 | 110,85 | 53/3-4 |
| | Rive droite | A7 : Bois du Curé (Haut-les-Wastia) | 185,85 | 109,45 | 53/3-4 |
| | | A8 : Lieu dit Plantisse, Haut-les-Wastia | 183,95 | 109,80 | 53/3-4 |
| | | A9 : Chemin forestier des ruines de Poilvache à la vallée de la Meuse | 187,85 | 111,25 | 53/3-4 |
| | | A10 : Mont d'Houx (route de Purnode) | 189,6 | 109,55 | 53/3-4 |
| | | Gesves | A11 : Tranchée du chemin de fer | 195,75 | 118,50 |
| Modave | A12 : au N-E de Modave (talus de route) | 217,22 | 126,67 | 48/7-8 | |
| Ocquier | A13 : Route Modave-Ocquier | 222,77 | 121,90 | 48/7-8 | |

Tableau 2

Résultats de la prospection autoportée. Les anomalies de la région Bioul-Anhée comparées aux valeurs des principales formations schisteuses du Bassin de Dinant.

| | K ₂ O (%) | eU (ppm) | Th (ppm) | TC (Ur) |
|---------------|----------------------|----------|----------|---------|
| A2 | 1,63 | 41,9 | 5,40 | 36,7 |
| A5 | 1,83 | 18,5 | 7,4 | 30,3 |
| A6 | 1,53 | 47,3 | 7,4 | 52,8 |
| A7 | 2,13 | 34,7 | 5,4 | 41,6 |
| A8 | 0,94 | 22,1 | 3,4 | 28,7 |
| A9 | 1,53 | 34,7 | 5,4 | 43,2 |
| A10 | 2,43 | 16,7 | 7,4 | 27,1 |
| Silésien Moy | 2,10 | 4,25 | 9,13 | 19,1 |
| s | 0,63 | 1,49 | 3,31 | 4,5 |
| Famennéen Moy | 2,92 | 3,28 | 9,75 | 21,4 |
| s | 0,77 | 1,49 | 2,61 | 5,15 |
| Devonien Moy | 2,35 | 3,70 | 10,73 | 20,96 |
| inf. s | 0,72 | 1,61 | 3,01 | 5,58 |

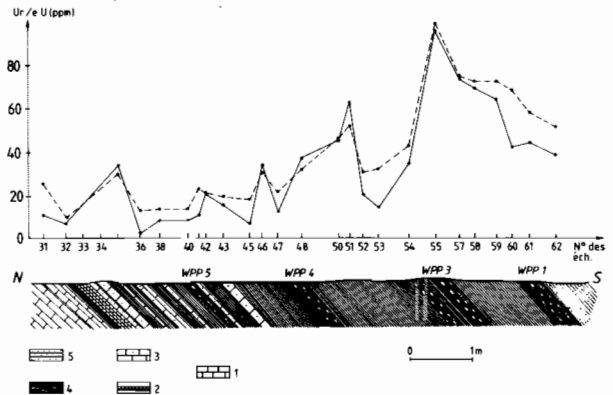


Figure 4
Levé géologique et radiométrique du V3c supérieur de la carrière de Jaiffe.

1. calcaires; 2. silicites; 3. calcaires siliceux; 4. schistes fins à niveaux de nodules phosphatés (WFP); 5. Namurien; en pointillé : évolution de la radioactivité mesurée sur le terrain à l'aide d'un scintillateur Geometrics et exprimée en Ur; en traits plein : concentration en équivalent uranium exprimé en ppm (eU) des échantillons prélevés tous les 30 centimètres environ. Rem. : Les paramètres Ur ou eU portés en ordonnée sont exprimés dans les mêmes unités.

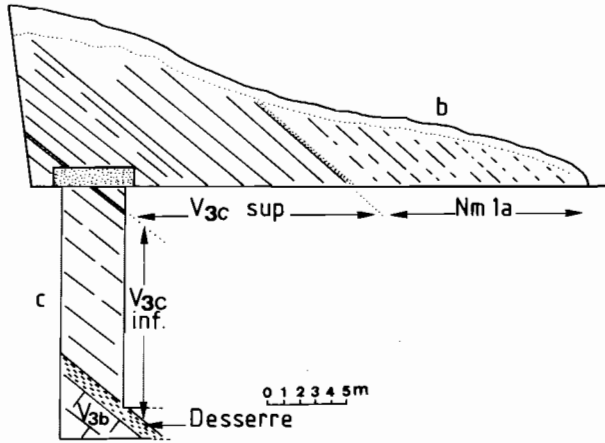


Figure 3

Situation de la Carrière de Jaiffe (d'après Demanet, 1938).

presque totalement noyée. Un chemin dans le bois atteint une recoupe (b) dans les schistes du V3c supérieur (5). Les calcaires du V3c inférieur ne sont par contre observables que dans un puits d'accès aux exploitations souterraines (c).

Le levé de la tranchée d'accès (fig. 4) montre à la base une alternance de bancs peu épais de calcaires fins et siliceux, de silicites et de schistes noirs à niveaux de phosphorites sous forme de nodules ou de straticules passant rapidement à des schistes de teinte noire ou brune, bien feuilletés et renfermant de nombreux niveaux de nodules de phosphates riches en radiolaires (wpp). Nous avons recueilli dans les derniers bancs calcaires une abondante microfaune de conodontes, représentée par le genre caractéristique *Gnathodus* et ses différentes formes.

2. Distribution des radioéléments

La radioactivité mesurée tous les 30 centimètres (Ur) est globalement élevée et présente de nombreuses

fluctuations même au droit d'horizons apparemment homogènes sur le plan lithologique. A trois et à cinq mètres du dernier banc calcaire, on note l'existence de deux horizons très radioactifs. Leur position ne correspond pas nécessairement à celle des niveaux à nodules phosphatés.

L'analyse en spectrométrie gamma au laboratoire montre que l'ensemble des schistes du V3c supérieur sont enrichis en uranium (fig. 4 et 7). Il en est d'ailleurs de même des calcaires siliceux de la base du V3c supérieur où les teneurs en U atteignent fréquemment 10 à 15 ppm alors que le clarke se situe à environ 2 ppm.

C. - LA COUPE D'OCQUIER

Dans la partie orientale du bassin où les exploitations du "bleu belge" sont absentes, les bonnes coupes dans les schistes du V3c sont très rares. Après un levé radiométrique général, nous avons sélectionné la coupe du talus de la route Ocquier-Modave (anomalies A13) qui montre en succession pratiquement continue les derniers bancs calcaires du Viséen supérieur (V3bγ) et une suite lithologique que nos levés ont reconnu dans tout le bassin d'Anhée avec de bas en haut : schistes avec des niveaux de silicites, schistes bruns très altérés avec niveaux de nodules phosphatés et anomalie radioactive, schistes noirs siliceux et silicites appartenant pro parte au Namurien. La définition de la géométrie de cette

(5) Le levé a exigé au préalable le dégagement de la coupe, fortement altérée.

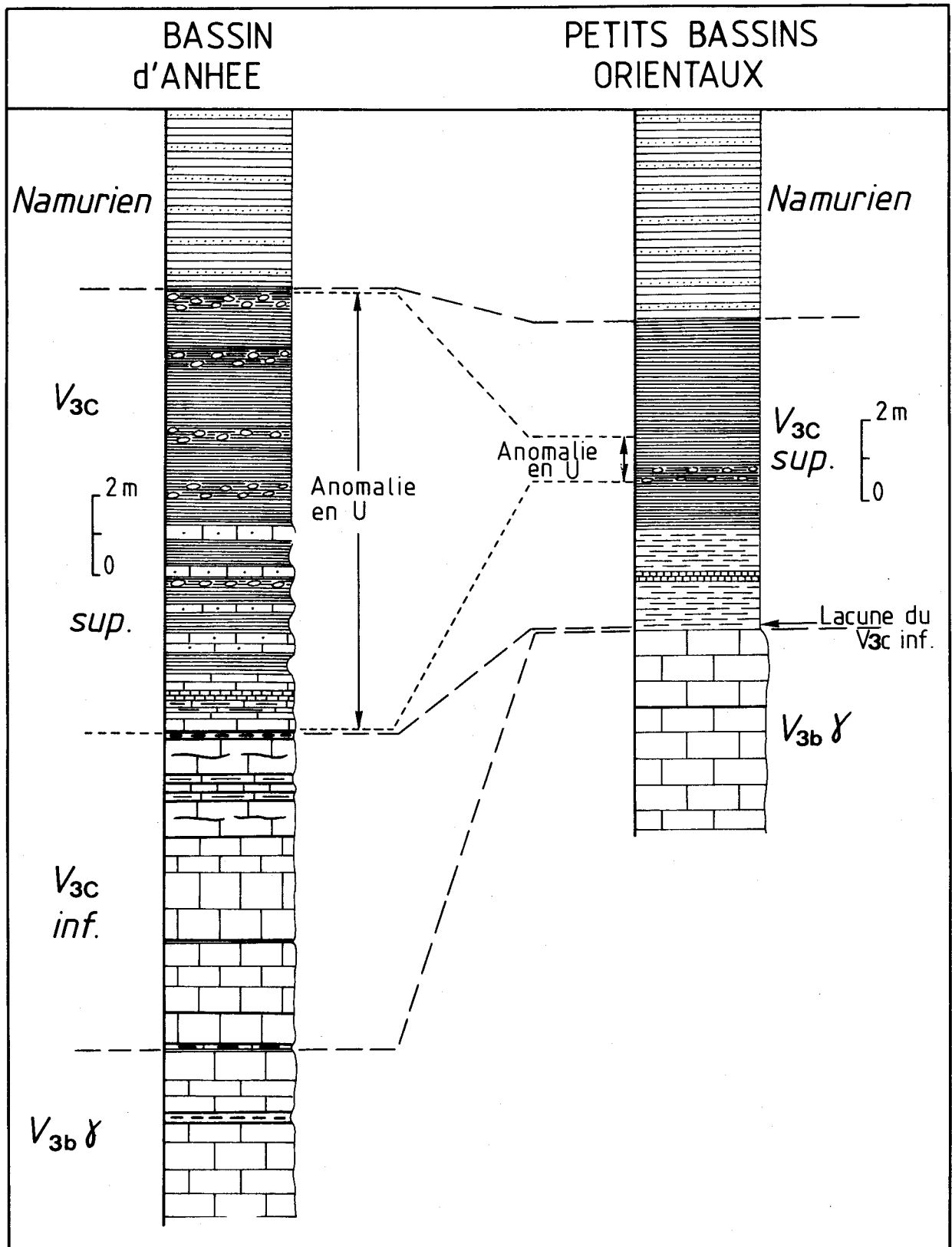


Figure 5. - Corrélations entre le Bassin d'Anhée (A) et les petits bassins orientaux (R).
 1. calcaires; 2. minéraux argileux; 3. calcaires argileux; 4. silicites; 5. calcaires siliceux;
 6. schistes fins à niveaux de nodules phosphatés; 7. Namurien.

série de passage des faciès carbonatés aux faciès schisteux (épaisseur, continuité des séries) reste cependant tributaire de l'existence d'accidents tectoniques dont la nature et la localisation sont particulièrement difficiles à cerner, vu le manque de bons affleurements. La coupe d'Ocquier (fig. 5 coupe B) montre les schistes bruns du V3c reposant directement sur les calcaires du V3bγ (datés par leur microfaune de foraminifères). Comparée aux coupes de la partie occidentale du Bassin de Dinant, la coupe d'Ocquier montre :

- l'absence des calcaires du V3c inférieur riches en Conodontes.
- la réduction des horizons phosphatés à un seul niveau à nodules.
- la réduction des niveaux radioactifs à un seul banc d'extension verticale très faible (quelques dizaines de cms) mais d'intensité très élevée (130 Ur au moins).

De part et d'autre de l'anomalie, la radioactivité décroît rapidement. Elle atteint 25 Ur dans les schistes noirs et gréseux. L'analyse en spectrométrie gamma de laboratoire montre cependant que les teneurs en U des schistes du V3c supérieur et même des schistes siliceux du Namurien restent anormalement élevées.

D. - CONCLUSION DE L'ETUDE STRATIGRAPHIQUE DES ANOMALIES

Les faits que nous venons de décrire se trouvent confirmés par l'étude des autres coupes effectuées dans le Bassin, bien que ces dernières présentent souvent des hiatus d'observations ne permettant pas un échantillonnage complet des séries de passage Viséen-Namurien. L'ensemble des observations montre que :

- dans le synclinal d'Anhée, le V3c supérieur est radioactif dans son ensemble (fig. 5A), bien que la distribution de la radioactivité n'y obéit à aucune loi simple. Toutefois, dans chaque coupe étudiée, il a été possible de distinguer au moins deux pics importants dont le premier est situé à quelques mètres au-dessus des derniers calcaires viséens qui, renfermant une abondante microfaune de Conodontes (anomalies A3 - A4 - A6), sont attribués au V3c inférieur. Le second pic se localise au sein des schistes fins à nodules phosphatés. Le taux de comptage global, certes élevé, ne dépasse pas la centaine d'unités de radioactivité (Ur).
- dans les petits bassins orientaux, le niveau renfermant l'anomalie est réduit en épaisseur (quelques dizaines de centimètres). Il est unique, d'intensité plus élevée que dans le Bassin d'Anhée (135 Ur) et situé à quelques mètres au-dessus des calcaires du V3bγ à foraminifères (fig. 5B); les calcaires renfermant une abondante microfaune de Conodontes sont absents (lacune du V3c inférieur).
- la présence des phosphates sous forme notamment de niveaux à nodules est un autre trait caractéristique

de ces séries. Toutefois, si, globalement, le V3c supérieur apparaît enrichi en uranium et en phosphore, les niveaux où le phosphate est le mieux exprimé ne sont pas nécessairement les plus radioactifs (fig. 7).

V. - ETUDES PETROGRAPHIQUES, MINERALOGIQUES ET GEOCHIMIQUES

A. - ETUDE GEOCHIMIQUE GLOBALE

En vue de dégager les facteurs responsables d'un enrichissement local en uranium, une étude minéralogique et géochimique a d'abord été effectuée sur la coupe de la carrière de Jaiffe. Les analyses suivantes ont été effectuées : équivalent uranium (eU), thorium, potassium et équilibre radioactif (U/Ra en 0/0) par spectrométrie gamma, pourcentage en minéraux argileux sur la fraction inférieure à 2 microns, teneurs en P₂O₅, matière réduite (MR) et calcimétrie.

L'examen des figures 6-7 et de la matrice des coefficients de corrélation (tabl. 3) permet de faire les remarques suivantes :

- il y a une excellente corrélation (r = 0,94) entre la radioactivité globale mesurée sur le terrain exprimée en Ur et la teneur en uranium déterminée en laboratoire sur les échantillons prélevés aux mêmes points de mesure (eU) (6).
- l'uranium est en proportion variable mais nettement supérieure à son clarke (de quelques ppm) que l'on considère les roches argileuses (fig. 6-7) ou les bancs calcaires de la base du V3c supérieur (fig. 7). Deux zones à concentration plus forte apparaissent à trois et à cinq mètres environ du dernier banc calcaire.

Tableau 3

Matrice des coefficients de corrélation entre les variables, la carrière de Jaiffe à Warnant. (25 échantillons).

| | eU | Th | K | Um | P ₂ O ₅ | MR | CO ₃ | Ur |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------------------------------|-------|-----------------|------|
| 1) eU | 1,00 | | | | | | | |
| 2) Th | -0,03 | 1,00 | | | | | | |
| 3) K | 0,00 | 0,61 | 1,00 | | | | | |
| 4) Um | 1,00 | -0,06 | -0,01 | 1,00 | | | | |
| 5) P ₂ O ₅ | 0,75 | -0,07 | -0,11 | 0,76 | 1,00 | | | |
| 6) MR | 0,64 | 0,16 | 0,22 | 0,64 | 0,52 | 1,00 | | |
| 7) CO ₃ | -0,55 | -0,39 | -0,54 | -0,55 | -0,39 | -0,81 | 1,00 | |
| 8) Ur | 0,94 | -0,08 | 0,05 | 0,95 | 0,77 | 0,70 | -0,59 | 1,00 |

(6) A l'échelle de tout le Bassin d'Anhée, elle est tout aussi bonne (r = 0,94) avec une droite ayant pour équation y = 1,082 x - 15,22. La radioactivité globale convertie en Ur et corrigée du bruit de fond est donc avec une bonne approximation une mesure de la teneur en uranium. L'ordonnée à l'origine (15 Ur) est liée à la contribution toujours faible du thorium et du potassium.

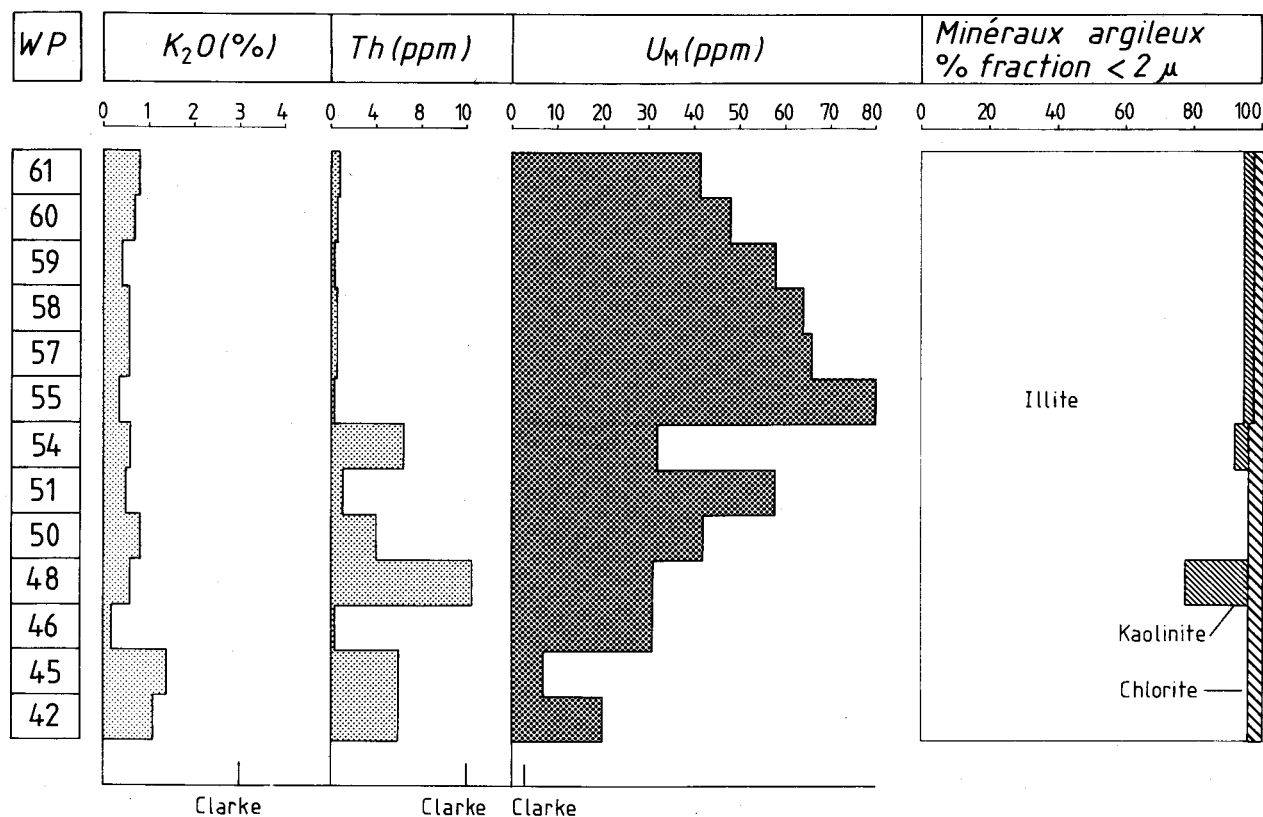


Figure 6. - Répartition des radioéléments et des minéraux argileux dans les schistes du V3c supérieur de la carrière de Jaiffe.

- l'uranium métal (U_M) déterminé à partir de sa raie à 184 KeV et l'eU déterminé à partir des raies à 295-610-1120 KeV sont en corrélation parfaite ($r = 1$), ce qui traduit l'absence de déséquilibre radioactif dans la famille de l'uranium c'est-à-dire l'absence de lessivage récent et préférentiel de l'uranium ou de ses descendants.
 - il existe une corrélation entre le thorium (Th) et le potassium (K) ($r = 0.61$). On sait que ces radioéléments sont classiquement considérés comme liés à la fraction détritique (Quinif *et al.*, 1982). Leur faible proportion dans les schistes du V3c supérieur (fig. 6) traduit une tendance plus marquée vers un dépôt d'origine chimique.
 - les teneurs en phosphore sont nettement supérieures au clarke (7) que l'on considère une fois de plus les schistes ou les roches carbonatées (fig. 7).
 - la corrélation entre l'uranium d'une part, la matière réduite et le P_2O_5 d'autre part est moyenne ($r = 0.75$ pour le P_2O_5 , $r = 0,64$ pour la MR). Elle traduit le fait que l'uranium est probablement lié, en proportion variable, à ces deux phases.
 - les analyses effectuées sur l'ensemble des nodules phosphatés montrent que les teneurs en U ne sont pas proportionnellement plus élevées que celles de certains schistes encaissants.
- le contenu minéralogique des schistes caractérisés par une très forte proportion d'illite ne montre pas de corrélation avec la distribution de l'uranium. La kaolinite peu abondante semble par contre en relation avec des teneurs plus fortes en thorium (éch. N° WP48 et WP54, fig. 6).
- En vue de dégager le rôle respectif de la phosphatogénèse et de la matière organique dans la distribution de l'uranium, nous avons traité les données analytiques en considérant séparément ou simultanément les trois lithologies principales rencontrées au sein du V3c supérieur, à savoir : les schistes, les calcaires, les nodules phosphatés et cela pour l'ensemble des coupes étudiées dans le bassin de Dinant (soit plus d'une centaine d'échantillons).
- Par rapport aux schistes pris isolément (tab. 4), l'introduction des calcaires dans le traitement des données améliore les corrélations entre l'uranium et la matière organique et dans une moindre mesure entre l'uranium et le P_2O_5 (tab. 5). Cette observation semble démontrer que dans des calcaires de base du V3c supérieur, l'uranium est davantage lié aux matières réduites qu'aux phosphates.
- (7) 0,11 à 0,17 % en P_2O_5 dans les schistes - 0,03 à 0,07 % en P_2O_5 dans les calcaires (d'après Slansky, 1980).

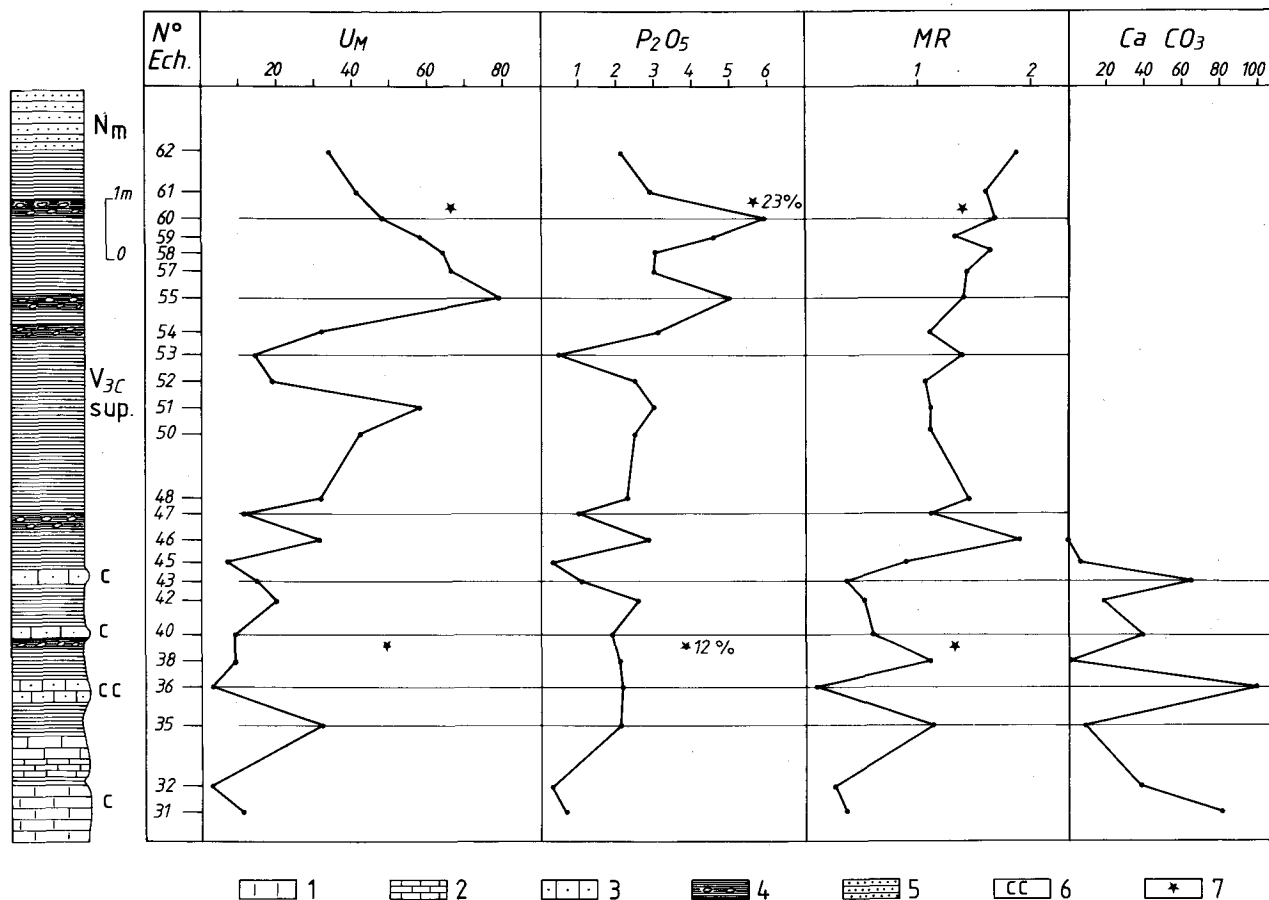


Figure 7. - Relation uranium-phosphates - matières réduites - calcimétrie dans la coupe du V3c supérieur de la carrière de Jaiffe. 1. calcaires; 2. silicites; 3. calcaires siliceux; 4. schistes fins à niveaux de nodules phosphatés; 5. Namurien; 6. présence et abondance des Conodontes; 7. analyses réalisées sur les nodules phosphatés isolés.

Tableau 4

Matrice des coefficients de corrélation entre les variables, cas des schistes du V3c supérieur (50 échantillons).

| | eU | Th | K | Um | P ₂ O ₅ | MR | CO ₃ | Ur |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------------------------------|-------|-----------------|------|
| 1) eU | 1,00 | | | | | | | |
| 2) Th | -0,47 | 1,00 | | | | | | |
| 3) K | -0,46 | 0,65 | 1,00 | | | | | |
| 4) Um | 0,99 | -0,49 | -0,47 | 1,00 | | | | |
| 5) P ₂ O ₅ | 0,68 | -0,42 | -0,39 | 0,68 | 1,00 | | | |
| 6) MR | 0,25 | -0,20 | -0,18 | 0,27 | 0,13 | 1,00 | | |
| 7) CO ₃ | -0,23 | 0,19 | 0,18 | -0,24 | -0,17 | -0,22 | 1,00 | |
| 8) Ur | 0,92 | -0,54 | -0,42 | 0,93 | 0,77 | 0,24 | -0,31 | 1,00 |

Tableau 5

Matrice des coefficients de corrélation entre variables, cas des schistes et calcaires du V3c supérieur (56 échantillons).

| | eU | Th | K | Um | P ₂ O ₅ | MR | CO ₃ | Ur |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------------------------------|-------|-----------------|------|
| 1) eU | 1,00 | | | | | | | |
| 2) Th | -0,28 | 1,00 | | | | | | |
| 3) K | -0,20 | 0,68 | 1,00 | | | | | |
| 4) Um | 0,99 | -0,30 | -0,21 | 1,00 | | | | |
| 5) P ₂ O ₅ | 0,71 | -0,28 | -0,21 | 0,72 | 1,00 | | | |
| 6) MR | 0,42 | 0,00 | 0,11 | 0,43 | 0,28 | 1,00 | | |
| 7) CO ₃ | -0,41 | -0,27 | -0,41 | -0,41 | -0,31 | -0,56 | 1,00 | |
| 8) Ur | 0,94 | -0,31 | -0,13 | 0,94 | 0,79 | 0,44 | 0,47 | 1,00 |

L'introduction des nodules phosphatés par contre diminue la corrélation entre l'uranium et le P₂O₅. Cette observation est apparemment en contradiction avec des idées classiquement développées à propos de la liaison uranium-phosphates sédimentaires. L'analyse de 12 nodules du V3c supérieur montre une corrélation U-P₂O₅ inexistante (r = 0,32); il en est de même d'ailleurs entre l'uranium et la matière organique.

B. - LES NODULES PHOSPHATES

En vue de dégager les modalités de distribution de l'uranium au sein des nodules phosphatés, nous avons entrepris une étude pétrographique de ceux-ci, jointe à une étude de la répartition de l'uranium par autoradiographie (Pl. 1).

L'étude sur le terrain des nodules montre qu'ils

Tableau 6
Matrice des coefficients de corrélation entre les variables,
V3c supérieur, tous types lithologiques confondus.
(68 échantillons)

| | eU | Th | K | Um | P ₂ O ₅ | MR | CO ₂ |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------------------------------|-------|-----------------|
| 1) eU | 1,00 | | | | | | |
| 2) Th | -0,88 | 1,00 | | | | | |
| 3) K | -0,42 | 0,70 | 1,00 | | | | |
| 4) Um | 0,99 | -0,26 | -0,43 | 1,00 | | | |
| 5) P ₂ O ₅ | 0,46 | -0,40 | -0,56 | 0,43 | 1,00 | | |
| 6) MR | 0,51 | -0,05 | -0,12 | 0,52 | 0,25 | 1,00 | |
| 7) CO ₂ | -0,38 | -0,19 | -0,22 | -0,35 | -0,23 | -0,47 | 1,00 |

se présentent sous forme de galets sphériques ou elliptiques plus ou moins aplatis de 1 à 6 cm de diamètre, de même teinte noire, grise ou brune que les schistes dans lesquels ils apparaissent. Ils sont essentiellement localisés dans les couches de passage du Viséen-Namurien (on ne les trouve, ni dans les calcaires V3b sous-jacents, ni dans l'importante série détritique namurienne). Rappelons également qu'ils sont, comme les anomalies radiométriques, distribués en plusieurs niveaux dans le synclinal d'Anhée et qu'ils se réduisent à un seul niveau dans les petits bassins de Modave et d'Occquier. Toutefois, bien que globalement uranium et nodules phosphatés suivent une loi de distribution analogue, les observations de terrains montrent déjà que les niveaux radioactifs les plus intenses ne sont pas nécessairement les niveaux à nodules.

L'étude pétrographique et minéralogique des nodules montre que le phosphate s'y trouve sous différentes formes minéralogiques et sous différentes modalités d'association. Ces modalités (Pl. 1) évoluent d'un faciès sans différenciation interne à un faciès à structure concentrique dans laquelle s'individualise généralement un nucleus où l'on trouve divers organismes ou débris d'organismes dans un parfait état de conservation (radiolaires, goniatites, débris végétaux...). Le phosphate peut s'y présenter sous forme de collophanite ou de petits cristaux prismatiques de fluoroapatite (8).

Les nodules doivent être considérés syngénétiques : la remarquable conservation des radiolaires et autres restes organiques exclut toute idée de remaniement et tend à démontrer qu'ils sont restés enfouis dans les dépôts qui leur ont donné naissance. A noter que l'absence de radiolaires dans les schistes peut s'expliquer par les transformations post-sédimentaires ayant affecté ces dépôts.

L'enrichissement général en phosphate de toutes les roches dans la partie supérieure du V3c montre bien l'importance de la phosphatogenèse durant cette période de transition et, par conséquent, la possibilité d'une différenciation des nodules phosphatés in situ. Néanmoins, on doit admettre l'existence d'une étape de diagenèse précoce au cours de laquelle les nodules se se-

raient formés, permettant ainsi la fossilisation et la préservation de la faune des radiolaires.

L'examen en autoradiographie montre que la radioactivité est irrégulièrement répartie au sein des nodules; la densité de traces témoignant toujours d'une concentration en uranium qui, à l'échelle microscopique ne doit pas dépasser quelque 100 ppm (pas d'uranium exprimé sous forme minéralogique). L'uranium étant fixé préférentiellement sur certaines phases phosphatées, on comprend dès lors que la proportionnalité entre l'U et le P₂O₅ analysés par voie chimique ne soit que partielle.

VI. - PROCESSUS DE FIXATION DE L'URANIUM

Manifestement, l'uranium lié à l'association matière organique-phosphates - silice d'origine chimique ou biochimique peut être considéré comme syngénétique dans un environnement où la composante détritique est peu marquée (teneur en thorium faible, argiles probablement déposées par des mécanismes de floculation). Présent dans le bassin de sédimentation au moment du dépôt des schistes du V3c supérieur, il se fixe d'abord sur la matière organique. Lorsque la sédimentation phosphatée devient importante, le rôle fixateur des matières organiques s'atténue et les phosphates apparaissent comme le principal piège de l'uranium. A la fin du V3c, une lacune de sédimentation s'installe (lacune de la zone E₁ du Namurien). Celle-ci a pour effet de favoriser la fixation de tout l'uranium disponible dans les eaux interstitielles, au sein d'une série V3c très condensée. Dans la partie Est du synclinorium où cette condensation est particulièrement forte, il n'y a qu'un seul niveau uranifère caractérisé par des teneurs élevées. Dans le Bassin d'Anhée, où les dépôts sont plus épais, on remarque par contre une certaine dilution du contenu uranifère. Enfin, dès que s'installe au Namurien une sédimentation franchement détritique, les processus, essentiellement chimiques, de concentration de l'uranium disparaissent.

La liaison uranium - faciès "schistes noirs" est bien connue (Bell, 1978; Degens *et al.*, 1977; Weber & Sackett, 1981). On rencontre de telles concentrations soit dans des bassins fermés euxéniques (Mer Noire, Mer Baltique, ...) soit dans des conditions anaérobies sur les marges continentales à la partie supérieure du talus (côte S-W de l'Afrique par exemple). On peut également citer les anomalies en uranium signalées dans certaines fosses à saumure de la Mer Rouge (Atlantis II par exemple). Si les conditions bathymétriques peuvent donc être très variables, la présence d'un milieu anoxique semble être une condition essentielle à la concentration

(8) La détermination aux rayons X par la méthode des couples de pics montre qu'il s'agit d'une fluoroapatite à 0,35-0,94% de CO₂ analogue à celle identifiée par Herbosch dans la région de Visé.

d'uranium. Toutefois d'autres facteurs interviennent comme le faible taux de sédimentation et l'existence d'un certain vecteur de transport favorisé par les courants de convection (Mer Rouge). Aussi les processus de fixation de l'uranium dans de tels milieux sont-ils complexes. Dans des zones enrichies, la corrélation entre la concentration en uranium et l'abondance en matière organique est parfois mauvaise (Weber & Sackett, 1981). En outre, la fixation de l'uranium sur les phosphates dépend d'un certain nombre de facteurs, comme la dimension des cristallites d'apatite (Slansky, 1980). On comprend donc que dans le Viséen supérieur où les facteurs favorables à la concentration de l'uranium ont été réunis (9) sa liaison avec l'abondance en matière organique et en phosphate soit complexe.

VII. - CONCLUSION

L'étude géologique, radiométrique et géochimique du V3c du Bassin de Dinant nous a permis de dégager les résultats suivants :

1. Dans le Bassin de Dinant, le V3c est le siège d'une zone d'anomalies radiométriques, stratiforme et d'extension régionale, repérable partout où cette série affleure. L'analyse par spectrométrie gamma montre que l'uranium est responsable de ces anomalies, les autres radioéléments naturels (Th-k40) étant en concentrations très faibles, plus faibles en général que le clark des même types lithologiques.
2. L'étude pétrographique et minéralogique des différents types lithologiques du V3c supérieur (schistes, calcaires, nodules phosphatés) ne montre pas de différences essentielles entre les constituants des faciès uranifères et ceux des faciès peu (ou pas) uranifères. On constate cependant que l'enrichissement en uranium coïncide (globalement) avec l'enrichissement en phosphate de toute la série.
3. De l'examen de la figure 7, il ressort que l'uranium est fixé à l'état diffus (10) préférentiellement par les matières réductrices à la base de la coupe et par les phosphates de son sommet, le rôle fixateur de ces derniers augmentant donc avec le développement de la phosphatogenèse, c'est-à-dire de la base au sommet de la série.
Les corrélation U-P₂O₅ et U-MR ne sont cependant pas vérifiées dans les nodules phosphatés, l'uranium étant probablement fixé préférentiellement sur certains éléments phosphatés en fonction de leur nature minéralogique.
4. Les schistes namuriens contrastent fondamentalement avec les schistes du V3c supérieur : absence d'anomalies radiométriques véritables, absence de phosphatogenèse, présence et même abondance de quartz détritique. Par contre, les calcaires à Conodontes de la base du V3c supérieur contiennent déjà des teneurs

anormalement élevées en uranium (plusieurs dizaines de ppm).

Enfin, si l'étude radiométrique, pétrographique et minéralogique des anomalies du V3c supérieur nous ont permis de mieux comprendre les processus de concentration de l'uranium au V3c supérieur, l'origine même de cet élément ne peut être envisagé qu'en étudiant sa distribution dans les formations sous-jacentes et la manière dont "se préparent" les concentrations anormales en uranium présentes dès les premiers horizons du V3c supérieur (Quinif *et al.*, 1984).

BIBLIOGRAPHIE

- AUSTIN, R., CONIL, R., GROESSENS, E. & PIRLET, H., 1974. Etude biostratigraphique de l'encrinite de Tramaka. Bull. Soc. belg. Géol., 83 (2) : 113-129.
- BELL, R.P., 1978. Uranium in black shales. A review. In : M.D. Kimberley (Ed.), Short course in uranium deposits. Their mineralogy and origin, 3 : 307-322.
- BOUCKAERT, J. & HIGGINS, A.C., 1963. La base du Namurien dans le Bassin de Dinant. Bull. Soc. belg., 72 (2) : 106-120.
- BOUCKAERT, J., 1967. Namurian transgression in Belgium. Ann. Soc. géol. Pologne, 37 : 145-150.
- CHARLET, J.-M., DUPUIS, Ch. & QUINIF, Y., 1979. Mise en évidence par la thermoluminescence (TL) des sables landéniens d'anomalies radiométriques nouvelles dans la coupe du canal de Blaton. Ann. Soc. géol. Belg., 101 : 337-349.
- CHARLET, J.-M., DRUMEL, B., QUINIF, Y. & YANS, D., 1982. Conversion des résultats d'une prospection radiométrique autoportée en unités de concentrations des radioéléments. Ann. Soc. géol. Belg., 105 : 195-203.
- CHARLET, J.-M., DEJONGHE, L., DE WITTE, S.M., DRUMEL, B., HENRY, J., HERBOSCH, A., LEFIN, J.-P. & MARTIN, H., 1983. Reconnaissance Survey for uranium in the Belgian Paleozoic. Prof. Paper n° 196, Serv. géol. de Belg., 189 p.
- CONIL, R., GROESSENS, E. & PIRLET, M., 1977. Nouvelle charte stratigraphique du Dinantien type de Belgique. Ann. Soc. Géol. Nord, 96 : 363-371.
- DEGENS, E.P., KHOO, F. & MICHAELIS, W., 1977. Uranium anomaly in Black sea sediments. Nature, 269 : 566-569.
- DEMANET, F., 1938. La faune des couches de passage du Dinantien au Namurien dans le synclinorium de Dinant. Mém. du Musée Royal Hist. Nat., Belgique, 64 : 200 p.
- HERBOSCH, A., DE WITE, S.M. & PREAT, A., 1979. Recherches sur les indices de minéralisations uranifères dans la région de Visé. Prof. Paper n° 162, Serv. Géol. Belg., 90 p.
- (9) Faible taux de sédimentation (condensation des séries), milieu marin en voie de fermeture, sédimentation chimique ou biochimique anoxique.
- (10) Ni l'étude en lames minces, ni la diffraction des rayons X ni l'analyse autoradiographique n'ont révélé la présence de minéraux uranifères exprimés.

- MORTELMANS, G. & BOURGUIGNONS, P., 1954. Le Dinantien in Prodrôme d'une description géologique de la Belgique.
- NDZIBA, M., 1980. Etude géologique et radiométrique de la région de Bioul (province de Namur), Belgique. D.E.A' Univ. Lille I : 54 p.
- NDZIBA, M., 1982. Anomalies radiométriques des couches de passage du Viséen-Namurien dans le Bassin de Dinant (Ardennes, Belgique). Etude géologique et géochimique. Doctorat 3 cycle, Univ. Lille I : 53 p.
- PAPROTH, E., CONIL, R., BLESS, M.J.M., BOONEN, P., BOUCKAERT, J., CARPENTIER, N., COEN, M., DELCAMBRE, B., DEPRIJCK, Ch., DEUZON, S., DRESEN, R., GROESSENS, E., HANCE, L., HENNEBERT, M., HIBO, D., HAHN, G. & R., HISLAIRE, O., KASIG, W., LALOUX, M., LAUWERS, A., LEES, A., LYS, M., OP DE BEEK, K., OVERLAU, P., PIRLET, H., POTY, E., RAMSBOTTOM, W., STREEL, M., SWENNEN, R., THOREZ, J., VANGUESTAINE, M., VANSTEENWINKEL, M. & VIESLET, J.L., 1983. Bio- and lithostratigraphic subdivisions of the Dinantian in Belgium. A Review. *Ann. Soc. géol. Belg.*, 106 : 185-239.
- PAPROTH, E., DUSAR, M., BLESS, M.J.M., BOUCKAERT, J., DELMER, A., FAIRON-DEMARET, M., HOULLEBERGHS, E., LALOUX, M., PIERARD, P., SOMERS, Y., STREEL, M., THOREZ, J. & TRICOT, J., 1983. Bio- and lithostratigraphic subdivisions of the Silesian in Belgium. A Review. *Ann. Soc. géol. Belg.*, 106 : 241-283.
- QUINIF, Y., CHARLET, J.-M. & DUPUIS, Ch., 1982. Géochimie des radioéléments : U-Th-K₂O dans les roches détritiques, une nouvelle méthode d'interprétation. *Ann. Soc. géol. Belg.*, 105 : 223-233.
- QUINIF, Y. & CHARLET, J.-M., 1984. Un événement géochimique du Viséen supérieur dans le bassin de Dinant (Belgique). La coupe d'Anhée et ses anomalies radioactives. *Ann. Soc. géol. Belg.*, à paraître.
- SLANSKY, M., 1980. Géologie des phosphates sédimentaires. *Mém. B.R.G.M. n° 114* : 92 p.
- WEBER, F.F. & SACKETL, W.M., 1981. Uranium geochemistry of Orca Basin. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 45 : 1321-1329.

PLANCHE 1

- 1 et 2. Sections de nodules phosphatés présentant parfois un nucléus différencié.
- 3 (LN). Différents faciès phosphatés :
 - A. plage brune de collophanite
 - B. gangue phosphatée cryptocristalline
 - C. phosphate microcristallin (fluoroapatite).
4. Tissus cellulaires de débris de plantes (genre *Archaeocalamites*) fossilisés dans un nodule et épigénisés en phosphate.
5. Goniatite dans un nodule phosphaté.
- 6 et 7. Radiolaires à tests bien conservés, fossilisés par le phosphate. En 7 le développement de la fluoroapatite microcristalline semble avoir été orienté par la structure du radiolaire.
8. Nodule phosphaté : en A collophanite en couches concentriques, en B fluoroapatite microcristalline, en C sphérolite de phosphate, en D gangue phosphatée.
9. Autoradiographie d'un nodule phosphaté (film Kodak LR-115 type 2, exposition : 6 semaines). On observe une assez forte densité de traces alphas au centre du nodule.

