

GEOCHIMIE ISOTOPIQUE DU Pb DES ANOMALIES RADIOACTIVES DE L'ARDENNE : IMPLICATIONS METALLOGENIQUES ET GEOCHRONOLOGIQUES

par S. CAUET (1), J.M. CHARLET (2),
P. DOREMUS (2), Y. QUINIF (2)

- Résumé** - L'étude isotopique du Pb des anomalies radioactives du Dévonien inférieur de l'Ardenne apporte une série de contraintes métallogéniques et géochronologiques qui ont été corrélées à la géologie. A Chiny et dans la vallée de la Vierre, la concentration est synsédimentaire siegénienne. A Daverdisse, l'U a été concentré et séparé du Th et du Pb par lessivage de sédiments dévoniens inférieurs assimilables à ceux de Chiny - la Vierre, pendant l'orogénèse varisque, et a été déposé au niveau d'une fracture. A Oizy, l'U a probablement été hérité d'une anomalie antédévoniennne inférieure et a été piégé dans des remplissages limonitiques de fractures au Tertiaire.
- Abstract** - The lead isotopic study of radioactive occurrences in lower Devonian sediments from the Ardenne gives several metallogenical and geochronological constraints which have been correlated to the geology. At Chiny and in the Vierre valley, the concentration is of synsedimentary origin. At Daverdisse, U has been concentrated and separated from Th and Pb by leaching from lower Devonian sediments assimilable to those of Chiny - la Vierre, during the Variscan orogeny, with subsequent deposition in a fracture. At Oizy, U has probably been inherited from an antedevonian occurrence and subsequently trapped on limonite filling in fractures, during the Tertiary.
- Mots-clés** - Isotopes, Pb, Métallogénie, Géochronologie, Minéralisation, Uranium, Dévonien inférieur, Ardenne.
- Key-words** - Pb isotopes, Metallogeny, Geochronology, Mineralization, Uranium, Lower Devonian, Ardenne.

I. INTRODUCTION

Dans le cadre d'une prospection générale pour l'U en Ardenne, l'application des méthodes radiométriques autoportées et pédestres a mis en évidence des anomalies dans la région de Chiny - la Vierre, à Daverdisse et à Oizy (Charlet *et al.*, 1983 ; Dorchies, 1984) (fig. 1).

Ces anomalies présentent une diversité géologique importante et reflètent une métallogénie complexe (Dejonghe *et al.*, 1982 ;

Jedwab & Dejonghe, 1982 ; Charlet *et al.*, 1984 ; Dorchies, 1984 ; Doremus, 1985 ; Charlet *et al.*, 1985).

La géochimie isotopique du Pb des anomalies radioactives est susceptible de présenter des caractéristiques très particulières déterminant des contraintes métallogéniques qu'il convient de corréler aux données géologiques.

(1) Chargé de recherche F.N.R.S., Laboratoires associés de Géologie, Pétrologie, Géochronologie - Université Libre de Bruxelles, Avenue F.D. Roosevelt 50, B-1050 Bruxelles.

(2) G.E.P., Faculté polytechnique de Mons, Rue de Houdain 9, B-7000 Mons.

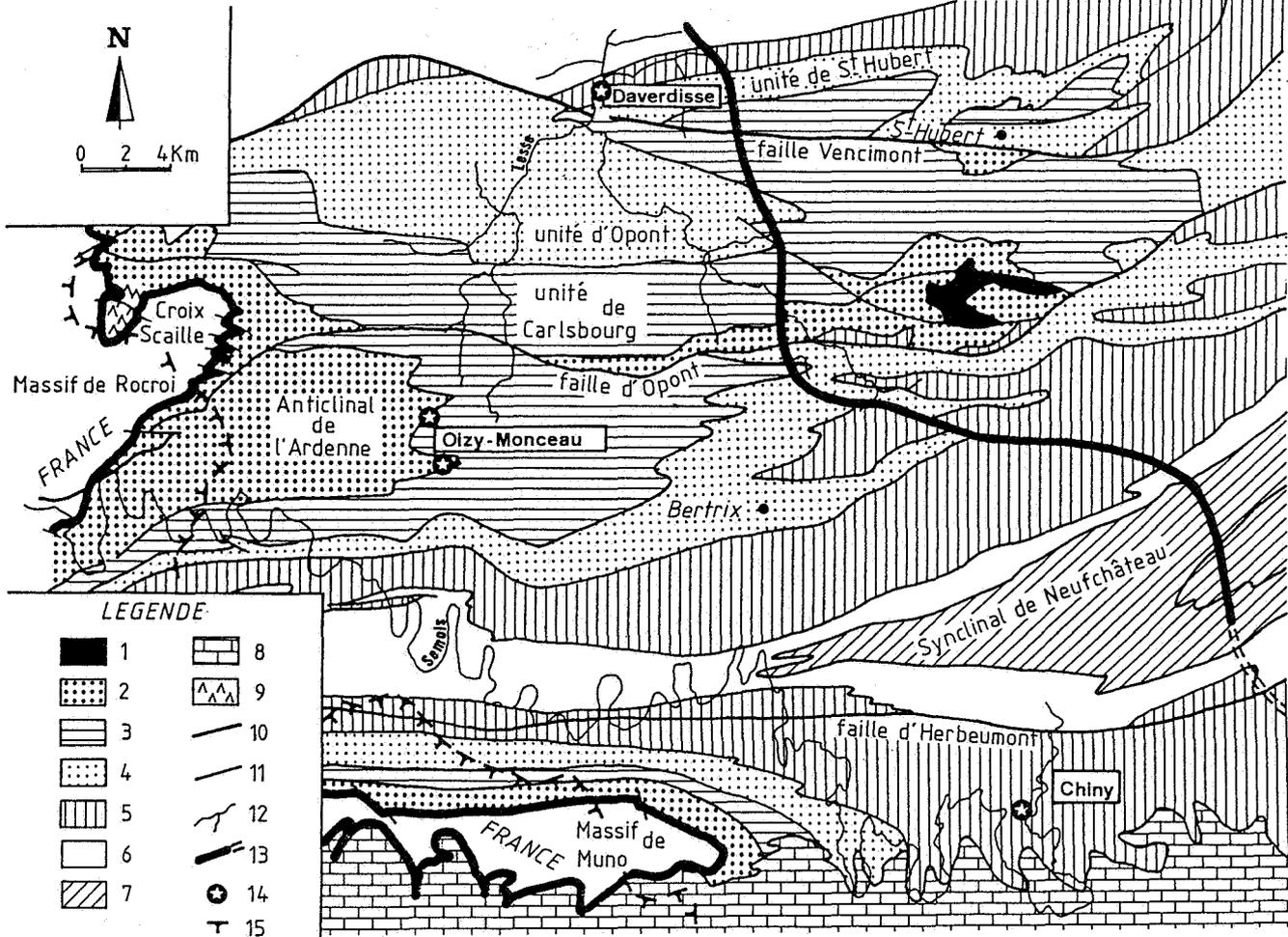


Figure 1. Situation géologique des anomalies radioactives du Dévonien inférieur de l'Ardenne. (Carte géologique d'après Asselberghs (1946) et Beugnies (1982-1984)).

- | | |
|--|--|
| 1. Massif cambrien | 9. Complexe volcanique de la Croix Scaille |
| 2. Gedinnien inférieur | 10. Failles longitudinales majeures |
| 3. Gedinnien supérieur (formation G2a) | 11. Autres failles |
| 4. Gedinnien supérieur (formation G2b) | 12. Rivières |
| 5. Siegenien inférieur | 13. Autoroutes |
| 6. Siegenien moyen | 14. Anomalies uranifères principales |
| 7. Siegenien supérieur | 15. Frontière |
| 8. Jurassique | |

II. GITOLOGIE

A. Anomalies de la région de Chiny - la Vierge

Elles sont constituées d'une série de niveaux radioactifs concordants avec la stratification, lenticulaires ou continus à l'échelle des affleurements (quelque 100 m). Grâce aux coupes des vallées de la Semois et de la Vierge, on peut suivre cette zone radioactive sur plus de 3 km d'Ouest en Est dans un ensemble schistogréseux appartenant au Siegenien inférieur. Les niveaux anormaux sont situés dans des schistes gréseux de couleur sombre, plus rarement dans des bancs gréseux, les teneurs en U peuvent atteindre 250 ppm.

Du point de vue génétique, les anomalies ont été interprétées comme d'origine synsédimentaire localement suivie d'une mobilisation et d'une précipitation suivant de multiples fronts d'oxydo-réduction ; des niveaux pyriteux ont probablement joué un rôle dans la fixation de l'U mobilisé (Charlet *et al.*, 1984 ; Dorchie, 1984) qui peut alors minéralogiquement

s'exprimer sous forme de phosphoarseniates d'U et Cu.

B. Anomalie de Daverdisse

Cette anomalie est intense mais ponctuelle. Elle coïncide avec une fracture transversale N25°E au niveau des phyllades, quartzophyllades et quartzites à l'interface entre un encaissant gréseux d'une part et plus schisteux d'autre part (Dejonghe *et al.*, 1982).

L'anomalie est essentiellement liée à l'U avec des teneurs pouvant atteindre 0.3 % ; les teneurs en Th sont pratiquement normales. Les échantillons les plus radioactifs consistent en quartzites parsemés de veinules de quartz. Des études minéralogiques réalisées par Dejonghe *et al.* (1982) puis précisées par Jedwab & Dejonghe (1982), à l'aide de techniques appropriées aux minéraux de très petites tailles (microscope et sonde électronique) ont conduit à la découverte de nombreux minéraux parmi lesquels : l'uraninite, des oxydes de Ti, U, Fe (rutile et anatase uranifère : branerite) ; des séléniures et sulfures de Hg, Ag, Bi, Pb, Cu et Sb ; des hydroxydes de Fe

enrichis de U, Bi, et/ou Zr, des sulfates de Fe, des phosphates d'U et du xénotime.

Du point de vue génétique, la coïncidence de l'anomalie avec une fracture varisque lui confère une origine épigénétique et un âge syn ou post tectonique. Selon Dejonghe *et al.* (1982), les métaux ont probablement une origine distale ; la concentration résulterait de la conjonction d'une zone de perméabilité de fracture et d'un écran imperméable plus schisteux ménagé par un décalage le long de la fracture. L'origine des métaux est une question plus délicate : la paragenèse minérale s'accorde avec une origine hydrothermale (Jedwab & Dejonghe, 1982) ; le contexte géologique est plus en faveur d'une origine par mobilisation à partir des sédiments détritiques du Dévonien inférieur susceptibles d'avoir pu piéger l'U comme dans la région de Chiny et de la vallée de la Vierre (Dejonghe *et al.*, 1982).

La mise en évidence, à proximité de l'anomalie d'un niveau stratigraphique caractérisé par un assemblage assez riche de minéraux détritiques, dont certains (apatite, rutile, leucoxène, titanite, zircon, chromite, phosphates de Terres Rares, ...) se retrouvent au niveau de l'anomalie, milite en ce sens (Dejonghe, 1983).

C. L'anomalie de Oizy

Cette anomalie se localise dans des

$$(208\text{Pb}/204\text{Pb})_t = (208\text{Pb}/204\text{Pb})_0 + (232\text{Th}/204\text{Pb}) (e^{\lambda 232T} - e^{\lambda 232t}) \quad (1)$$

$$(206\text{Pb}/204\text{Pb})_t = (206\text{Pb}/204\text{Pb})_0 + (238\text{U}/204\text{Pb}) (e^{\lambda 238T} - e^{\lambda 238t}) \quad (2)$$

$$(207\text{Pb}/204\text{Pb})_t = (207\text{Pb}/204\text{Pb})_0 + (235\text{U}/204\text{Pb}) (e^{\lambda 235T} - e^{\lambda 235t}) \quad (3)$$

$$\lambda_{232} = 4.948 \cdot 10^{-10} \text{an}^{-1} \quad (\text{Leroux et Glendenin, 1963})$$

$$\lambda_{238} = 1.551 \cdot 10^{-10} \text{an}^{-1} \quad (\text{Jaffey et al., 1971})$$

$$\lambda_{235} = 9.848 \cdot 10^{-10} \text{an}^{-1} \quad (\text{Jaffey et al., 1971})$$

L'abondance des isotopes 208, 206, 207 dans un système au temps t est la somme des isotopes 208, 206, 207 incorporés au moment de la formation du système et des isotopes 208, 206, 207 qui résultent de la désintégration des 232Th, 238U et 235U dans le système depuis sa formation au temps T .

$$\frac{(207\text{Pb}/204\text{Pb})_t - (207\text{Pb}/204\text{Pb})_0}{(206\text{Pb}/204\text{Pb})_t - (206\text{Pb}/204\text{Pb})_0} = \frac{1}{137.88} \frac{(e^{\lambda 235T} - e^{\lambda 235t})}{(e^{\lambda 238T} - e^{\lambda 238t})}$$

dont la pente permet de déterminer l'âge de la fermeture géochimique du système. L'évolution générale de la composition isotopique du Pb au cours des temps géologiques a été modélisée à partir d'une série de galènes d'âges définis (Stacey &

fractures colmatées par des oxy-hydroxydes de Fe (goethite, lépidocrocite) et des minéraux argileux illite-kaolinite, fractures développées dans des horizons compétents du sommet du Gedinnien inférieur (membre des quartzophyllades de Braux).

Du point de vue génétique, le remplissage trouve "pro parte" son origine dans des sols développés sous climat subtropical au cours probablement de la période Eocène-Miocène. Selon Doremus (1985) et Charlet *et al.* (1985), l'U dont l'origine reste difficile à préciser a dû être transporté per descensum à partir de la surface et s'est bloqué sur les oxy-hydroxydes de Fe et sur les argiles.

III. GEOCHIMIE ISOTOPIQUE DU Pb

A. Notions théoriques

Le Pb possède quatre isotopes naturels non radioactifs 208, 206, 207, et 204 dont la proportion n'est pas constante. Le Pb évolue dans le sens d'un enrichissement en 208, 206, 207 dits radiogéniques, points finaux de différentes séries de désintégrations radioactives ayant comme têtes respectives le 232Th, l'238U et l'235U ; l'isotope 204 est constant. L'évolution isotopique du Pb dans un système s'exprime par les équations suivantes où le 204 est pris comme référence :

L'évolution isotopique du Pb dans un système est donc fonction de ses rapports 232Th/204Pb et 238U/204Pb (noté μ) et de t . L'évolution isotopique s'arrête lorsque le Pb est isolé de l'U et du Th en se concentrant par exemple sous forme de galène. Dans un diagramme 207Pb/204Pb-206Pb/204Pb (fig. 2), les Pb qui évoluent avec des μ identiques mais qui arrêtent leur évolutions à des t différents se répartissent sur une courbe ; les Pb qui évoluent avec des μ différents mais qui arrêtent leurs évolutions en même temps définissent une isochrone :

Kramers, 1975) ; Cumming & Richards, 1975 ; Doe & Zartman, 1979 ; ...) (fig. 3) ; les Pb qui se conforment à l'évolution générale sont qualifiés de commun, certains Pb avec des excès en 206, 207 s'en écartent nettement et sont qualifiés d'uranogéniques.

B. Procédure analytique

Environ 100 mg de roche sont mis en solution dans une bombe en téflon avec un mélange HF-HNO₃. Le Pb est extrait par un mélange HBr 1N - HCl 0.1N que l'on passe sur une colonne échangeuse d'ions contenant une résine DOWEX 1X8, 200 - 400 mesh. Le Pb est élué par HCl 6N. L'opération est répétée deux fois (Weis, 1981). Environ 500ng de Pb sont repris par quelques microgouttes de H₃PO₄ et de gel de silice pour être évaporé sur un filament de rhénium pur qui sera introduit dans le spectromètre de masse FINNIGAN 260 du Centre belge de Géochronologie.

Toute la préparation chimique s'effectue dans un laboratoire propre en surpression muni d'un sas d'entrée ; tous les réactifs sont suprapurs ; le blanc total mesuré par dilution isotopique à l'aide d'un traceur est inférieur à 5ng et donc négligeable.

L'erreur statistique sur les rapports isotopiques est inférieure à 1‰. Une correction de fractionnement isotopique de 0.95 +/- 0.3‰ par unité de masse atomique est appliquée aux rapports sur la base d'une série de mesure effectuées à partir du standard NBS 981.

Les teneurs en U ont été mesurées par spectrométrie gamma. Les teneurs en Pb ont été mesurées par fluorescence X.

C. Résultats et interprétation

1. Région de Chiny - la Vierre

Les rapports 206Pb/204Pb et 207Pb/204Pb varient respectivement de 20 à 23 et de 15.5 à 16 ; les rapports 208Pb/204Pb sont proches de 38. Ces valeurs sont similaires et dans la continuité de celles des Pb en traces dans des sédiments siegeniens classiques non radioactifs (tableau 1 et fig. 4). Les Pb de Chiny - la Vierre ne sont pratiquement pas uranogéniques ni thorogéniques. Ils résultent

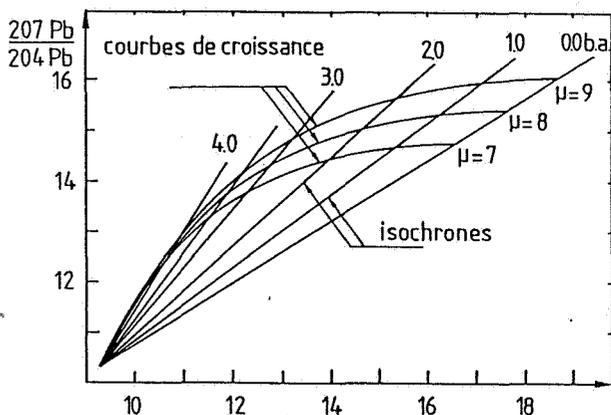


Figure 2. Représentation graphique de l'évolution isotopique d'un Pb dans le diagramme 207Pb/204Pb - 206Pb/204Pb. Les Pb évoluent le long de courbes caractérisées par des valeurs μ . Les Pb ayant évolué selon des courbes différentes mais ayant le même âge définissent des isochrones.

d'une évolution dans des systèmes à rapports U/Pb classiques. Ces systèmes impliquent que l'U a dû se concentrer avec une quantité toujours plus ou moins proportionnelle de Pb. Il est donc probable que les niveaux radioactifs correspondent à des anomalies polymétalliques. Les corrections des rapports isotopiques des échantillons de roche pour la désintégration in situ de l'U depuis leur formation, fonction de l'âge et du μ mesuré à partir des teneurs en U et Pb (équations 2, 3), devraient théoriquement aboutir à des valeurs de Pb communs du Dévonien inférieur ou en d'autres termes à la composition isotopique que devaient avoir les sédiments au moment de leur formation. Ces corrections sont cependant aléatoires à cause des pertes différentielles en U et Pb que peuvent subir les échantillons depuis leur formation (Cauet & Weis, 1983) ; l'U est particulièrement mobile dans les conditions oxydantes de surface. Une approche de la composition isotopique du Pb commun au Dévonien inférieur est toutefois fournie par une galène stratiforme prélevée à Willerzie, possédant des rapports 206Pb/204Pb, 207Pb/204Pb et 208Pb/204Pb respectivement égaux à 18.30, 15.60 et 38.40.

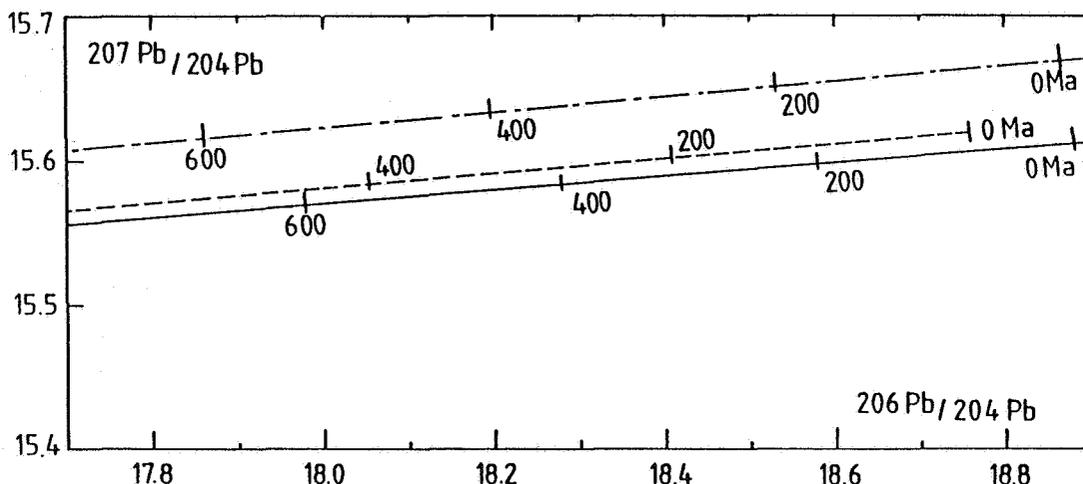


Figure 3. Evolution générale de la composition isotopique du Pb commun au Phanérozoïque dans le diagramme 207Pb/204Pb - 206Pb/204Pb, d'après les modèles de Stacey & Kramers (1975) (—), Cumming & Richards (1975) (— · —) et Doe & Zartman (1979) (---).

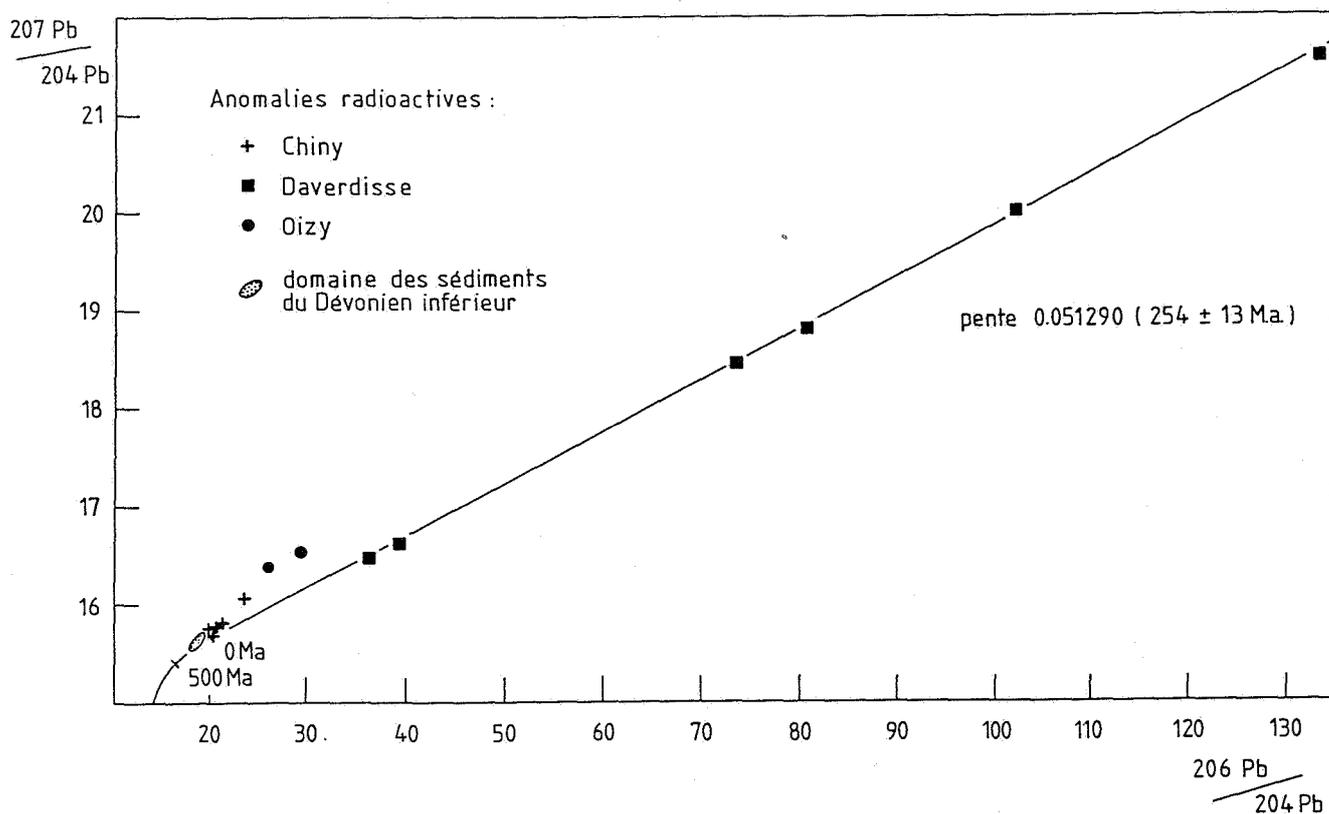


Figure 4. Diagramme $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ relatif aux anomalies radioactives du Dévonien inférieur de l'Ardenne.

Anomalies radioactives	Rapports isotopiques ($\sigma = \pm 1\%$)			U ppm	Pb ppm	$^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$
	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$			
Chiny, la Vierre						
1	23.792	16.034	38.352	138	47	201.7
2	20.243	15.632	38.771	116	20	380.8
3	21.982	15.825	38.458	275	35	526.8
4	20.096	15.762	38.809	20	24	54.7
5	21.167	15.691	38.682	40	17	156.3
Daverdisse						
1	35.801	16.502	38.404	425	487	69.4
2	73.456	18.482	38.537	1752	174	1146.3
3	38.425	16.784	38.614	528	158	274.7
4	81.162	19.792	38.582	3372	240	1709.5
5	102.002	20.061	39.026	34444	1420	3402.5
6	130.302	21.304	38.098	21270	544	7902.1
Oizy						
1	29.012	16.522	38.502	366	756	35.7
2	26.021	16.264	38.966	185	44	300.1
Sédiments du Dévonien inférieur						
Oignies, Siegenien 1	18.932	15.692	39.022			
2	20.224	15.756	39.391			
Willerzie, Gedinnien	18.656	15.731	38.962			
Galène stratiforme Willerzie, Gedinnien	18.402	15.631	38.068			

Tableau 1.

2. Anomalie de Daverdisse

Les rapports $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ et $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ varient respectivement de 35 à 130 et de 16.5 à 21 ; les rapports $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ sont invariablement proches de 38 (tableau 1, fig. 4). Ces rapports $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ et $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ sont très largement supérieurs à ceux des Pb communs alors que les rapports $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ y sont similaires. Les Pb de Daverdisse sont extrêmement uranogéniques et ne sont pas thorogéniques. Ces caractéristiques impliquent qu'ils résultent d'une évolution dans un système riche en U relativement au Th et au Pb. Un tel système s'avère incompatible avec l'hypothèse d'une origine magmatique hydrothermale dans la mesure où les rapports Th/U des fluides magmatiques sont très généralement supérieures à l'unité, proche de 4 en moyenne (Rogers & Adams, 1968). Un tel système s'avère par contre compatible avec l'hypothèse d'un lessivage préférentiel de l'U, par rapport au Th et au Pb, à partir de roches communes comme les granites, les schistes ou les grès.

Les Pb de Daverdisse définissent dans le diagramme $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ une isochrone (fig. 4). Cette isochrone démontre que les échantillons sont bien cogénétiques ; sa pente donne un âge de 254 ± 13 M.a. En d'autres termes, les Pb uranogéniques de Daverdisse résultent de la désintégration d'une concentration d'U formée depuis environ 250 M.a. Cet âge s'accorde à celui d'une tectonique varisque. Les corrections des rapports isotopiques pour la désintégration in situ de l'U depuis 250 M.a. n'aboutissent pas à des valeurs de Pb communs varisques, probablement pour la raison invoquée précédemment. L'existence d'une isochrone implique cependant que toute perte différentielle en U et Pb n'a pu se faire que dans des temps récents pour ne pas perturber la linéarité. La composition isotopique initiale du Pb de Daverdisse doit se trouver près de l'intersection de l'isochrone avec la courbe d'évolution générale des Pb communs (fig. 4) ; elle est proche des compositions isotopiques du Pb

contenu dans les sédiments du Dévonien inférieur et leurs anomalies. Il est dès lors possible que l'U de Daverdisse résulte du lessivage de niveaux comparables à ceux de Chiny - la Vierre.

3. Anomalie de Oizy

Les rapports $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ et $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ varient respectivement de 26 à 29 et de 16 à 16.5 ; les rapports de $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ sont proches de 38 (fig. 4). Les Pb de Oizy sont à nouveau uranogéniques et ne sont pas thorogéniques. Ils ne s'accordent cependant pas à la tendance de Daverdisse. Ces Pb résultent d'une évolution dans un système riche en U relativement au Th et au Pb, qui à priori peut dater de la concentration dans la fracture au Tertiaire ou encore être antérieur et avoir été hérité. Dans la première hypothèse, la composition isotopique initiale devrait être celle du Pb contenu dans les sédiments du Dévonien inférieur hôtes. Dans le diagramme $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, la correction des compositions isotopiques du Pb de Oizy pour une désintégration in situ de l'U depuis le Tertiaire, et même au-delà, aboutirait, pour des valeurs de $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ équivalentes à celles des sédiments du Dévonien inférieur, à des valeurs de $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ relativement beaucoup plus élevées. Il est dès lors improbable que l'U de Oizy résulte du lessivage de niveaux comparables à ceux de Chiny - la Vierre. Dans la seconde hypothèse, l'U et un Pb uranogénique associé auraient été hérités d'une anomalie préexistante. Il est improbable qu'il s'agisse d'une anomalie du type Daverdisse dans la mesure où les Pb de Oizy, largement à gauche de l'isochrone de Daverdisse (même si on considère la pente un peu plus élevée qu'elle devrait avoir au Tertiaire), reflètent une source plus ancienne, anté-devonienne inférieure, vraisemblablement cambrienne.

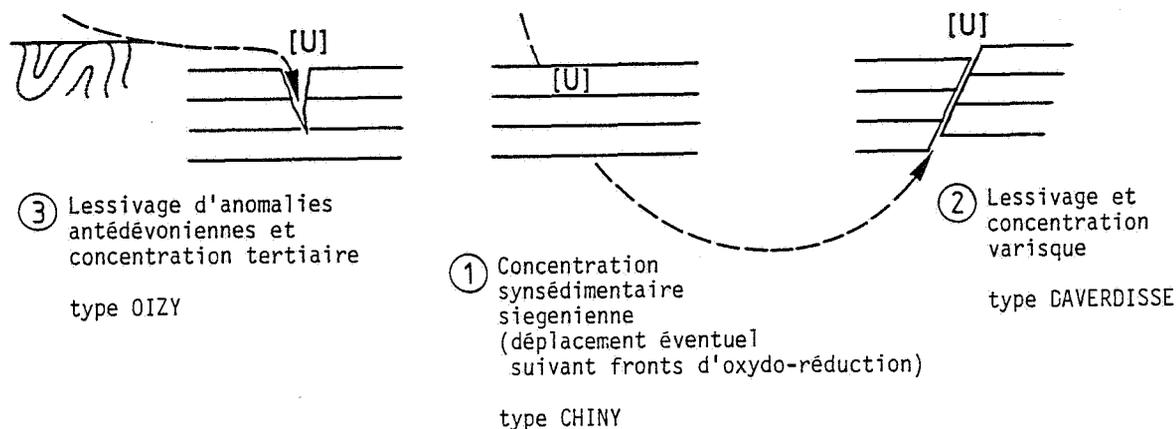


Figure 5. Modèle métallogénique schématisé relatif aux anomalies radioactives du Dévonien inférieur de l'Ardenne.

IV. CONCLUSION

La géochimie isotopique du Pb s'accorde à différencier les anomalies radioactives reconnues dans le Dévonien inférieur de l'Ardenne à Chiny - la Vierre, à Daverdisse et à Oizy.

A Chiny - la Vierre, la concentration uranifère est synsédimentaire. A Daverdisse, l'U a été concentré et séparé du Th et du Pb par lessivage des sédiments hôtes au sens large, pendant l'orogénèse varisque, pour se déposer au niveau d'une fracture. Il est possible que les sédiments hôtes en question correspondent à des anomalies du type Chiny - la Vierre. A Oizy, il est probable que l'U et un Pb uranogénique associé aient été hérités d'anomalies pré-

existantes antédévoniennes, probablement cambriennes, pour se piéger au niveau d'un remplissage limonitique de fracture au Tertiaire (fig. 5).

REMERCIEMENTS

Les analyses par fluorescence X ont été réalisées grâce à la collaboration de A. Herbosch.

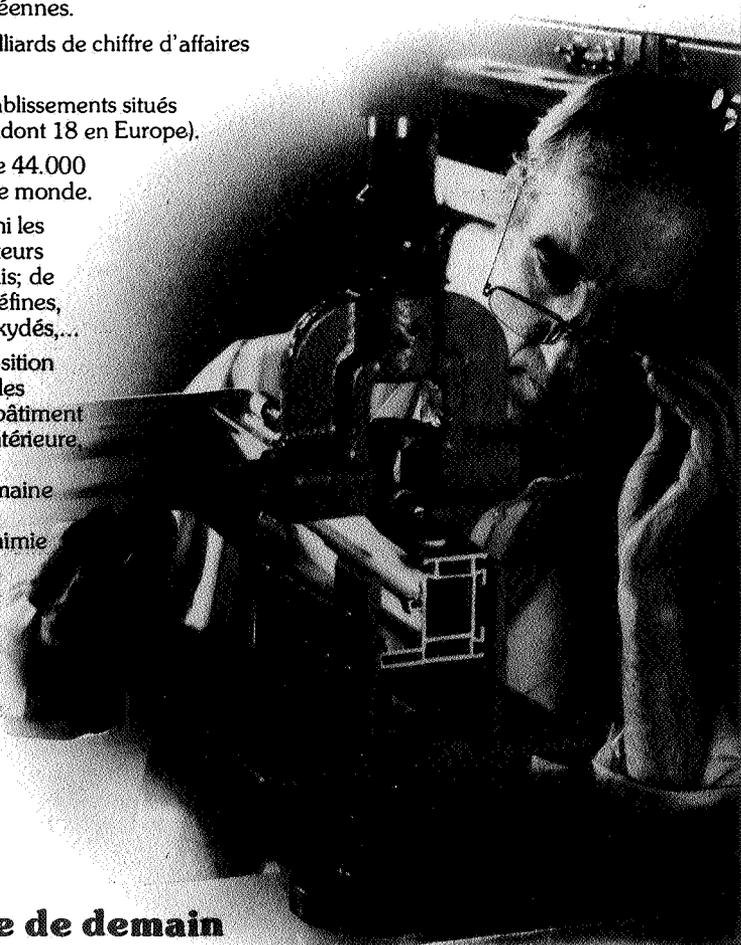
Les analyses isotopiques du Pb en roches totales ont bénéficié de l'expérience précédemment acquise par D. Weis dans ce domaine.

BIBLIOGRAPHIE

- ASSELBERGHS, E. (1946) - L'Eodévonien de l'Ardenne et des régions voisines, Mém. Univ. Louvain (Belgique), 14, 598 pp.
- BEUGNIES, A. (1982) - Structure de l'aire anticlinale de l'Ardenne à l'Ouest du méridien de Libramont, *Ann. Soc. Géol. Nord*, 52, 165-173.
- BEUGNIES, A. (1984) - Sur la présence d'une albite de haute température dans les minéraux feldspathiques gedinniens de l'aire anticlinale de l'Ardenne, *Ann. Soc. Géol. Nord*, 54, 71-76.
- BEUGNIES, A. (1984) - Structure de l'aire anticlinale de l'Ardenne entre les méridiens de Bertrix et de Mohret, *Ann. Soc. Géol. Nord*, 54, 87-95.
- CAUET, S. & WEIS, D. (1983) - Lead isotopic study of a lead-zinc mineralization and its host sediments (Heure, Belgium), *Economic Geology*, 78, 1011-1016.
- CHARLET, J.M., DEJONGHE, L., DEWITTE, S.M., DRUMEL, B., HENRY, J., HERBOSCH, A., LEFIN, J.P. & MARTIN, H. (1983) - Prospection de l'uranium dans le Paléozoïque de Belgique. Contrat C.C.E.D.G. XVII 78/03572, Rapport final, 191 p., 93 fig., 10 cartes, XXIV tabl., Service géologique de Belgique, Bruxelles.
- CHARLET, J.M., DORCHIES, L. & QUINIF, Y. (1984) - Découverte de minéraux uranifères dans le Siegenien du Synclinal de Neufchâteau : conséquences sur la signification des anomalies radiométriques du Dévonien inférieur de la Haute Ardenne, *Ann. Soc. géol. de Belgique*, 107, 1-13.
- CHARLET, J.M., DOREMUS, P. & QUINIF, Y. (1985) - Concentration mechanisms of uranium in the mineralized fractures of the lower Devonian of the Belgian Ardennes. The case of the Oizy areas. A paraître dans *Uranium*.
- CUMMING, F.L. & RICHARDS, J.R. (1975) - Ore lead isotope ratios in a continuously changing earth, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 18, 155-171.
- DEJONGHE, L., CHARLET, J.M. & DUPUIS, C. (1982) - L'anomalie radioactive de Daverdisse et les minéraux uranifères associés, *Ann. Soc. géol. de Belgique*, 105, 177-193.
- DEJONGHE, L. (1983) - Chromite détritique dans le Dévonien inférieur à Daverdisse, *Bull. Soc. belge Géol.*, 92/2, 107-109.
- DOE, B.R. & ZARTMAN, R.E. (1979) - Plumbotectonics, the Phanerozoic. In : Barnes, H.L. (edit.) : *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, 2nd edition, Wiley Interscience, 22-70.
- DORCHIES, L. (1984) - Les anomalies uranifères dans le Siegenien du Synclinal de Neufchâteau (Ardenne, Belgique) : prospection, sédimentologie, géochimie. Thèse de 3ème cycle, Lille, 245 p.
- DOREMUS, P. (1985) - Les anomalies uranifères dans le Gedinnien inférieur de l'Anticlinale de l'Ardenne (Oizy, Belgique) : prospection, sédimentologie, tectonique et géochimie. Thèse de Doctorat d'Université, Lille, 351 p.
- JAFFEY, A.M., FLYNN, K.F., GLENDENIN, L.E., BENTLEY, W.C. & ESSLING, A.M. (1971) - Precision measurement of the half lives and specific activities of U235 and U238, *Phys. Rev.*, C.4, 1189-1906.
- JEDWAB, J. & DEJONGHE, L. (1982) - Contribution à l'étude minéralogique de l'indice radioactif de Daverdisse, *Bull. Soc. belge Géol.*, 91, 217-233.
- LEROUX, L.J. & GLENDENIN, L.L. (1963) - Half life of thorium 232, *Proc. Natl. Conf. Nuclear Energy*, Pretoria.
- ROGERS, J.J. & ADAMS, J.A.S. (1963) - Uranium. In : Wedepohl, K.H. (edit.), *Handbook of geochemistry*, Berlin, Springer Verlag, V. II/5, p. 92-K-6.
- STACEY, J.S. & KRAMERS, J.D. (1975) - Approximation of terrestrial lead evolution by a two stage model, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 26, 207-221.
- WEIS, D. (1981) - Composition isotopique du Pb total des roches : méthodologie, *Bull. Soc. chim. Belg.*, 90/11, 1127-1140.

Produits chimiques, matières plastiques,... connaissez-vous **SOLVAY?**

- 2^e entreprise belge.
- figure parmi les 12 premières sociétés chimiques européennes.
- plus de 200 milliards de chiffre d'affaires en 1984.
- plus de 290 établissements situés dans 34 pays (dont 18 en Europe).
- occupe plus de 44.000 personnes dans le monde.
- se trouve parmi les premiers producteurs mondiaux d'alcalis; de chlore; de polyoléfines, de produits peroxydés,...
- détient une position importante dans les produits pour le bâtiment et la décoration intérieure, l'emballage, la pharmacie humaine et vétérinaire, la biochimie et la chimie fine,...



La chimie de demain

Si vous souhaitez de plus amples informations, adressez-vous à:
SOLVAY & Cie S.A. - rue du Prince Albert 33 - B-1050 Bruxelles - Tél. 02/516.61.11