

CONCENTRATIONS ANOMALES EN URANIUM DANS LES STALAGMITES (GOUFFRE DE LA PIERRE SAINT MARTIN, PYRENEES, FRANCE)

par Yves Quinif (1)

RESUME

Certaines galeries du Gouffre de la Pierre Saint Martin, telle la galerie Aranzadi renferment de riches séquences sédimentaires avec concrétions stalagmitiques. Plusieurs stalagmites présentent de fortes teneurs en uranium dépassant parfois 100 ppm. L'investigation à l'aide de films sensibles aux particules alpha montre une répartition très hétérogène de l'uranium au sein des stalagmites. Les caractéristiques isotopiques de la famille U238, étudiées par spectrométrie alpha, prouvent la mise en place de ces hétérogénéités lors de la formation des concrétions.

ABSTRACT

In the "Gouffre de la Pierre Saint Martin", some galleries like the "Aranzadi gallery" reveal exceptional sedimentary sequences with speleothems. Several stalagmites contain high uranium concentrations sometimes higher than 100 ppm. The utilization of films for the detection of alpha particles shows a very heterogeneous distribution of uranium into the stalagmites. The isotopic characteristics in the U238 family are analysed by alpha-spectrometry. This proves that the uranium heterogeneous distribution dates from the formation of the speleothem.

Mots-clés - Stalagmites, uranium, analyse isotopique, datations U/Th.

Key-words - Stalagmites, Uranium, Isotopic analysis, U/Th datations.

INTRODUCTION : L'URANIUM DANS LES STALAGMITES

L'intérêt présenté par l'étude de l'uranium dans les concrétions stalagmitiques est dû à la possibilité de dater ces concrétions grâce au déséquilibre radioactif existant dans la stalagmite. Lors de la dissolution de l'uranium présent dans les sols et les roches, le thorium n'est pas solubilisé. Le Th230, descendant de l'U234, n'accompagne pas ce dernier avec les eaux d'infiltration. Seuls les isotopes de l'uranium précipitent donc avec le carbonate lors de la formation de la concrétion. La croissance du Th230, généré par l'U234, consti-

tue ainsi un géochronomètre (Harmon, Thompson, Schwarcz, Ford, 1975). Notons enfin le déséquilibre existant souvent entre l'U234 et l'U238 (U234/U238 plus grand que 1) résultant de la solubilité plus grande de l'U234 que de l'U238 (fig. 1). Cette différence de solubilité est expliquée par les conséquences de l'émission alpha de l'U238 : effet de recul, dislocation du réseau cristallin.

Au cours d'une étude sédimentologique dans le Gouffre de la Pierre Saint Martin (Maire, Quinif, 1984 ; Quinif, Maire, 1986 ; Cantillana, Quinif, Maire, 1986), nous avons daté une trentaine de stalagmites et planchers stalagmitiques.

(1) CERAK (Centre d'études et de recherches appliquées au karst), Faculté polytechnique de Mons, rue de Houdain, 9 - B-7000 Mons.

*Cette recherche a reçu l'aide du Fonds National de la Recherche Scientifique.
Communication présentée à la réunion de la Société belge de Géologie le 4 novembre 1986.*

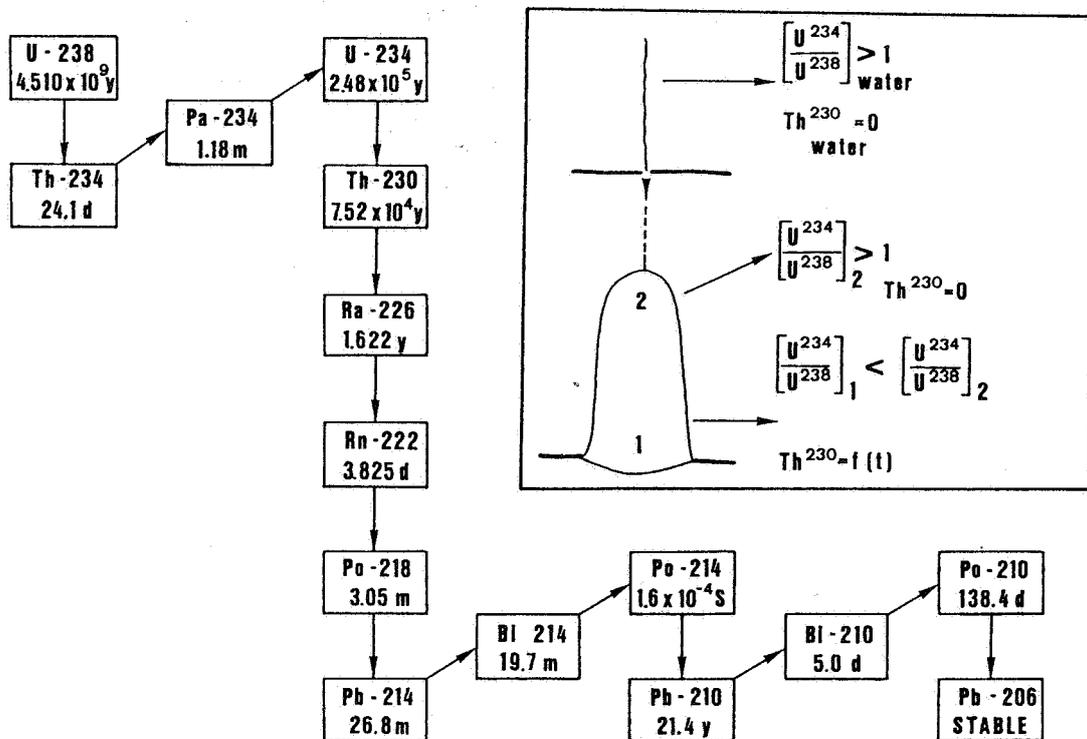


Figure 1. Schéma de désintégration de l'U238 et parcours géochimique de l'U238, l'U234 et le Th230 dans les eaux de percolation et les stalagmites : déséquilibre entre l'U238 et l'U234, absence de Th 230 dans l'eau et la stalagmite au moment de sa formation (2), croissance du Th230 et diminution du rapport U234/U238 en fonction du temps (1).

U238 decay series and geochemical destiny in percolation water and speleothem of U238, U234 and Th230 : disequilibrium between U238 and U238, absence of Th230 in the water and the speleothem at the initial time (2), growth of Th230 and diminution of the ratio U234/U238 in function of time (1).

	n	(ppm) moy.	écart-type (s)	(%) s moy. 100	(ppm) valeurs les plus élevées	(ppm) valeurs les plus basses	source
<i>Belgique</i>	20	0,21	0,18	86	0,826	0,048	(1)
Han-sur-Lesse	20	0,28	0,17	85	0,602	0,090	inédit
<i>Angleterre</i>							
Lancaster Hole.	55	3,33	4,44	133	18,3	0,22	(2)
Système Ingleborough	40	1,35	1,90	141	9,38	0,04	(2)
Cave-Gaping Gill							
Victoria cave	47	0,55	0,33	60	1,86	0,13	(2)
<i>Canada</i>							
Grotte de Saint-Elzéar (Gaspésie, Québec)	7	0,19	0,13	68	0,41	0,06	(3)
Grotte Valérie (Nahanni)	18	19,5	14,4	74	60,2	4,3	(4)
Castelguard Cave (Columbia)	7	6,43	5,53	86	19,1	2,5	(4)
Gargantua Cave (Columbia)	4	16,6	7,45	45	38,1	3,7	(4)
Vancouver	27	0,121	0,06	50	0,31	0,06	(6)
<i>Norvège</i>	4	0,195	0,05	26	0,3	0,09	(5)
<i>France</i>							
Alpes - Pyrénées	26	0,93	0,76	82	2,92	0,04	inédit
Canne de l'Arago	42	0,35	0,50	143	0,789	0,162	(7)
Grotte du Lazaret	10	0,23	0,07	30	0,449	0,168	(7)
Orgnac III	4	0,18	0,05	28	0,336	0,082	(7)
Niaux	25	0,24	0,19	79	0,82	0,08	(8)
<i>Grèce</i>							
Golte Petralona	13	0,38	0,65	171	1,497	0,059	(7)
<i>Italie</i>							
Grotte du Prince	11	0,28	0,06	21	0,444	0,179	(7)
PSM	33	21,8	33,4	153	134,6	0,012	

Tableau 1. Données statistiques concernant diverses analyses d'U dans des stalagmites.

Statistical data concerning U analyses in speleothems.

Plusieurs de ces concrétions contiennent des teneurs élevées en uranium, tout-à-fait anormales en comparaison des teneurs habituellement analysées dans ce type de matériau. Le tableau 1 synthétise quelques 300 analyses dans diverses zones karstiques et cavités. On voit que les teneurs moyennes, bien que très variables, varient autour de 1 ppm. Notons que les moyennes concernant les échantillons des Rocheuses canadiennes (Nahanni, Columbia) sont aussi anormalement élevées. Ces teneurs anormales nous ont conduit à étudier la distribution de l'uranium dans les stalagmites radioactives du Gouffre de la Pierre Saint Martin.

LE GOUFFRE DE LA PIERRE SAINT MARTIN

Réseau de haute montagne, le gouffre comprend une enfilade de galeries et de grandes salles sous 400 m de calcaires crétacés au contact du socle paléozoïque (fig. 2). Plusieurs gouffres dont l'orifice le plus haut se trouve à 2047 m d'altitude traversent les 400 m de calcaires pour donner accès aux rivières souterraines (Douat, 1976 ; Queffelec, 1976). L'épine dorsale du gouffre est constituée par une suite de salles géantes qui se termine avec la salle de la Verna, longue de 270 m, large de 230 m et haute de plus de 120 m. La galerie Aranzadi représente la suite du gouffre, lorsque la salle de la Verna n'était pas encore creusée et que le torrent qui actuellement s'y perd continuait sa course vers l'aval. Elle s'ouvre à 100 m de hauteur dans les voûtes de la salle de la Verna. Longue de 300 m, rectiligne, large de 20

à 30 m, la galerie Aranzadi, vu sa position perchée, est un remarquable piège à sédiments dont l'épaisseur dépasse la dizaine de mètres. Une coupe face au vide de la Verna témoigne de l'ancien passage du torrent avant la formation de la salle géante. C'est surtout de la galerie Aranzadi que proviennent la majorité des stalagmites analysées.

GEOLOGIE DE L'ENCAISSANT

Les galeries du gouffre se développent au contact d'un socle paléozoïque plissé et aplani sur lequel s'est déposée une puissante série carbonatée du Mésozoïque : les calcaires des canyons (fig. 3). Plusieurs accidents tectoniques compliquent ce schéma, notamment dans la salle de la Verna (Gilli, 1984). Les difficultés inhérentes au monde souterrain nous ont empêché d'effectuer des levés précis et détaillés. Les échantillons des voûtes sont souvent impossibles à prélever, le plancher est caché la plupart du temps sous les dépôts. Néanmoins, nous avons échantillonné de façon la plus complète possible les différents faciès afin d'en analyser les radioéléments par spectrométrie gamma. Le tableau 2 nous indique que, si le calcaire des canyons ne présente pas d'anomalie en uranium, il n'en est pas de même pour les roches paléozoïques. On constate par exemple que la voûte de la galerie Aranzadi (PS0864) à l'aplomb d'un site à stalagmites radioactives contient 8.3 ppm en U, avec un léger déséquilibre radioactif que peut expliquer le lessivage de l'uranium. Les eaux d'infiltration alimentant les concrétions

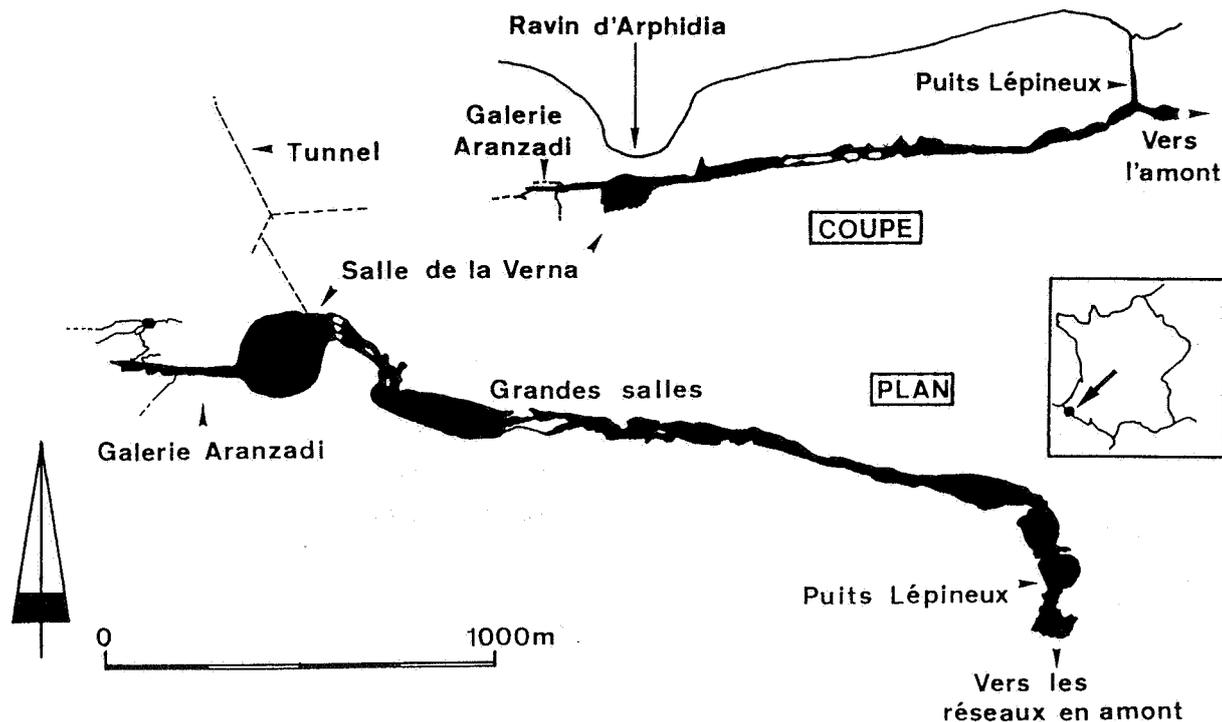


Figure 2. Localisation du réseau de la Pierre Saint Martin et topographie des galeries basses du gouffre.

Situation of the network of the "Pierre Saint Martin" and sketch of the lower parts of the cavity. This is a high Alpine network, the highest entrance opens at 2047 m a.s.l., in the lapiaz. It develops essentially under 400 m of cretaceous limestones on the primary basement.

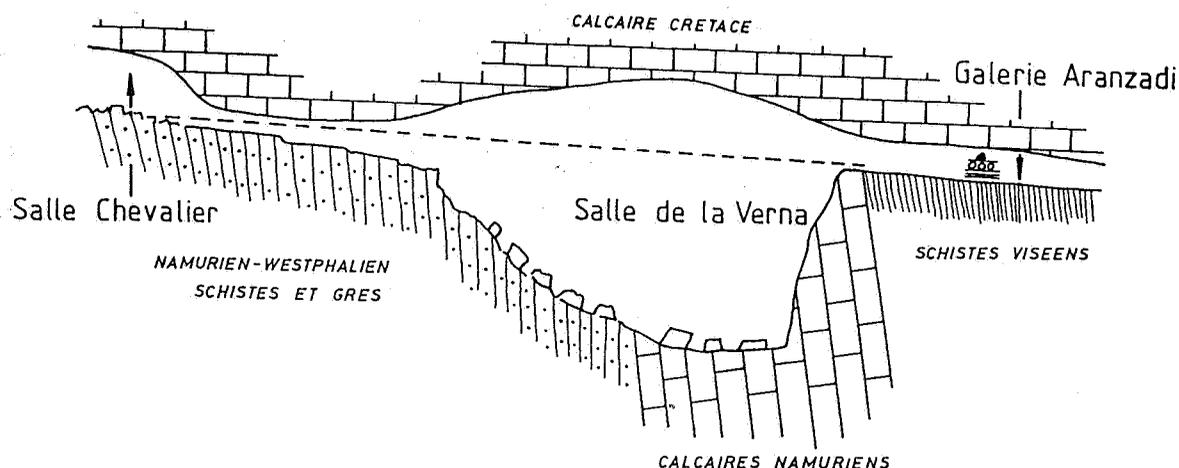


Figure 3. Coupe géologique simplifiée de la salle de la Verna (d'après Gilli, 1984).

Simplified geological section of the Verna room (following Gilli, 1984).

doivent donc nécessairement traverser les calcaires des canyons ainsi que, pour les galeries creusées au niveau ou dans les roches primaires, certaines de ces dernières.

RESULTATS DES ANALYSES ISOTOPIQUES

Ces résultats sont explicités dans le tableau 3. Nous ne discuterons pas ici des conséquences géomorphologiques et paléoclimatologiques des âges, cette question ayant été traitée ailleurs (Quinif & Maire, 1986 ; Cantillana, Quinif & Maire, 1986). Examinons essentiellement deux stalagmites à teneurs élevées et contrastées en uranium.

La stalagmite 8ArSt1 a fait l'objet de 4 analyses dont 3 sur des échantillons stratigraphiquement superposés, la stalagmite 8ArSt3 de 2 analyses. Les dates sont en bonne concordance tandis que les teneurs en uranium sont éminemment variables à l'intérieur d'une même concrétion. L'aspect de la calcite est en relation avec la teneur en uranium : les fortes concentrations correspondent à une calcite blanche, laiteuse, translucide et bien stratifiée, les faibles concentrations à une calcite grise, transparente et sans stratification apparente (fig. 4).

LOCALISATION DANS L'URANIUM

Afin de déterminer avec plus de précision la géométrie de la distribution de l'uranium, des tranches de stalagmites ont été radiographiées à l'aide de films sensibles aux particules alpha. La limite de détection de ce type de détecteur est de quelque 100 à 200 ppm pour obtenir une trace significative. Un nuage de points résulte d'une accumulation ponctuelle en uranium de plusieurs centaines de ppm.

Un film placé contre la surface totale d'une tranche longitudinale de 8ArSt1, englobant ainsi les différentes

plages de calcite ainsi que deux films placés au contact de deux plages de calcite n'ont pas donné de résultat. Malgré les concentrations en uranium de plus de 100 ppm, aucune concentration significativement plus grande n'y existe. Dans chaque plage, la distribution de l'uranium est homogène.

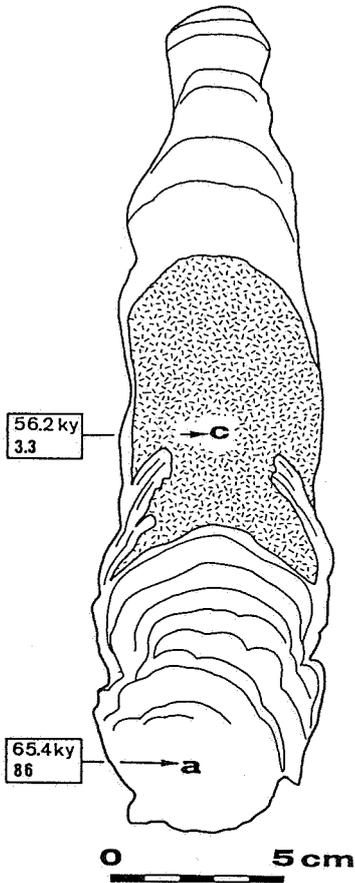
Des films furent placés sur des tranches découpées perpendiculairement à l'axe de croissance d'autre stalagmites, notamment ArSt3. Les résultats sont ici remarquables. L'uranium présente des accumulations probablement de l'ordre de 1000 ppm dans des cercles de croissance en calcite blanche, laiteuse et microstratifiée (fig. 5). Particulièrement, l'échantillon 2 montre des concentrations en couches concentriques superposées à la calcite blanche. La plage centrale de calcite jaunâtre et translu-

		Um (ppm)	U(ra) (ppm)	Th (ppm)	K ₂ O (%)
PS0001	<i>schistes primaires</i>	16,9	19	12,7	5,3
PS0853	<i>calcaire des cañons</i>	3,0	3,1	1,6	0,44
PS0854	<i>schistes primaires</i>	13,3	16,3	9,5	5,82
PS0855	<i>schistes primaires</i>	2,0	2,1	2,4	0,68
PS0856	<i>calcaire des cañons</i>	2,1	2,2	0,8	0,13
PS0857	<i>schistes primaires</i>	5,4	5,8	8,6	3,41
PS0858	<i>calcaire des cañons</i>	2,0	2,0	5,7	1,58
PS0859	<i>schistes primaires</i>	3,4	3,6	9,1	1,72
PS0860	<i>calcaire viséen</i>	1,7	1,9	0	0
PS0861	<i>schistes primaires</i>	9,74	11,5	10,8	5,71
PS0862	<i>grès faciès Culm</i>	4,7	4,6	14,0	3,95
PS0863		3,8	4,2	4,6	1,09
PS0864		8,3	9,8	0,7	0,15
PS0870	<i>calcaire des cañons</i>	3,2	3,5	0	0,03
PS0874	<i>calcaire des cañons</i>	0,91	0,81	0	0
PS1324	<i>schistes primaires</i>	3,4	3,9	13,7	3,37

Tableau 2. Concentrations en U, Ra, Th et K₂O dans l'encaissant du Gouffre de la Pierre Saint Martin.

U, Ra, Th and K₂O concentrations in rocks of the "Gouffre de la Pierre Saint Martin".

8ArSt3



8ArSt1

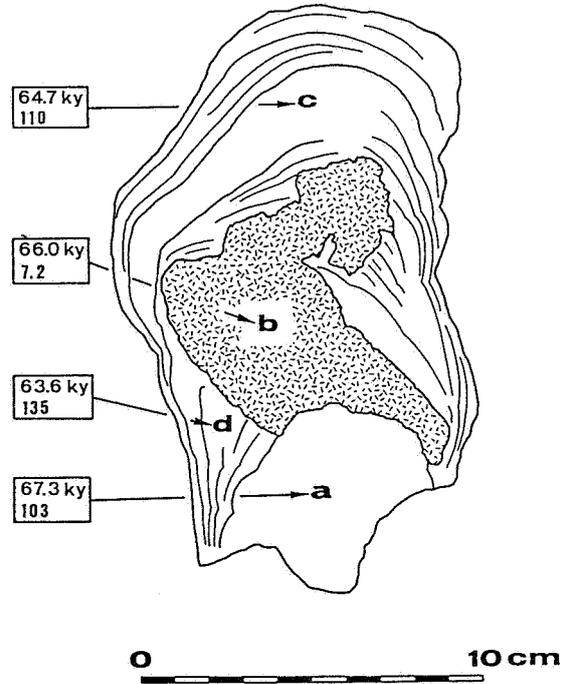


Figure 4. Coupe dans les stalagmites 8ArSt1 et 8ArSt3 montrant la distribution de la calcite blanche microstratifiée et de la calcite grise massive (surcharge grisée), ainsi que les âges et les teneurs en uranium associés.

Section in the stalagmites 8ArSt1 et 8ArSt3 showing the distribution between the microstratified white calcite and the massive grey calcite (grey plot) and associated ages and uranium concentrations.

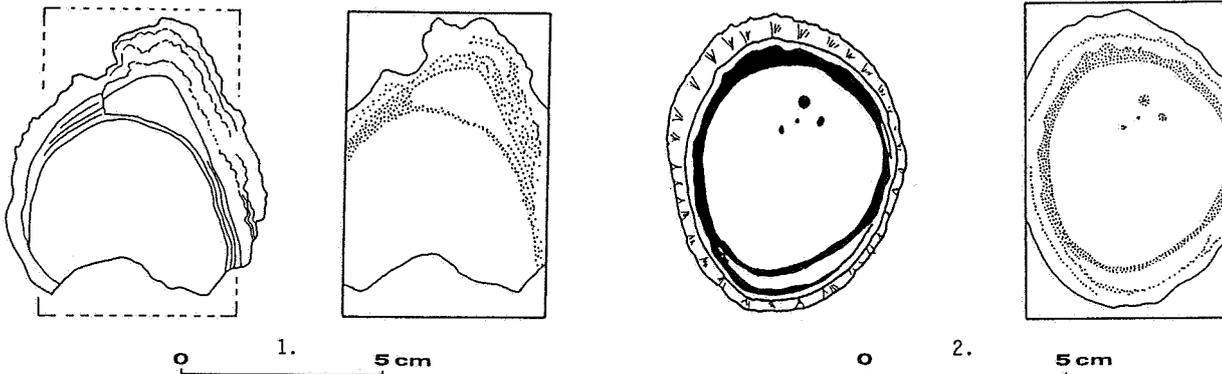


Figure 5. Application de films sensibles aux particules alpha sur des coupes de la stalagmite ArSt3 (a : échantillon 1 ; b : échantillon 2).

- a. A gauche, sur le dessin de la tranche, les fines lignes indiquent l'allure de la stratification de la calcite blanche. A droite, sur le dessin du film, on voit que c'est sur ces lignes que se concentrent les traces alpha, visualisant les concentrations en uranium.
- b. A gauche, le dessin de la tranche indique par des plages noires la localisation des cercles et des petites sphères de calcite blanche. A droite, on voit que c'est bien cette calcite qui contient l'uranium puisque le dessin du film calque les plages noires par ses concentrations de traces alpha.

Application of films for the alpha particles detection on stalagmite ArSt3 sections (a : sample 1 ; b : sample 2).

- a. On left, the drawing of the section shows the aspect of the white calcite stratification by thin black lines. On right, on the drawing of the film, one sees that the alpha tracks are concentrated following those lines, pointing out the uranium concentrations.
- b. On left, the black surfaces show the localisation of circles and little spheres of white calcite. On right, one sees the drawing of the film traces the black surfaces by the alpha tracks concentrations, indicating that the uranium is concentrated into this type of calcite.

Tableau 3. Résultats de l'analyse isotopique des stalagmites étudiées.

Results of isotopic analysis in the studied speleothems.

Echantillons	U(p.p.m.)	U234/U238	Th230/U234	Th230/Th232	U234/U238	Ages (ky)
8Ar-St-1A	103.4(± 2.017)	1.721(±0.029)	0.480(±0.009)	grand	1.871	67.3(+1.8,-1.7)
8Ar-St-1B	7.216(± 0.156)	1.650(±0.036)	0.471(±0.015)	grand	1.783	66.0(+2.9,-2.9)
8Ar-St-1C	110.4(± 2.428)	1.649(±0.032)	0.464(±0.014)	grand	1.778	64.7(+2.6,-2.6)
8Ar-St-1D	134.6(± 1.872)	1.726(±0.021)	0.459(±0.010)	grand	1.868	63.6(+1.8,-1.9)
8Ar-St-3A	86.09(± 2.789)	1.577(±0.023)	0.467(±0.019)	grand	1.693	65.4(+3.7,-3.6)
8Ar-St-3C	3.332(± 0.087)	1.642(±0.043)	0.416(±0.024)	grand	1.752	56.2(+4.3,-4,1)

cide ne montre pas de concentration, hormis 4 petites tâches de calcite blanche qui renferment de l'uranium. Ce film démontre ainsi sans ambiguïté la liaison entre l'uranium et le type de calcite.

SYNTHESE

Certaines stalagmites du Gouffre de la Pierre Saint Martin, grâce à leurs fortes concentrations en uranium, constituent un matériel d'étude incomparable pour étudier la distribution de l'uranium. En fait, concentrations anormales et distribution inhomogène constituent deux facettes d'un même problème. Quels sont les mécanismes qui peuvent expliquer ces fortes concentrations ?

L'uranium pourrait se trouver en concentrations anormales dans les eaux d'infiltration qui alimentent les stalagmites. Nous avons vu que l'encaissant présente des concentrations anormales en uranium avec un déséquilibre radioactif explicable par un lessivage de l'uranium. L'analyse de quelques prélèvements d'eau d'infiltration dans la galerie Aranzadi et la salle de la Verna à l'aplomb du schiste n'a révélé que des concentrations en uranium inférieures au ppb, donc tout-à-fait comparables à d'autres écoulements alimentant des stalagmites à faibles teneurs en uranium. Néanmoins, ces teneurs auraient pu être plus élevées dans le passé, lors de la croissance de ces stalagmites.

Une deuxième cause des concentrations d'uranium résulte de la présence d'un corps (cation ou anion, matière organique, ...) dans l'eau qui concentrerait l'uranium lors de la précipitation. En vue de tester cette hypothèse, une analyse à la microsonde électronique a été faite sur un liseré reconnu anormal en uranium par film alpha (ArSt3). Deux types de plages ont été reconnues : des zones claires à éléments lourds et des zones sombres à éléments plus légers. Les zones claires sont constituées de

calcite avec des concentrations en strontium pouvant atteindre 1 %. Les plages sombres sont constituées d'un carbonate de calcium et magnésium en concentration égale (dolomite ?). Aucun métal lourd n'a été détecté (en ce qui concerne l'uranium, il faut des concentrations ponctuelles de plusieurs % pour qu'il soit détectable à la microsonde). La dolomie est un minéral peu fréquent dans les stalagmites (Hill & Forti, 1986) que l'on trouve dans les concrétions de type "coralloïde". Or, la surface actuelle de certaines stalagmites est coralloïde. Ces couches concentriques sont riches en uranium (film...). Faut-il voir là la convergence de plusieurs phénomènes sous l'effet d'une même cause ?

Il faut encore noter que la calcite blanche microstratifiée et translucide est un faciès de croissance lente par rapport à une calcite plus massive, transparente et souvent vacuolaire (Bastin, Dupuis & Quinif, 1982). Or, les ions sont toujours repoussés vers la surface pendant la cristallisation ce qui provoque la formation de couches superficielles rubéfiées. Il faut voir là une autre cause possible de concentration relative en uranium.

Enfin, les stalagmites 8ArSt1 et 8ArSt3 posent un dernier problème. Il y a variation latérale de faciès : la calcite blanche microstratifiée passe à la calcite grise non stratifiée, l'uranium se partageant de façon fort inégale entre ces deux faciès. On évoque un phénomène d'épigénie : la calcite blanche se transformant en calcite grise. Ce phénomène s'accompagnerait d'un transfert d'uranium des plages grises vers les plages blanches. Ce transfert devrait être différent suivant la nature chimique des ions présents, notamment entre le Th230 et l'U234. La cinétique d'échanges différentiels devrait alors s'accompagner de graves perturbations dans l'état de la famille de l'uranium et conduire à des distorsions dans les âges. On ne constate rien de tel. Nous sommes ainsi amenés à conclure que cette différenciation entre types de calcite se fait lors de la formation de la stalagmite.

CONCLUSION

Démontrée sans ambiguïté, la distribution inhomogène de l'uranium dans les stalagmites n'a pu recevoir d'explication claire et univoque. Plusieurs directions de recherche ont été avancées. Une voie intéressante est ouverte, intéressante par ses implications possibles sur les problèmes isotopiques dans les concrétions, les données concernant la géochimie de l'uranium dans les carbonates, la minéralogie des dépôts chimiques karstiques.

REMERCIEMENTS

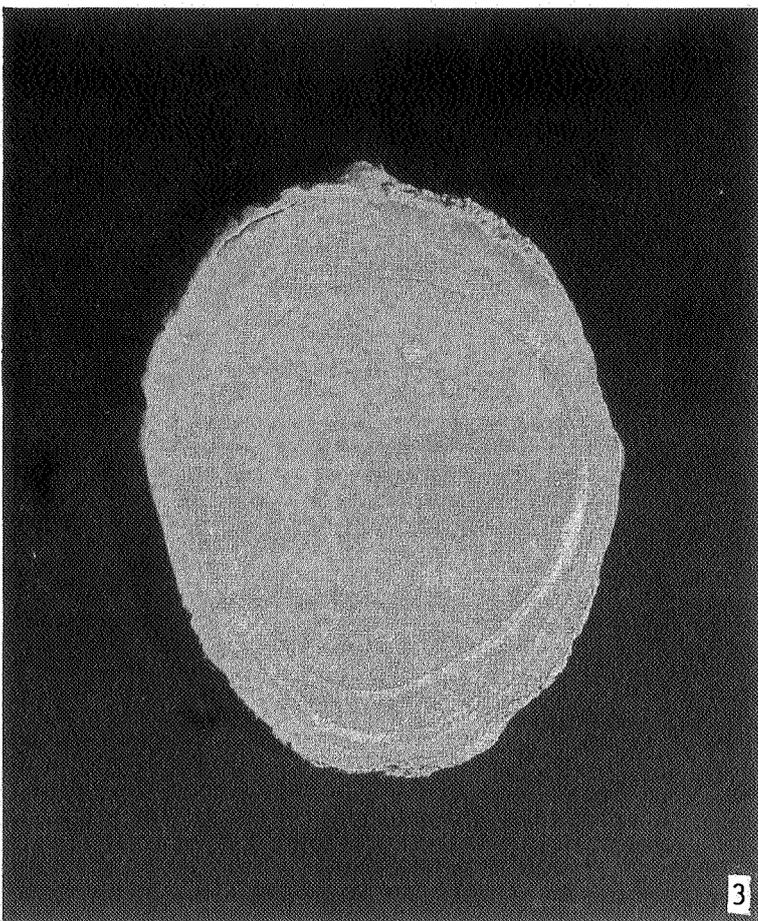
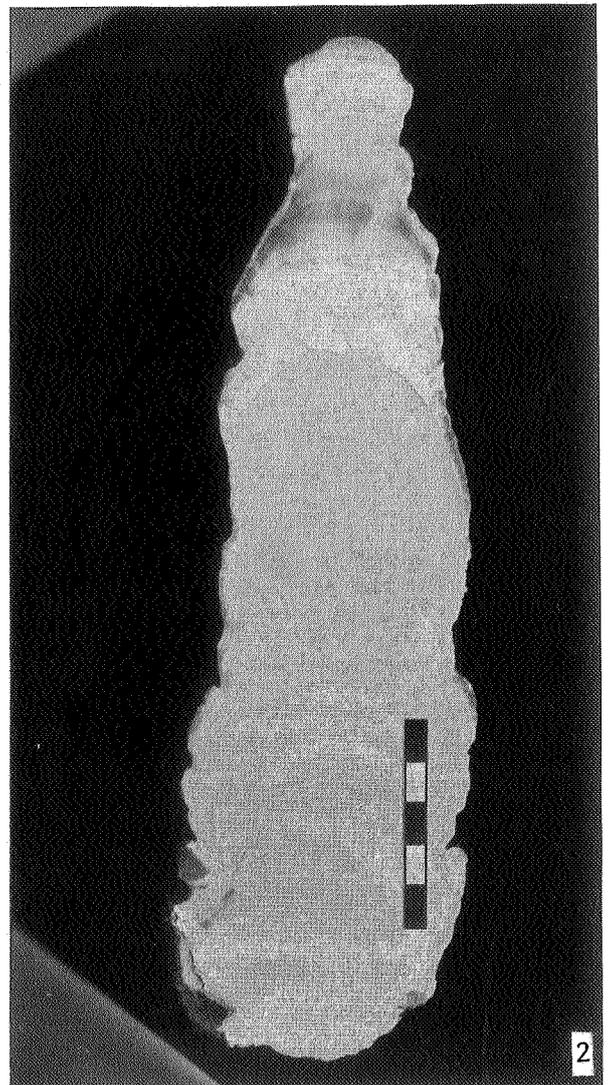
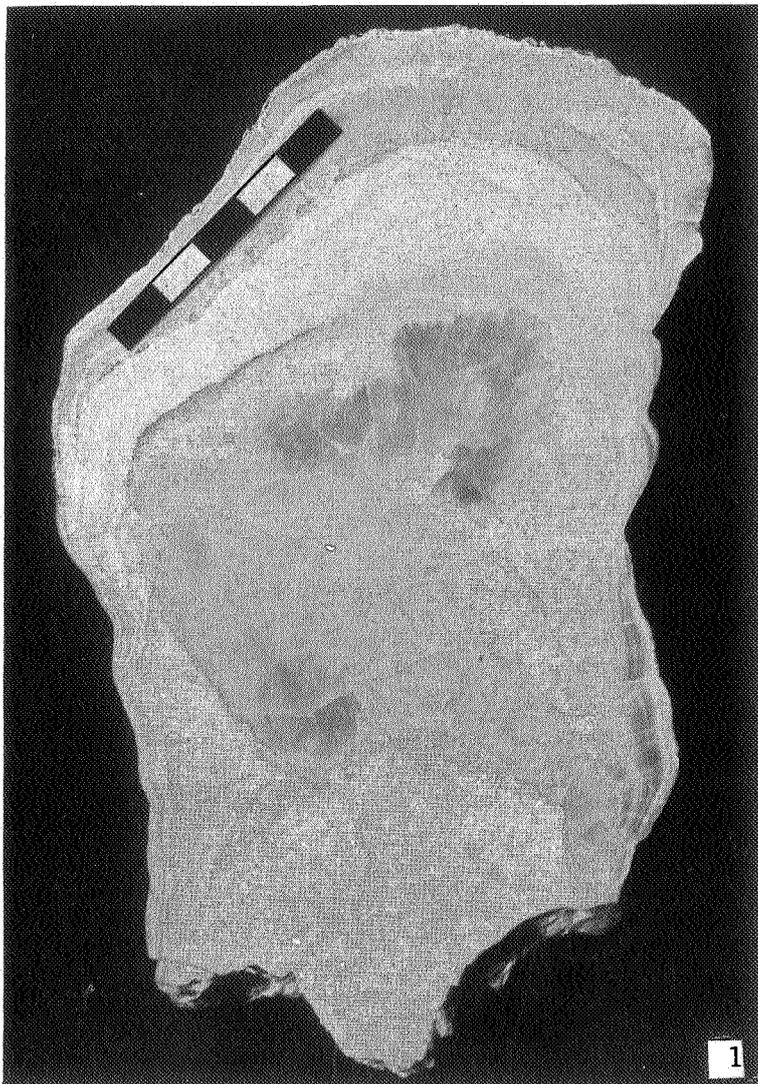
Il m'est agréable de remercier Régis Bayart, Christian Chevalier et Annick Vandenberghe, techniciens à la Faculté Polytechnique de Mons qui ont participé à la préparation des échantillons et à leur analyse.

Je tiens également à remercier le Professeur R. Bourrouilh du laboratoire de géologie de l'Université de Pau qui, grâce à sa connaissance du Paléozoïque pyrénéen, a su guider mon échantillonnage.

Cette étude s'inclut dans le cadre général des recherches que je mène dans le Gouffre de la Pierre Saint Martin avec Richard Maire dont l'amitié, la collaboration et la compétence ne pourraient pas être passées sous silence. Je n'aurai non plus garde d'oublier les amis spéléologues qui se sont succédés à nos côtes pour nous aider, en particulier mon épouse Annie et mon fils Gilles.

BIBLIOGRAPHIE

- BASTIN, B., DUPUIS, C. & QUINIF, Y. (1982) - Etude microstratigraphique et palynologique d'une croûte stalagmitique de la Grotte de la Vilaine Source (Arbre, Belgique) : méthodologie et résultats. *Rev. Belg. Géogr.*, 106, (1), 109-120.
- CANTILLANA, R., QUINIF, Y. & MAIRE, R. (1986) - Uranium-thorium dating of stalagmites applied to study the Quaternary of the Pyrénées : the example of the "Gouffre de la Pierre Saint Martin". *Chem. Geol.*, 57, 137-144.
- DOUAT, M. (1976) - Spéléométrie de la Pierre Saint Martin. *Bull. ARSIP (Association de Recherches Spéléologiques Internationales de la Pierre Saint Martin)*, 9-10-11, 6-10.
- GASCOYNE, M., FORD, D.C. & SCHWARCZ, H.P. (1981) - Late Pleistocene chronology and paleoclimate of Vancouver Island determined from cave deposits. *Can. J. Earth Sci.*, 18, (11), 1643-1652.
- GASCOYNE, M., SCHWARCZ, H.P. & FORD, D.C. (1983) - Uranium-series ages of speleothems from Northwest England : correlation with Quaternary climate. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, B301, 143-164.
- GEWELT, M. (1985) - Cinétique du concrétionnement dans quelques grottes belges : apport des datations ^{14}C et $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$. *Ann. Soc. géol. Belg.*, 108, 267-273.
- GILLI, E. (1984) - Recherches sur le creusement et la stabilité des grands volumes souterrains. Thèse 3ème cycle, Université de Provence, Aix Marseille.
- HARMON, R.S., THOMPSON, P., SCHWARCZ, H.P. & FORD, D.C. (1975) - Uranium series dating of speleothems. *Natl. Speleol. Soc. Bull.*, 37, (2), 21-33.
- HARMON, R.S., FORD, D.C. & SCHWARCZ, H.P. (1977) - Interglacial chronology of the Rocky and Mackenzie Mountains based upon ^{230}Th - ^{234}U dating of calcite speleothems. *Can. J. Earth Sci.*, 14, 2543-2552.
- HILL, A.C. & FORTI, P. (1986) - Cave minerals of the world. *National Speleological Society*, USA, 238 p.
- LAURITZEN, S.E. & GASCOYNE, M. (1980) - The first radiometric dating of Norwegian stalagmites. Evidence of pre-Weichselian karst caves. *Norsk Geogr. Tidsskr.*, 34, 77-82.
- MAIRE, R. & QUINIF, Y. (1984) - Un complexe sédimentaire karstique en milieu alpin : les dépôts de la galerie Aranzadi (Gouffre de la Pierre Saint Martin, Pyrénées Atlantiques). *C.R. Acad. Sci. Paris*, II, 298, 183-186.
- QUEFFELEC, C. (1976) - Tentative de première synthèse concernant les réseaux de la Pierre Saint Martin. *Bull. ARSIP (Association de Recherches Spéléologiques Internationales de la Pierre Saint Martin)*, 9-10-11, 23-28.
- QUINIF, Y. & MAIRE, R. (1986) - Etudes sédimentologiques et datations radiométriques dans le Gouffre de la Pierre Saint Martin (Pyrénées, France) : contribution à l'étude du Quaternaire pyrénéen. *Actes 9ème Cong. Int. Spéleo., Barcelone*, 1, 294-196.
- ROBERGE, J. & GASCOYNE, M. (1978) - Premiers résultats de datations dans la grotte de Saint-Elzéar, Gaspésie, Québec. *Geogr. Phys. Quat.*, XXXII, (3), 281-287.
- SHEN, G. (1985) - Datation des planchers stalagmitiques de sites acheuléens en Europe par les méthodes des déséquilibres des familles de l'uranium et contribution méthodologique. Thèse de doctorat d'Etat, Muséum National d'Histoire Naturelle & Université Pierre et Marie Curie (Paris VI), 162 p.
- SORRIAUX, P. (1982) - Contribution à l'étude de la sédimentation en milieu karstique. Le système de Niaux-Lombrives-Sabart (Pyrénées ariégeoises). Thèse 3ème cycle, 255 p., 84 fig., 34 tab., 1 annexe, 1 pl. h. t.



Légende des photos

1. Stalagmite 8ArSt1 : tranche longitudinale.
2. Stalagmite 8ArSt3 : tranche longitudinale.
3. Stalagmite ArSt3 : tranche transversale.