

GROTTE D'AZÉ (SAÔNE-ET-LOIRE, FRANCE) - BILAN ET INTERPRÉTATION DES DATATIONS U/Th

Johan BARRIQUAND¹, Lionel BARRIQUAND¹, Yves QUINIF² & Alain ARGANT³

¹ ARPA, UFR des Sciences de la Terre, Université Claude Bernard, Lyon I, Villeurbanne, France

² CERAK, Faculté Polytechnique de Mons, Mons, Belgique

³ ESEP-UMR 6636, Institut Dolomieu, 15, rue M. Gignoux, Grenoble, France

(7 figures, 1 tableau)

RESUME. La Grotte préhistorique d'Azé est avant tout connue comme un important site paléontologique. Lors des dernières quarante années, des sondages ont permis de découvrir environ 300 mètres de galeries remplies de sédiments riches en ossements d'animaux préhistoriques. Les méthodes directes ne sont pas aptes à dater ces ossements, plus anciens que la limite de la méthode au radiocarbone. La grotte renferme plusieurs secteurs garnis de massifs stalagmitiques. En deux endroits, ces massifs obstruaient complètement la cavité. Plusieurs datations par la méthode du déséquilibre radioactif dans la famille de l'uranium (datations U/Th) ont été réalisées afin de caler dans le temps les gisements paléontologiques et d'interpréter les phases du remplissage fluvial de la grotte. Dix-sept dates ont été obtenues, la plus vieille étant de 191 ka BP. Les sédiments scellés par le spléothème correspondant appartiennent donc au moins au stade isotopique 8. Au stade isotopique 4, le sol à 60 m de l'entrée se situait au niveau de l'actuel sol artificiel. Durant les stades isotopiques 5 et 3, de gros massifs stalagmitiques se développèrent, fermant la grotte à 60 m de l'entrée. Au stade isotopique 2, le remplissage de la grotte préhistorique est terminé. La rivière apportant les sédiments détritiques continue à s'écouler par la Galerie des Aiglons dont l'entrée voit le développement d'un massif stalagmitique à l'Holocène.

Mots clés: karst, remplissages, paléontologie, stades isotopiques 8 à 1.

ABSTRACT. The Azé cave (Saone-et-Loire, France) – Review and interpretation of U/Th datings. The Prehistoric Cave of Azé is known as an important palaeontological site. During the last forty years a 300 m long gallery was excavated. It was filled with sediments which revealed a large amount of animal bones. Attempts to obtain absolute dating by ¹⁴C method on these too old bones were unsuccessful. In different areas of the cave, stalagmites developed in the past. In two different places, big speleothems blocked the cave. Uranium/Thorium dating was used in order to date the palaeontological features and to interpret the infilling of the Prehistoric cave by the river. Seventeen dates were obtained. The age of the oldest stalagmite is 191 ky. The sediments situated under this stalagmite are likely to date at least back to the isotopic stage 8. At the isotopic stage 4, at 60 meters from the entrance, the ground was likely to be at the same level as the current artificial one. During the isotopic stages 5 and 3, big speleothems grew in the middle of the Prehistoric Cave which was then blocked at 60 m from the entrance. At the isotopic stage 2, the Prehistoric Cave was completely filled. From that time onwards the river flew only into the "Galerie des Aiglons" and during the Holocene, a speleothem developed in the entrance of this gallery.

Keywords: karst, cave deposits, palaeontology, isotopic stages 8 to 1, U/Th dating, France.

1. Introduction

La Grotte préhistorique d'Azé constitue avant tout un site paléontologique exceptionnel, par la quantité et la qualité des ossements découverts. L'une des difficultés est de construire un cadre chronostratigraphique. La présence dans cette cavité d'importants massifs stalagmitiques offre l'opportunité d'utiliser la méthode de datation par le déséquilibre radioactif dans la famille de l'uranium (en abrégé : datation U/Th). Les ossements sont inclus dans d'importants dépôts surtout fluviaux : argiles, silts et sables. Ces derniers sont encadrés par

des spléothèmes. Cette stratification, replacée dans le contexte topographique de la cavité, conduit avec l'aide des âges U/Th à une reconstitution chronologique de l'évolution sédimentaire de la cavité.

2. La grotte préhistorique d'Azé : localisation, historique des recherches, dépôts et découvertes archéologiques

La Grotte Préhistorique d'Azé est située dans le sud de la Bourgogne, département de Saône-et-Loire, à mi-

distance entre Mâcon et Cluny (Fig. 1). Elle s'ouvre à mi-falaise (altitude : 275 mètres) et son porche est orienté au sud. Elle fait partie d'un ensemble de cavités. A une centaine de mètres à l'ouest, il existe une autre grotte, la Rivière, constituée d'un niveau fossile et d'un niveau actif. Cette cavité est actuellement connue sur environ 800m et se termine par un siphon actif qui reste non franchi malgré plusieurs tentatives de passage. A quelques kilomètres au nord se trouve la Grotte de Saint-Gengoux qui est certainement une partie amont de ce vaste réseau.

Si les autres cavités ont été découvertes pendant ces quarante dernières années, la Grotte Préhistorique est connue depuis longtemps. Jusque dans les années 60, seulement une soixantaine de mètres de ce réseau était accessible. Cette partie de la grotte a été utilisée plusieurs fois par l'homme lors des périodes préhistorique et historique. Un important bouchon stalagmitique fermait alors le fond de la cavité. L'association qui se créa dans les années 1950 sous l'impulsion de Raymond Morel et Roger Dravet commença la désobstruction de la grotte. Dans les années 1960, Maurice Bonnefoy rejoint Raymond Morel et l'association commence l'exploitation touristique de la grotte (Bonnefoy, 2002).

Pour cela ils détruisent en grande partie le bouchon stalagmitique, ouvrant ainsi l'accès à la suite du réseau presque complètement obstruée par des dépôts sédimentaires. Jusque dans les années 1990, les efforts de recherches se portent sur le déblaiement et la fouille de cette galerie. Aujourd'hui l'avancée totale est d'environ 300 mètres. Au début des années 1990, un groupe d'enfants, dirigé par

René Villeneuve, découvre une deuxième galerie, parallèle à la première : la Galerie des Aiglons. La Galerie des Aiglons est située en contrebas de la Grotte Préhistorique et communique en plusieurs endroits avec celle-ci. Ce réseau était entièrement obstrué par les sédiments. Aujourd'hui une soixantaine de mètres de la Galerie des Aiglons est connue (Fig. 2).

La Grotte Préhistorique et la Galerie des Aiglons sont en grande partie colmatées par des remplissages de type fluvatile. La rivière qui les a déposés s'est d'abord écoulee dans la Grotte Préhistorique, puis a emprunté la Galerie des Aiglons tout en revenant certainement dans la première grotte lors de grandes crues. Dans la Grotte Préhistorique, les sédiments sont essentiellement silto-argileux. Des graviers ne sont connus aujourd'hui que dans le « siphon Nord » ; ils sont pris dans une matrice sableuse. Quelques bancs de sables fins peu épais (pluricentrimétriques) sont visibles dans la partie amont de la grotte. La granulométrie est plus variée dans la Galerie des Aiglons. Elle présente un classement vertical avec des bancs pluricentimétriques de graviers grossiers dans une gangue sableuse à la base pour finir par des dépôts silto-argileux au sommet assurant le colmatage total de la galerie. Les dépôts des deux galeries présentent une stratification entrecroisée, liée à la divagation des chenaux de la rivière. Le haut du remplissage correspond à des phases de décantation d'eaux plus ou moins stagnantes et ne circulant plus. Les sédiments de la Galerie des Aiglons proviennent certainement en partie du remaniement de ceux de la Grotte Préhistorique.

Ces deux galeries sont archéologiquement et paléontologiquement très riches. Dans la Grotte Préhistorique, on trouve à l'entrée (Azé 1-1) une industrie préhistorique très ancienne (la plus ancienne de Bourgogne) datant du Paléolithique inférieur (fouilles Combier 1968-70, Combier *et al.*, 2000) et de la faune (fouilles Combier 1966-70, Argant, 2005). A 50-60 mètres de l'entrée, avant le bouchon stalagmitique (en aval), c'est une industrie magdalénienne, des vestiges de la période « Champ d'Urnes » et des traces gallo-romaine et médiévale qui occupent l'espace. Les ours ont vécu dans toute la grotte d'Azé 1 et laissé leurs vestiges tout au long des deux cents vingt mètres connus (et probablement bien davantage). Les différents gisements paléontologiques correspondent, en fait, à des zones d'accumulation privilégiées pour des raisons liées à la dynamique des fluides lors des crues. Les gisements : Azé 1-1, Azé 1-2, Azé 1-3 et Azé 1-4, s'échelonnent dans la galerie. Azé 1-1 à l'entrée, mais aussi Azé 1-4 tout au fond (en cours d'étude), livrent probablement *Ursus deningeri*, forme ancienne de l'ours des cavernes. Azé 1-2 et Azé 1-3 pour des raisons stratigraphiques et paléontologiques sont proches chronologiquement, bien qu'Azé 1-2 soit un peu plus récent (comparaison statistique sur des séries dentaires marquant bien l'évolution biochronologique). Ils livrent en tout cas tous les deux *Ursus spelaeus deningeroides*, forme de transition plus récente que celles d'Azé 1-1

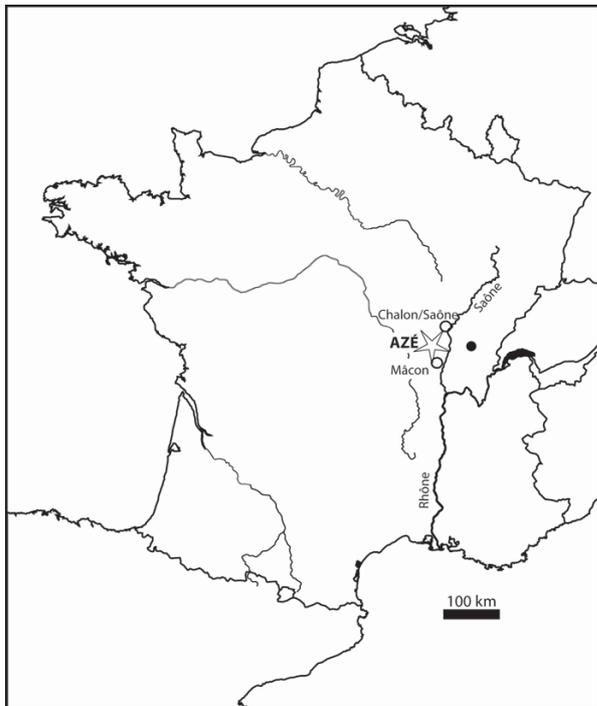


Figure 1 : Situation d'Azé (Saône-et-Loire, France). Location of Azé (Saône-et-Loire, France).

et Azé 1-4. Si on excepte Azé 1-1 à l'entrée, les autres gisements s'échelonnent en amont du blocage du massif stalagmitique à 60 mètres de l'entrée et leur ancienneté croît régulièrement quand on s'éloigne de l'entrée vers le fond. Le gisement Azé 1-1 s'explique probablement par la fermeture du porche d'entrée par les éboulis de pente très importants et par la dérivation permise par la galerie rejoignant celle des Aiglons quelques mètres en contrebas qui assurait la jonction avec l'extérieur aux époques plus récentes du Quaternaire.

Dans la Galerie des Aiglons, a été découverte une faune abondante déterminée par A. Argant (J. & L. Barriquand, 2000; 2001). Il est à noter que la faune trouvée dans cette galerie apparaît bien plus variée que celle découverte dans la Grotte Préhistorique. Outre les ours (*Ursus deningeri*, *U. spelaeus*, *U. arctos*, *U. thibetanus* ?), nous pouvons noter la présence de Félidés (*Panthera spelaea*, *P. pardus*, *P. gombaszoegensis* ?, *Felis silvestris*, *Felis minuta* ?), de Canidés (*Canis Lupus* et un petit *Canidae indet.*), de Hyénidés (*Crocota spelaea*, *Hyena prisca* ?) et d'herbivores (*Cervus elaphus*, *Capreolus sussenbornensis* ?, *Megaceros* ?, *Bos primigenius*, *Capra ibex*, *Ovis sp.* ?, *Equus sp.* (grande taille), *Dicerorhinus mercki*, *Elephantidae indet.*), de Lagomorphes (*Lepus timidus* ou *europaeus*). Les traces humaines dans la Galerie des Aiglons sont faibles mais quelques éclats de silex attribuables au Paléolithique supérieur ont été trouvés. Enfin, sous le porche de la Galerie des Aiglons, une importante quantité de microfaune a été découverte. La détermination et l'analyse de ces fossiles a été réalisée par M. Jeannet (A.R.P.A.). Cette microfaune est attribuable à un stade final Würm, un peu avant le Dryas ancien, avec confirmation par une datation ^{14}C qui a donné un âge de 17220 à 16930 avant J.-C. (Lyon-2201/OxA-12455).

3. Problématique - localisation et description des spéléothèmes

3.1. La problématique d'Azé-1

La découverte de la Galerie des Aiglons a relancé les études menées sur le site et en particulier celles portant sur l'historique du remplissage sédimentaire d'Azé 1 (Grotte Préhistorique) dont les différentes périodes de cette histoire avaient déjà pu être approchées par l'étude biochronologique des ours (Argant, 1991). Une première analyse biochronologique des ours découverts dans la Galerie des Aiglons a montré qu'à cet endroit nous sommes en présence d'un mélange de faunes de différentes époques. De plus, il n'a pas été possible de mettre en évidence, un rapport entre les niveaux sédimentaires et les espèces fossiles qu'ils contiennent. La biochronologie des ours, dans le cas de la Galerie des Aiglons, ne s'avère donc pas comme un bon moyen de datation des remplissages. Des études complémentaires ont été décidées afin de préciser les datations des différentes phases de fonctionnement de ce réseau. Des essais de datation ^{14}C ont été

effectués mais malheureusement nous n'avons obtenu que peu de résultats (aucune datation sur la macrofaune, trop ancienne pour la méthode). Des datations ESR sur émail dentaire de molaires de grands herbivores n'ont malheureusement pas été possibles. Enfin une campagne de datations U/Th sur le massif stalagmitique qui fermait la grotte a été faite en 2000. Les premiers résultats obtenus avec cette méthode s'étant avérés positifs, d'autres campagnes ont été menées par la suite (2000, 2001 et 2004).

3.2. Les types de prélèvements

Les échantillons de calcite ont été prélevés par fragmentation au marteau ou à la disqueuse (massif à 60 mètres de l'entrée de la Grotte Préhistorique, Galerie des Aiglons, porche de la Galerie des Aiglons), ou obtenus par carottage (massif à 60 mètres de l'entrée de la Grotte Préhistorique, massif au milieu de la Grotte Préhistorique et Salle du 14 Juillet). Au total nous avons procédé à 21 analyses. Celles-ci ont été réalisées par l'un d'entre nous (Y.Q.) sur les différents massifs stalagmitiques situés dans la Grotte Préhistorique et dans la Galerie des Aiglons.

3.3. Les lieux de prélèvements (Fig. 2)

3.3.1. Massif stalagmitique situé à 60 mètres de l'entrée de la Grotte Préhistorique (Azé 1)

Au nord de la Rotonde se développe le plus important massif stalagmitique de la Grotte Préhistorique d'Azé. Celui-ci fermait totalement le passage vers le fond de la cavité jusque dans les années 60 (bouchon stalagmitique). Ce massif peut être découpé en trois ensembles géographiques distincts.

- Premier ensemble.

Il se développe dans la partie sud du massif sur une longueur (NS) de 15,5 m. Il est constitué par des coulées de calcite s'appuyant sur les parois de la grotte. Aujourd'hui, sa partie la plus importante est située le long de la paroi est de la cavité. Initialement, il occupait la totalité de la largeur de la grotte (entre 3 et 3.5 m). Il est en placage sur la paroi est et se développe vers la paroi ouest avec un pendage ouest plus ou moins prononcé (35° au maximum). La différence de hauteur entre la partie la plus haute à l'est et la partie la plus basse à l'ouest est d'environ 2.2 m. Dans la direction nord-sud, la différence de hauteur entre le nord (le plus haut) et le sud est d'environ 2.5 m. Au nord, le sommet du plancher arrive à environ 0.2 m du plafond de la grotte, réduisant l'ouverture à une chatière. Au sommet de ce massif se sont développées des stalagmites. Les plus grandes atteignent 0.6 m de hauteur alors que les plus grosses ont un diamètre de 0.4 m. Les stalactites sont absentes, quelques draperies se sont formées sur la paroi est. L'absence des stalactites est peut être liée à une circulation d'eau (des traces d'érosions sont visibles sur les plus grosses stalagmites).

L'échantillonnage a été réalisé dans un premier temps par prélèvements ponctuels (échantillons 6448, 6459,

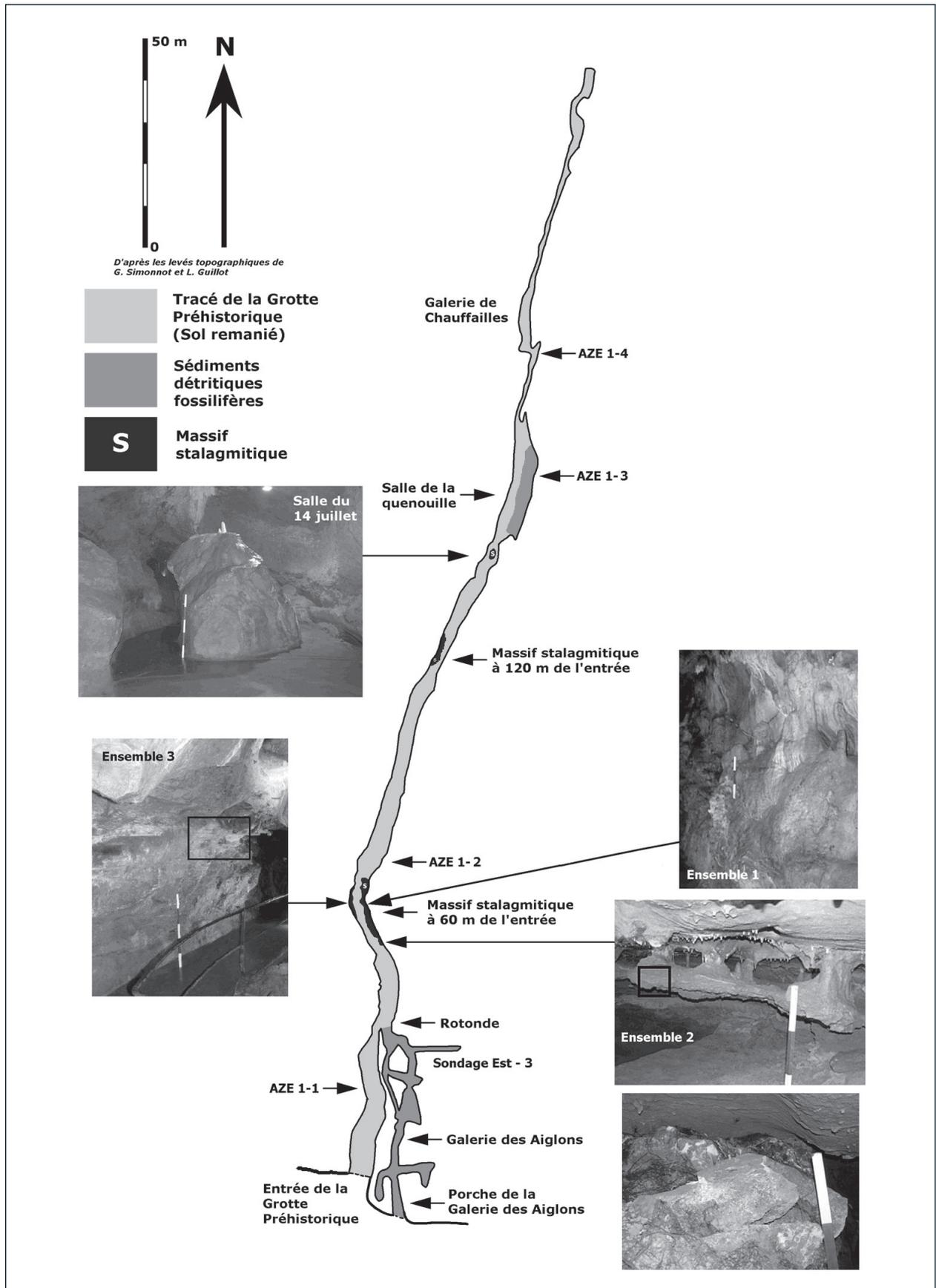


Figure 2 : Azé (Saône-et-Loire, France). Plan de la Grotte Préhistorique et de la Galerie des Aiglons.
Azé (Saône-et-Loire, France). Map of the Prehistoric cave and of the Galerie des Aiglons.

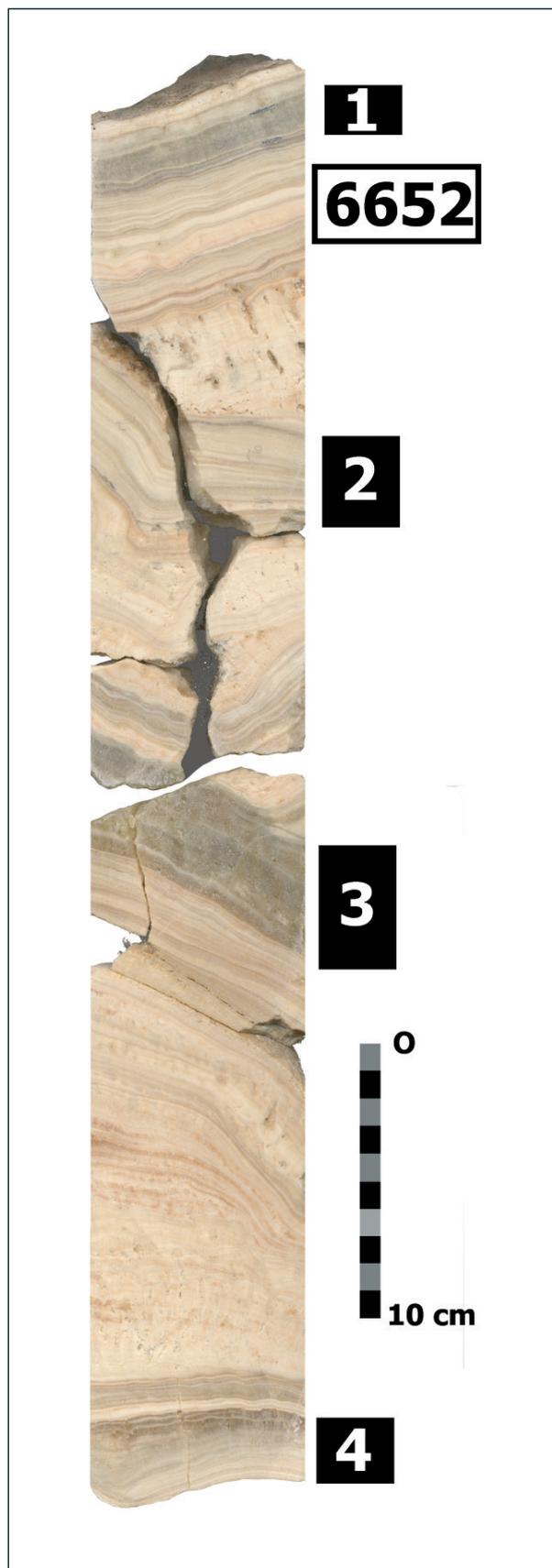


Figure 3 : Coupe de la Carotte du Massif à 60 mètres de l'entrée, ensemble 1. *Vertical section of the core from the stalagmitic massif situated at 60 meters of the entrance.*

6460 et 6461), puis par carottage dans sa partie supérieure (échantillons 6552 - 1, 6552 - 2, 6552 - 3 et 6552 - 4). La carotte (Fig. 3), de 50 cm de longueur, est essentiellement constituée de calcite blanche, opaque, microstratifiée. Ce faciès est parfois interrompu par quelques strates de calcite sombre et translucide.

Les échantillons prélevés dans cet ensemble sont les suivants.

6448 - Ce plancher de calcite blanche, opaque et stratifiée se situe sous la voûte rocheuse, altitudinalement sous le gros massif stalagmitique de la grande galerie. Il est attaché à la voûte par de petites stalactites.

6458 - Cet échantillon a été prélevé à la disqueuse sur le plancher se trouvant contre la paroi ouest de la grotte.

6459 - Cet échantillon a aussi été prélevé au marteau à la base du plancher. La calcite est translucide, bien cristallisée, sans stratification apparente au niveau de l'échantillon.

6460 - Cet échantillon a aussi été prélevé à la disqueuse dans la partie médiane du plancher. La calcite est translucide, bien cristallisée, sans stratification apparente au niveau de l'échantillon.

6461 - Cet échantillon provient du sommet du plancher et a été prélevé à la disqueuse. C'est la base d'une stalagmite sommitale qui montre des traces de corrosion. La calcite est blanche, opaque, très stratifiée.

6552 - Il s'agit d'un carottage horizontal au travers d'une stalagmite supérieure du gros ensemble stalagmitique. L'examen de la stratigraphie n'a pas permis de déceler une symétrie par un plan vertical. L'édifice est complexe et n'a pas cru comme une simple stalagmite. Les 4 échantillons (échantillons 6552 - 1, 2, 3, 4 - dans le sens jeune - vieux) ont été choisis dans de la calcite translucide, compacte, peu stratifiée (Fig. 3).

- Deuxième ensemble.

Il est situé au sud du premier et est visible aujourd'hui le long de la paroi est de la grotte. Il est constitué par un plancher stalagmitique horizontal suspendu. Son épaisseur est faible (moins de 0.1 m). Actuellement son développement présente une largeur maximum de 1.6 m et une longueur de 5.6 m. Initialement il devait être beaucoup plus important et l'on peut présumer qu'il pouvait couvrir la totalité de la galerie à cet endroit (quelques lambeaux existent encore le long de la paroi ouest). Ce plancher est venu sceller des ossements (Ursidés, Bovidés) qui sont visibles essentiellement dans sa partie inférieure mais également dans sa partie supérieure. Il contient également des restes de microfaune. Dans sa partie la mieux conservée, la hauteur maximum entre le sommet du plancher et le plafond de la grotte ne dépasse pas 0.3 m. Ce plancher repose sur des sédiments correspondant à ceux du niveau supérieur de la Galerie des Aiglons. L'échantillonnage a été réalisé par prélèvements ponctuels (échantillons 6449-1 et 6449-2).

Les échantillons prélevés dans cet ensemble sont les suivants.

6449 - 1 - Situé sous le plancher précédent (échantillon 6448), celui-ci scelle des ossements sur le sol. Il comprend

deux formations : une calcite blanche opaque inférieure et une calcite stratifiée supérieure. Il présente un arrêt de sédimentation avec une petite strate argileuse.

6449 - 2 - Il comprend aussi une strate noire et une calcite rouge, plus translucide inférieure.

- Troisième ensemble.

Il est situé au nord du premier ensemble. Il s'est formé alors que le premier ensemble fermait au moins partiellement la grotte. Celui-ci formait alors un barrage derrière lequel l'eau stagnait. Ce plancher est horizontal et se développe sur 17 m. Aujourd'hui, il est visible sur le côté ouest de la grotte dans sa partie sud et sur le côté est dans sa partie nord. A l'origine, il devait occuper la totalité de la largeur de la grotte (entre 3 et 4.5 m). C'est cet ensemble qui fermait hermétiquement la partie nord de la grotte avant l'aménagement touristique de la grotte. Son épaisseur actuelle est comprise entre 0.3 et 1.2 m. Au sud, il est constitué par un empilement de plusieurs milliers de feuilles souvent non jointives de calcite, tel un mille-feuilles. Dans sa partie nord, il est compact et englobe des stalactites préexistantes (0.15 m pour la plus grande). Quelques zones, entre les feuillets de calcite, contiennent des colonnes (4 cm de hauteur) et des choux-fleurs (Choppy, 2003). Parfois, sur ces colonnes se sont développées des cristallisations. L'échantillonnage a été réalisé par prélèvement ponctuel (échantillon **6550**). C'est un petit morceau de plancher qui scelle le remplissage détritique inférieur. L'échantillon a été prélevé au marteau et se présente comme un éclat. La calcite est très stratifiée, opaque, blanche.

3.3.2. Massif stalagmitique au milieu de la Grotte Préhistorique, 120 mètres de l'entrée.

Cet ensemble est visible sur 11.8 m de longueur (NS) et, à l'origine se développait sur la totalité de la largeur de la grotte (environ 2.5 m (EO)). La partie centrale du plancher a été détruite pour ouvrir le passage vers le nord de la grotte, scindant ainsi artificiellement le massif en deux parties distinctes, est et ouest. La hauteur entre le sommet du plancher et le plafond de la cavité varie entre quelques centimètres (paroi est) et 0.8 m (paroi ouest). La partie est présente encore une activité très faible alors que la partie ouest est fossile. Au sein de ce massif on peut voir des blocs de calcaire effondrés du plafond. Les stalactites qui existaient alors ont empêché que les blocs ne tombent totalement sur le plancher. Les extrémités de ces stalactites ont ensuite été scellées dans le plancher stalagmitique. Après ces effondrements, l'activité stalagmitique a continué et de nouvelles concrétions se sont formées au-dessus des blocs. Compte tenu de l'activité stalagmitique qui existe actuellement à cet endroit, nous pouvons affirmer que ces effondrements sont anciens et qu'ils ne peuvent pas être la conséquence d'une activité de carrière située au-dessus de la grotte. Le plancher est de faible épaisseur (entre 1 et 5 cm). Il est horizontal dans sa partie nord-est et présente une très faible pente (inférieure à 20°) vers

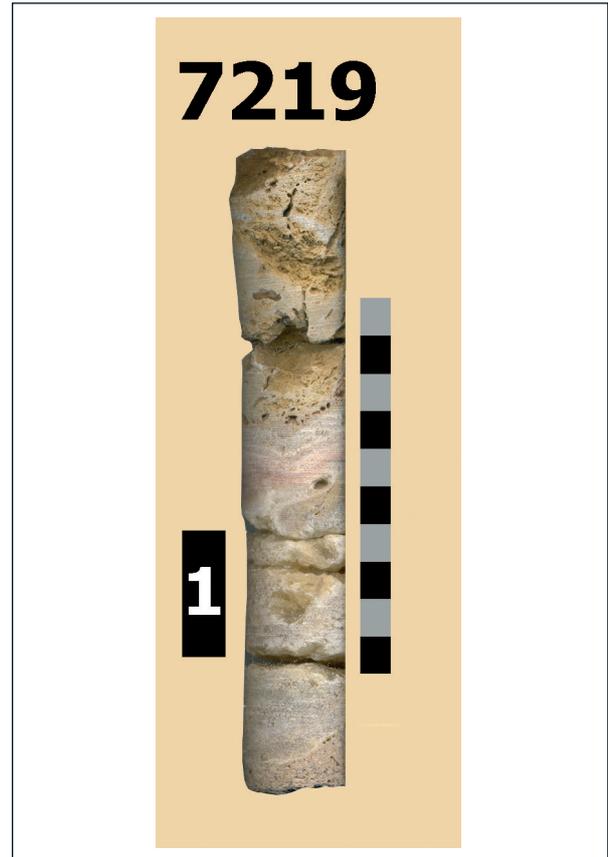


Figure 4 : Coupe de la Carotte du Massif à 120 mètres de l'entrée. *Vertical section of the core from the stalagmitic massif situated at 120 meters of the entrance.*

l'est ailleurs. Les concrétions qui se sont développées dans cette zone sont constituées par des fistuleuses (0.1 m de longueur au maximum, quelques fistuleuses cassées sont soudées au plancher), des draperies avec ou sans franges (leur longueur ne dépasse pas 0.2 m et leur hauteur 3 cm), des piliers stalagmitiques, des stalactites déviées ou non et des stalagmites (0.2 m de hauteur pour les plus grandes). Ce massif repose sur le niveau sédimentaire supérieur (C1) de la Grotte Préhistorique.

L'échantillonnage a été réalisé par carottage en oblique vu la proximité de la voûte interdisant de le pratiquer verticalement ; nous en avons retiré un cylindre de 17 cm de longueur (Fig. 4). L'échantillon prélevé, **7219**, est constitué d'une série bien stratifiée avec, en alternance, de la calcite rose et massive et de la calcite jaune pâle et translucide.

3.3.3. Massif stalagmitique de la Salle du 14 Juillet.

Au centre de cette salle on peut voir aujourd'hui ce qui paraît être une grosse stalagmite. Il s'agit en fait du dôme d'un massif stalagmitique tronqué sur ses côtés par l'aménagement touristique. Cet ensemble repose sur les sédiments qui comblaient la partie inférieure de la grotte. Plus aucune trace de ce plancher n'est aujourd'hui

visible sur les parois de la salle. Les restes de ce massif mesurent 3.1 m de long (NS) sur 2.2 m de large (EO). La différence de niveau entre sa partie la plus basse (au S) et sa partie la plus haute (au N) est de 1.4 m. La hauteur maximum des carottes obtenues, lors des prélèvements pour analyse U/Th, est de 0.60 m. L'alimentation en eau du massif se faisait par une petite source située au point haut au nord de la salle (aujourd'hui la source est en partie retenue et captée). Sur la paroi ouest de la salle on peut voir, sur 7.4 m de longueur, des lambeaux de brèches. Celles-ci se sont formées avant et après la formation du massif stalagmitique. La partie supérieure de ces brèches est venue fermer totalement l'accès à la partie nord de la grotte. Ce massif repose sur le niveau sédimentaire (C7) de la Grotte Préhistorique.

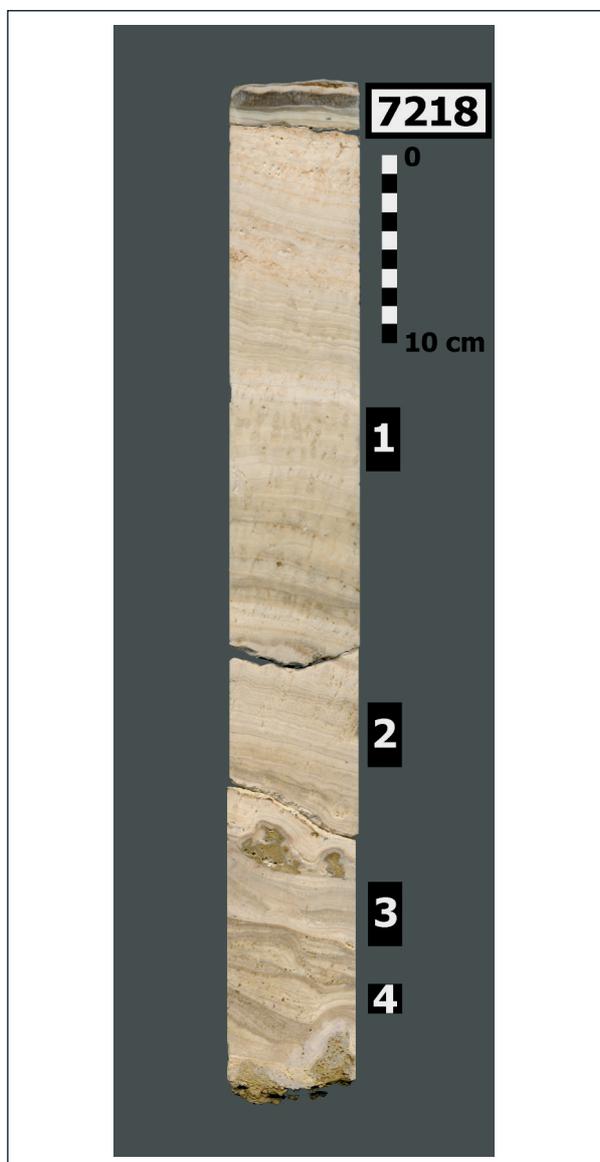


Figure 5 : Coupe de la Carotte de la Salle du 14 Juillet. *Vertical section in the core from the stalagmitic massif situated in the Salle du 14 Juillet.*

L'échantillonnage a été fait par carottage du massif à partir de la surface sommitale. Nous avons obtenu une carotte (Fig. 5) de 60 cm de long. Les échantillons prélevés sont **7218 - 1**, **7218 - 2** et **7218 - 3**. La carotte montre une calcite blanche à crème, opaque, finement stratifiée. A 1 cm du sommet se détache une strate épaisse de 1 cm en calcite translucide. A 43 cm de profondeur, une discordance est marquée par un galet mou d'argile tombé sur la surface de la stalagmite, qui a incurvé les couches de croissance.

3.3.4. Fragment de plancher se trouvant à la base du remplissage sédimentaire de la Galerie des Aiglons.

Lors de la fouille du sondage Est n° 3 de la Galerie des Aiglons nous avons trouvé un fragment (0.6 sur 0.4 m) de plancher stalagmitique. Celui-ci n'était pas en place mais sa position (à la base du remplissage) et son bon état de conservation (visuel) nous a incité à en faire la datation. L'échantillonnage a été réalisé par prélèvement ponctuel. L'échantillon prélevé, **7078**, est un plancher stalagmitique constitué d'une série bien stratifiée, où alternent des strates de calcite sombre et translucide de quelques mm à 1 cm d'épaisseur et des strates fines, millimétriques, souvent opaques, blanches ou colorées. Malgré sa position sous un remplissage sédimentaire épais, la calcite paraît non altérée.

3.3.5. Plancher stalagmitique sous le Porche de la Galerie des Aiglons.

Sous le porche de la Galerie des Aiglons, resté vide après la fin de la sédimentation et après les glissements de pente qui l'ont fermé, s'est développé un plancher stalagmitique. Celui-ci est venu sceller le remplissage détritique. Aujourd'hui il est complètement fragmenté du fait du passage de racines de cèdres. Des fragments sont toutefois bien conservés et d'une taille suffisante pour faire une analyse. L'épaisseur du plancher devait atteindre à l'origine une quarantaine de centimètres et son développement ne devait pas excéder quelques mètres. L'échantillonnage a été réalisé par prélèvements ponctuels. L'échantillon prélevé, **6462**, est constitué de calcite d'aspect travertineux. Très stratifié, rose, l'échantillon scelle un faciès argileux en boule.

4. Résultats des datations

4.1. Données géochimiques des échantillons analysés et résultats (Tableau 1)

Le rapport isotopique entre l'uranium-234 et l'uranium-238 intervient dans le calcul de l'âge parce que ces deux isotopes, bien que possédant les mêmes propriétés chimiques (ce sont tous les deux de l'uranium), ont la plupart du temps un rapport isotopique différent de

Echantillons	[U] _{ppm}	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}_{t=0}$	Age (en m.a.)
Grotte Préhistorique						
Massif stalagmitique situé à 60 mètres de l'entrée de la Grotte Préhistorique						
Premier ensemble						
6448	0,121±0,001	1,102±0,011	0,661±0,013	5,3±0,2	1,140	114,6[+4,2/-4,1]
6458	0,057±0,008	1,497±0,241	0,214±0,037	6,00±2,6	1,534	25,7[+5,2/-4,8]
6459	0,130±0,003	1,088±0,022	0,721±0,095	grand	1,128	134,6[+43/-30]
6460	0,343±0,006	1,233±0,017	0,450±0,018	13±1	1,278	63,4[+3,6/-3,4]
6461	0,068±0,003	1,238±0,062	0,217±0,028	7,7±4,3	1,256	26,3[+4,0/-3,8]
6552-1	0,077±0,001	1,179±0,020	0,091±0,004	3,3±0,3	1,185	10,3[+0,4/-0,5]
6552-2	0,093±0,001	1,162±0,015	0,229±0,006	9,6±0,7	1,175	28,1[+0,7/-0,8]
6552-3	0,070±0,001	1,092±0,014	0,392±0,011	13±1	1,106	53,5[+2,0/-2,0]
6552-4	0,089±0,001	1,152±0,016	0,423±0,007	23±2	1,179	58,9[+1,4/-1,4]
Deuxième ensemble						
6449-1	0,132±0,002	1,128±0,017	0,359±0,009	2,22±0,08	1,146	47,8[+1,5/-1,5]
6449-2	0,126±0,003	1,108±0,033	0,410±0,015	1,80±0,01	1,127	56,7[+2,8/-2,7]
Troisième ensemble						
6550	0,108±0,001	1,059±0,013	0,186±0,006	5,3±0,4	1,063	22,2[+0,9/-0,8]
Massif stalagmitique au milieu de la Grotte Préhistorique, 120 mètres de l'entrée						
7219	0,138±0,002	0,960±0,014	0,282±0,018	9±2	0,956	36,1[+2,7/-2,7]
Massif stalagmitique de la Salle du 14 Juillet						
7218-1	0,092±0,001	1,063±0,013	0,653±0,038	13±3	1,087	113,1[12,5/-11,2]
7218-2	0,068±0,001	1,107±0,015	0,781±0,017	21±2	1,167	158,1[+8,5/-7,8]
7218-3	0,069±0,001	1,085±0,023	0,479±0,032	11±3	1,103	70,1[+6,9/-6,5]
7218-4	0,120±0,003	1,038±0,027	0,834±0,028	7,4±0,5	1,064	190,7[+22,6/-18,1]
Galerie des Aiglons						
Fragment de plancher se trouvant à la base du remplissage sédimentaire de la Galerie des Aiglons						
7078	0,305±0,002	1,051±0,007	3,90±10,071	14,1±1,4	-----	-----
Plancher stalagmitique sous le Porche de la Galerie des Aiglons						
6462	0,182±0,00	1,013±0,031	0,072±0,010	2,0±0,5	1,013	8,1[+1,2/-1,2]

Table 1. Datations U/Th. La première colonne comprend le nom de l'échantillon, la deuxième colonne donne la teneur en uranium exprimée en ppm (parties par millions, soit le nombre de milligrammes d'uranium par kilogramme de stalagmite), la troisième le rapport isotopique entre l'uranium-234 et l'uranium-238, la quatrième le rapport isotopique entre le thorium-230 et l'uranium-234, la cinquième le rapport isotopique entre le thorium-230 et le thorium-232, la sixième le rapport isotopique entre l'uranium-234 et l'uranium-238 à l'instant initial et, enfin, la septième, l'âge de l'échantillon.

1 dans les eaux d'infiltration et, par là-même, dans les spéléothèmes. Le rapport isotopique entre le thorium-230 et l'uranium-234 constitue l'horloge proprement dite. Le rapport isotopique entre le thorium-230 et le thorium-232 est plus délicat à interpréter. L'isotope 232 du thorium est étranger à la famille de l'uranium. C'est une famille radioactive autonome. La présence de ^{232}Th dans une stalagmite est un indice montrant qu'il pourrait y avoir du ^{230}Th en provenance d'une source autre que son "père" direct, ^{234}U . On estime que, pour qu'un âge soit fiable, il faut que ce rapport isotopique soit supérieur à 20. En dessous, il existe une probabilité non négligeable que l'âge soit faux, généralement plus vieux que l'âge réel à cause de la présence de ce thorium-230 "étranger". Le rapport isotopique entre l'uranium-234 et l'uranium-238 à l'instant initial est calculé à partir des autres paramètres. C'est une variable qui n'intervient pas dans l'âge mais qui apporte des informations précieuses sur la géochimie de la concrétion étudiée. Enfin, les erreurs indiquées entre parenthèses proviennent de la nature statistique des mesures. Il faut les lire de la manière suivante. 10(+2) signifie qu'il y a 67 % de chance pour que la valeur se situe entre 8 et 12, 10 étant la valeur la plus probable.

4.2. Commentaires sur les résultats

6448 - L'analyse est bonne mais le rapport isotopique $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ assez faible incite à la prudence.

6458 - Le rapport isotopique $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ est très faible et rend l'âge peu fiable. De plus, la très faible teneur en uranium rend l'erreur sur l'âge plus grande.

6459 - Le rendement du thorium a été faible ce qui explique l'erreur. L'attribution a priori de l'échantillon au stade isotopique 5 est plausible.

6460 - L'analyse est bonne, le résultat est fiable.

6461 - Le rapport isotopique $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ est assez faible rendant l'âge peu fiable.

6552 - 1 - L'analyse est bonne, entachée par un faible rapport isotopique $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$.

6552 - 2 - L'analyse est bonne. Le rapport isotopique $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ est un peu plus élevé que pour 6552-1.

6552 - 3 - L'analyse est bonne. Le rapport isotopique $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ est un peu plus élevé que pour 6552-1.

6652 - 4 - L'analyse est bonne.

6449 - 1 - L'analyse est bonne mais le très faible rapport isotopique $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ rend l'âge peu fiable.

6449 - 2 - L'analyse est bonne mais le très faible rapport isotopique $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ rend l'âge peu fiable. Néanmoins, les deux analyses 6449-1 et 6449-2 sont en concordance stratigraphique.

6550 - L'analyse est bonne mais le très faible rapport isotopique $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ rend l'âge peu fiable.

7219 - L'analyse est géochimiquement très bonne. Le rapport isotopique $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ est faible. L'âge est donc peu fiable.

7218 - 1 - L'analyse est géochimiquement bonne. Le rapport isotopique $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ est moyen.

7218 - 2 - L'analyse est géochimiquement bonne. Le rapport isotopique $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ est faible. L'âge n'est pas fiable.

7218 - 3 - L'analyse est géochimiquement bonne. Le rapport isotopique $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ est moyen.

7218 - 4 - L'analyse est géochimiquement bonne. Le rapport isotopique $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ est correct.

7078 - Le rapport isotopique $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ est beaucoup plus grand que 1, ce n'est pas une contamination détritique qui est en cause. Il faut donc admettre que le système s'est géochimiquement ouvert.

6462 - L'âge n'est pas strictement fiable vu le très faible rapport isotopique $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ mais il est fort probable que ce plancher soit holocène

4.3. Périodes d'activités stalagmitiques dans la Grotte Préhistorique et dans la Galerie des Aiglons (Fig. 6)

Ces résultats montrent une activité stalagmitique à différentes périodes (Martinson *et al.*, 1987; Pisias *et al.*, 1984). Nous pouvons distinguer les stades isotopiques suivants :

- **stade isotopique 6 ou 7** : début des coulées stalagmitiques dans la Salle du 14 Juillet qui viennent recouvrir les sédiments présents ;

- **stade isotopique 6** : coulée stalagmitique dans la Salle du 14 Juillet ;

- **fin du stade isotopique 6 ou stade isotopique 5** : formation partielle au niveau du bouchon à 60 mètres de l'entrée, suite dans la Salle du 14 Juillet ;

- **stade isotopique 4** : bouchon à 60 mètres de l'entrée ;

- **stade isotopique 3** : bouchon à 60 mètres de l'entrée ; dépôt au milieu de la Grotte Préhistorique venant sceller l'ensemble du remplissage sédimentaire ;

- **stade isotopique 1** : bouchon à 60 mètres de l'entrée, porche de la Galerie des Aiglons.

5. Conclusion

L'ensemble des analyses réalisées (inédites pour le sud de la Bourgogne) nous permet d'approcher un historique du fonctionnement sédimentaire de la Grotte Préhistorique et de la Galerie des Aiglons. Les dates présentent une certaine incertitude de mesure liée à la conservation de la calcite. Cependant, elles sont chronologiquement fiables les unes par rapport aux autres et nous permettent de placer l'évolution du remplissage et la fermeture de la grotte dans différentes phases isotopiques.

L'interprétation de ces résultats apporte de précieux jalons chronologiques sur l'histoire du remplissage de la Grotte Préhistorique et de la Galerie des Aiglons. La concrétion la plus ancienne est celle de la Salle du 14 Juillet. Les sédiments (C7, Fig. 7) ainsi que la brèche 1 (Salle du 14 Juillet, Fig. 7) qu'elle recouvre sont plus anciens et datent probablement de la fin du stade isotopique 8 ou à un stade antérieur. Le niveau du sol dans la Salle du 14

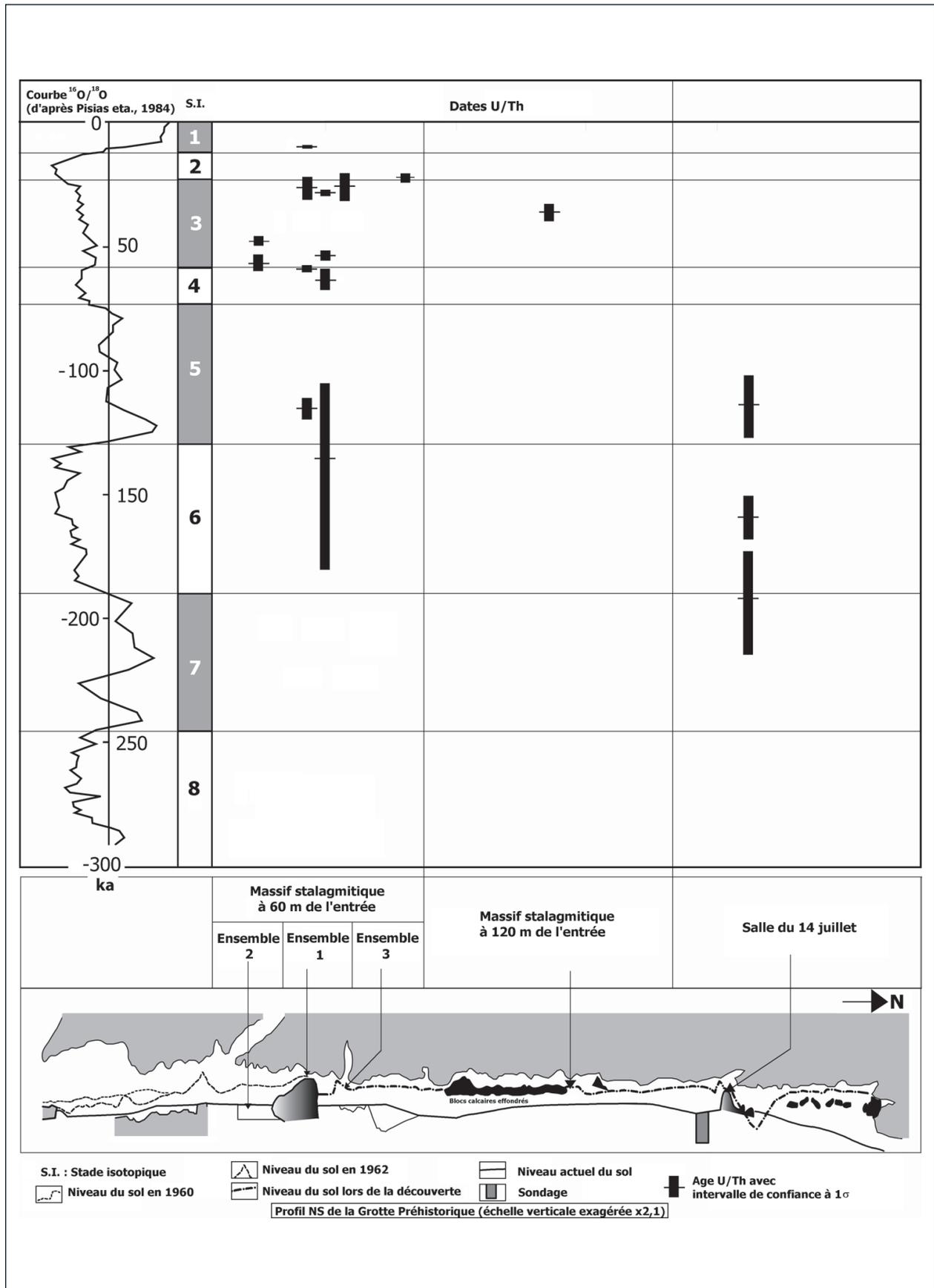


Figure 6 : Périodes d'activité stalagmitique à Azé et coupe longitudinale de la Grotte Préhistorique. *Longitudinal section of the Prehistoric Cave and main stages of stalagmitics deposits.*

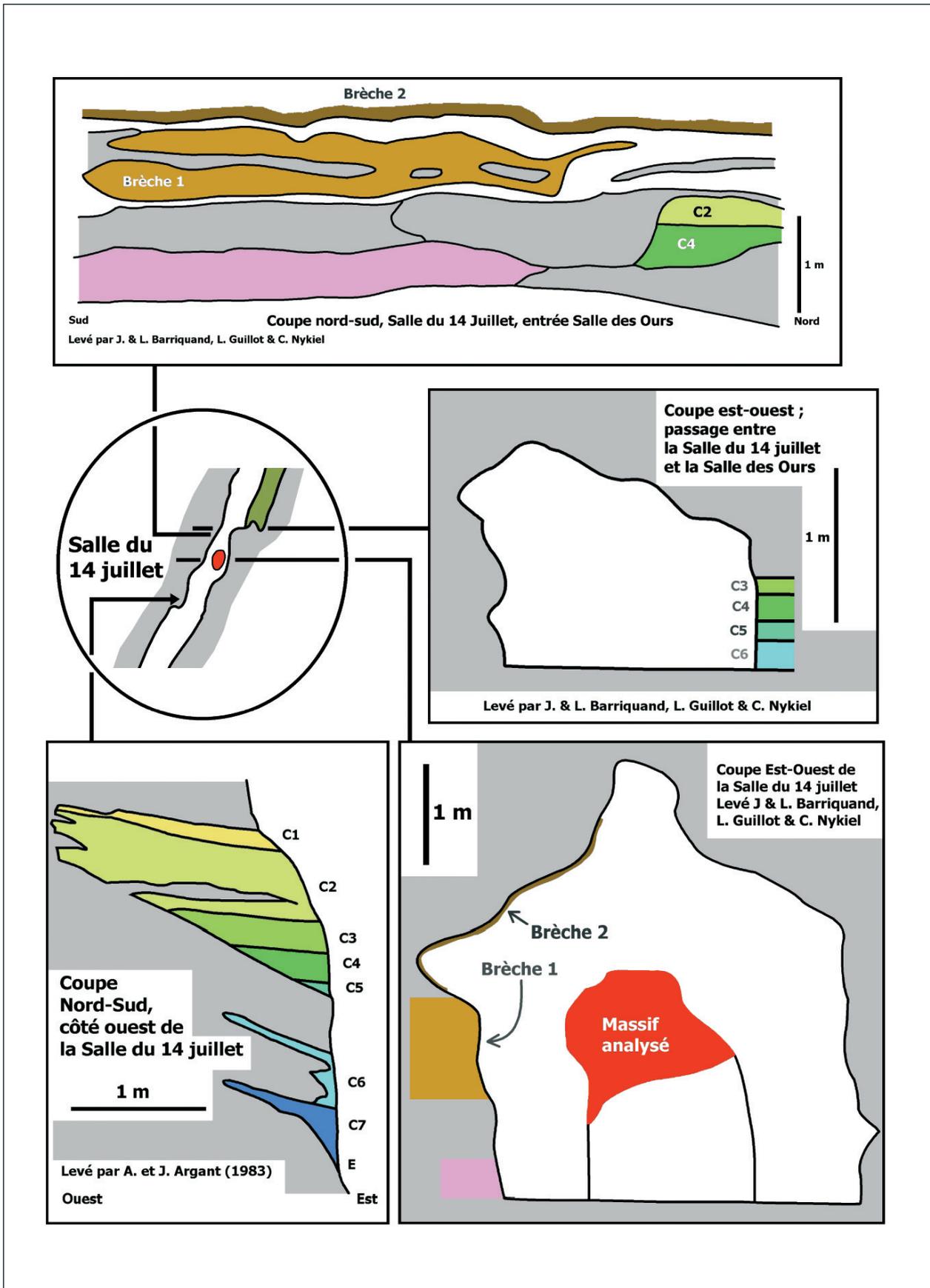


Figure 7 : Coupes sédimentologiques de la Salle du 14 Juillet. *Sedimentologic sections in the Salle du 14 Juillet.*

Juillet était vraisemblablement à cette époque un peu plus haut que le niveau artificiel actuel (piste bétonnée pour les touristes). A la fin du stade isotopique 7 ou au début du stade isotopique 6 (191 ka), le massif situé dans la Salle du 14 Juillet commence sa formation et vient recouvrir les sédiments. Cette même concrétion présente une rupture de croissance, avec un léger dépôt d'argile, entre 160 et 190 000 ans (froid du stade isotopique 6 ?) sans pour autant qu'il y ait une activité sédimentaire importante dans cette partie de la grotte. Pendant le stade isotopique 6, les ours viennent au fond de la grotte. Il y a alors formation du dépôt sédimentaire 6 et peut-être du 5 (C6 et C5, Fig. 7). Vers 110 000 ans (stade isotopique 5), la concrétion de la Salle du 14 Juillet est toujours active. Le niveau du remplissage par les sédiments d'origines détritiques dans cette partie de la cavité ne semble toujours pas évoluer.

Pendant ces périodes, le dépôt stalagmitique de paroi a débuté à 60 mètres de l'entrée. La formation commence peut-être lors du stade isotopique 6. Au stade isotopique 4 ou à la fin du stade isotopique 5 (113 100 ans), dans la Salle du 14 Juillet (Fig. 7), les derniers dépôts sédimentaires (C1, C2, C3, C4 et peut-être C5, Fig. 7) se mettent en place.

A la fin du stade isotopique 5, plus aucun animal de grande taille ne semble avoir accès au fond de la Grotte Préhistorique (absence d'*Ursus spelaeus*), soit parce que le plancher à 60 mètres de l'entrée est suffisamment important pour bloquer le passage, soit parce que l'accès à la grotte est totalement fermé (dépôt de versant (coulée de solifluxion ?) ayant entraîné la fermeture du ou des porche(s) (Grotte Préhistorique et Galerie des Aiglons).

Au stade isotopique 3 (56 700 et 47 800 ans) le niveau du sol, au sud du bouchon stalagmitique situé à 60 mètres de l'entrée, est similaire au niveau artificiel actuel. Le plancher qui se forme alors vient napper des os jonchant le sol. Entre 53 500 et 28 100 ans, un nouveau dépôt sédimentaire a lieu (rupture dans la carotte réalisée dans le bouchon stalagmitique à 60 mètres de l'entrée liée à un dépôt de sédiments meubles). Vers 36 100 ans, le remplissage de la partie nord de la Grotte Préhistorique est terminé (au-delà du bouchon stalagmitique situé à 60 mètres de l'entrée).

A la fin du stade isotopique 3 (25 700 et 26 300 ans), l'activité stalagmitique reprend. Le plancher situé au milieu de la grotte commence alors à se former. Il recouvre le dépôt sédimentaire le plus récent de la Grotte Préhistorique. Le comblement de la zone comprise entre le bouchon stalagmitique et la Salle du 14 Juillet est définitif. Dans le même temps, la brèche 2 commence peut-être à se former dans la Salle du 14 Juillet, venant ainsi définitivement fermer la Salle d'Azé 1-3. Entre 53 500 et 28 100 ans, des eaux d'infiltration stagnent régulièrement derrière le bouchon stalagmitique situé à 60 mètres de l'entrée. Des périodes d'immersion et d'assèchement

successives entraînent la formation d'un plancher feuilleté (mille-feuille).

A partir de la fin du stade isotopique 3 et pendant le stade isotopique 2 la circulation d'eau dans le réseau se fait uniquement par la Galerie des Aiglons.

Au début de l'Holocène (10 300 ans), l'activité stalagmitique reprend et complète le bouchon stalagmitique situé à 60 mètres de l'entrée. Les formations successives finissent par fermer totalement le passage dans la partie nord du bouchon. La zone du porche de la Galerie des Aiglons restée ouverte est obstruée par des glissements de pente. Les eaux d'infiltration stagnent derrière cet effondrement et un plancher se forme (8 ka). Enfin, dans la Grotte Préhistorique, des concrétions redeviennent actives.

6. Remerciements

Nous tenons à remercier le Service Régional de l'Archéologie Bourgogne et Conseil Général de Saône-et-Loire qui ont permis de financer les datations U/Th.

7. Références

- ARGANT A., 1991 - *Carnivores quaternaires de Bourgogne*. Docum. Labo. Géol. Lyon, n° 115, 301p., 39fig., 89 tabl., 9 pl h-t et *Thèse de Doctorat n° 152-89*, Univ. Claude Bernard Lyon I, 1989
- ARGANT A., 2005 - *Rapports Hommes-Carnivores au Paléolithique inférieur d'Azé 1-1 (Saône-et-Loire, France) : comparaison taphonomique des assemblages de faune des différents secteurs d'Azé 1. Revue de paléobiologie*, 23 (2).
- BARRIQUAND J. & BARRIQUAND L., 2000 - *Rapport et bilan annuel. Fouille programmée 2000. Galerie des Aiglons, Grotte Préhistorique d'Azé (Saône-et-Loire)*. Service Régional de l'Archéologie, Dijon.
- BARRIQUAND J. & BARRIQUAND L., 2001 - *Rapport et bilan annuel. Fouille programmée 2001. Galerie des Aiglons, Grotte Préhistorique d'Azé (Saône-et-Loire)*. Service Régional de l'Archéologie, Dijon.
- BONNEFOY M., 2002 - *A 300 pieds sous les vignes de Rochebin, l'exploitation et les travaux d'aménagement des grottes d'Azé de 1963 à 2001*. Association culturelle des Grottes d'Azé, Conseil Général de Saône-et-Loire.
- CHOPY J., 2003 - *Les formes spéléologiques et karstiques*. Spéléo-Club de Paris-Club Alpin Français, Paris.
- COMBIER J., GAILLARD C., MONCEL M-H., 2000 - *L'industrie du Paléolithique inférieur de la Grotte d'Azé (Saône-et-Loire - Azé 1-1)*. *Bulletin de la Société Préhistorique Française*, 7, 3 : 349-370.
- MARTINSON, D.G., PISIAS, N.G., HAYS, J.D., IMBRIE, J., MOORE, T.C., SHACKELTON, N.J., 1987 - *Age dating and the orbital theory of the ice ages*

: development of a high resolution 0 to 300,000-years chronostratigraphy. *Quaternary Research*, 27 : 1-29.

PISIAS, N.G., MARTINSON, D.G., MOORE, JR. T.C., SHACKLETON, N.J., PRELL, W., HAYS, J. AND BODEN, G., 1984 - High resolution stratigraphic

correlation of benthic oxygen isotopic records spanning the last 300,000 years. *Marine Geology*, 56 : 119-136.

Manuscrit reçu le 31.03.2005, accepté pour publication le 15.04.2006.