

# ENREGISTREMENT DE PALÉO-MISES EN CHARGE HOLOCÈNES DANS DEUX STALAGMITES DU RÉSEAU DU RUPT-DU-PUITS (BARROIS, FRANCE). ANALYSES MORPHOLOGIQUES DES LAMINES ET DATATIONS U/TH EN TIMS

Stéphane JAILLET<sup>1</sup>, Edwige PONS-BRANCHU<sup>2</sup>, Richard MAIRE<sup>3</sup>,  
Bruno HAMELIN<sup>2</sup> & Jacques BRULHET<sup>4</sup>

1. EDYTEM- UMR 5204 CNRS, Université de Savoie, 73 376 Le Bourget du Lac, France, E-mail : [Stephane.Jaillet@univ-savoie.fr](mailto:Stephane.Jaillet@univ-savoie.fr)

2. CEREGE - UMR 6635 CNRS, Europôle Méditerranéen de l'Arbois, BP 80, 13545 Aix-en-Provence cedex 04, France

3. ADES-DYMSET - UMR 5185 CNRS, Université de Bordeaux 3, Maison des Suds, 33 600 Pessac, France

4. ANDRA, 1/7, rue Jean Monnet, Parc de la Croix-Blanche, 92298 Châtenay-Malabry cedex, France

(6 figures, 1 tableau, 1 planche)

**ABSTRACT:** Le réseau souterrain du Rupt du Puits, dans l'Est de la France, est un karst couvert de bas plateau évoluant sous climat tempéré humide. Le régime des précipitations et l'organisation des circulations souterraines génèrent périodiquement des mises en charges partielles ou totales des conduits du système. La couverture argilo-sableuse, en cours de démantèlement, et le transit des matériaux détritiques dans le karst, induisent le dépôt d'un film argileux à chacun de ces épisodes de crue. Deux stalagmites décimétriques ont été choisies dans le réseau. Elles ont été sciées, polies puis montées en lame mince afin d'observer en section verticale, les différentes interruptions de croissance. Elles ont fait l'objet de 14 datations U/Th en TIMS.

Le principe de l'enregistrement est double. Il peut s'agir d'abord de l'intercalation de niveaux détritiques entre les lamines calcitiques. La croissance régulière du spéléothème est alors interrompue par l'envolement du conduit occasionnant un dépôt généralement argileux d'épaisseur variable. Ce dernier est scellé par la reprise de la croissance de la concrétion. Il peut s'agir aussi de bascules de l'édifice stalagmitique liées à la récurrence des épisodes de mises en charges. Les datations U/Th montrent que l'échantillon R69 connaît une phase générale de pousse comprise entre 5.3 ka et environ 4.5 ka. Deux phases de bascule sont identifiées, la première vers 5 ka et la seconde comprise entre 4.7 et 4.4 ka. Le sommet de l'échantillon R81 est subactuel, sa base est datée 1 ka. Plusieurs couches détritiques s'intercalent dans cette chronique. On détermine ainsi que la fréquence des mises en charge enregistrées par ces objets est liée aux précipitations et aux conditions géomorphologiques locales. Sur une période courte (ici la fin de l'Holocène), c'est plus l'évolution des conditions morphologiques internes qui engendre ou stoppe les mises en charge, véritable expression de l'incapacité du système à drainer les eaux de crue. L'enregistrement proposé ici est donc l'expression d'une période transitoire au sein de laquelle les conditions morphologiques internes au système karstique évoluent.

**Mots-clés:** Enregistrement de crue, mise en charge, spéléothème, karst.

**ABSTRACT: Record of Holocene palaeo-groundwater floods in two stalagmites of the Rupt-du-Puits system (Barrois, France). Morphological analysis of laminae and U/Th TIMS datings.** The Rupt du Puits cave system, situated in Eastern France, is a covered karst of low plateaus. The climate of the region is humid temperate. The precipitation regime and the ground-water flows organization give rise to partial or total hydraulic heads in karst conduits. The erosion of the clay-sand cover, and the clastic sediment transport in the karst system, bring about a thin deposit of clay at each flood event. Two stalagmites (of a few decimeter) have been chosen in the cave system. They were cut along their longitudinal axis and the surface was polished. Thin sections made on vertical sections show growth breaks. 14 TIMS U/Th datings were performed.

The stalagmites contain a double record. Firstly they record the incorporation of detrital material in between calcite growth layers. The speleothem growth is interrupted by water flowing and a clay layer is deposited over the speleothem. The clay is inserted in the speleothem when new calcite is deposited on top during a lower water level in the cave. Secondly, the stalagmites registered movements due to the frequent water filling episodes. The U/Th datings showed that the sample R69 has a general growth phase between 5.3 ka and 4.5 ka. Two fall-over movements (resulting in a change of direction of the longitudinal axis) were identified in the speleothem, the first one around 5 ka and the second one between 4.7 and 4.4 ka. The edge of the sample R81 is subactual and its base is at 1 ka. Several clastic layers appear in this chronicle.

We can then determine that the return flood period recorded by stalagmites is related to rainfall and local geomorphologic settings. On a short term (here the end of Holocene), it is mainly the inner geomorphologic evolution of the cave system which affects the frequency of the floods. They generate or stop the rising of water level. So, the present record shows that the cave system is unable to drain groundwater floods during certain periods and high waterlevels are recorded in the speleothem. These stalagmite records show a transitional period during which inner geomorphologic conditions are evolving in the cave system.

**Keywords:** Flood records, groundwater flood, speleothem, karst.

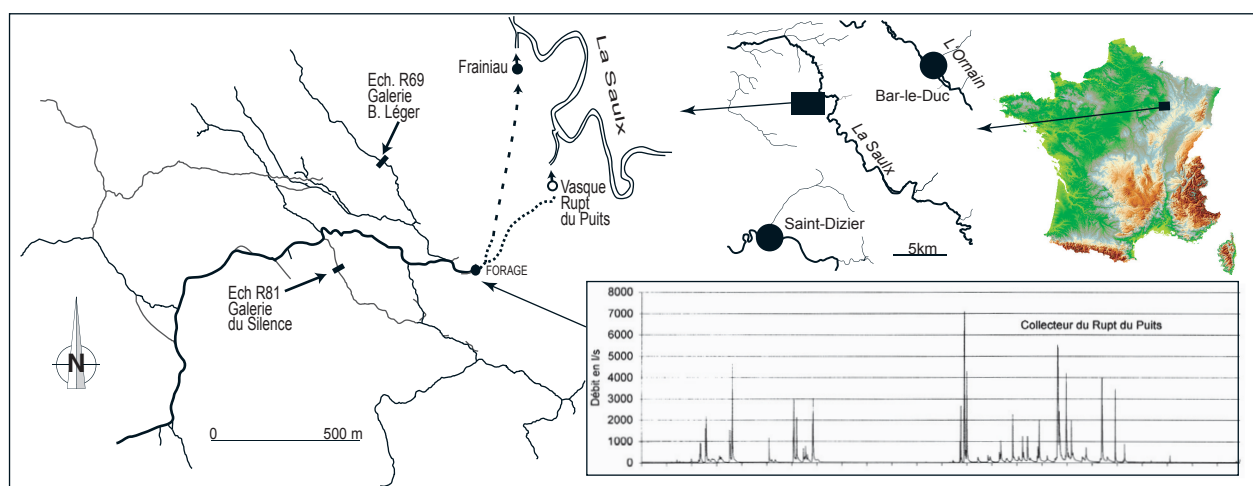
## 1. Avant-propos

Les stalagmites sont des enregistreurs exceptionnels des variations environnementales et font l'objet depuis la fin des années 1980 d'études spécifiques poussées (Maire, 1990; Genty, 1993; Baker *et al.*, 1993; Quinif *et al.*, 1994; Bar-Matthews *et al.*, 1997; Verheyden *et al.*, 2000; Pons-Branchu, 2001; McDermott *et al.*, 2001; Spötl & Mangini, 2002; Genty *et al.*, 2003). Parmi ces variations environnementales, les crues et les mises en charges des réseaux karstiques souterrains ont été peu reconnues (Perrette, 1999). L'objectif est ici de montrer que les stalagmites de terrasses argileuses peuvent constituer des enregistreurs fins de ces crises hydrologiques. Pour cela il a paru opportun de travailler sur un réseau, à la géomorphologie bien étudiée, subissant des mises en charges régulières de tout ou partie de ces conduits et dans lequel la croissance des concrétions peut être étudiée par l'analyse des lamines et par datation U/Th. Les karsts de bas plateau du Nord-Est de la France se situent en contexte climatique tempéré océanique de transition et en structure monoclinale. Parmi ceux-ci, le réseau du Rupt du Puits a fait l'objet d'investigations géomorphologiques et hydrologiques importantes (Jaillet, 2000).

## 2. Le réseau du Rupt du Puits

Avec 16 km de développement spéléologique, c'est le plus grand réseau karstique du Bassin parisien (Fig. 1 et photo 1, pl. 1). Il est constitué d'une rivière souterraine reconnue sur plusieurs kilomètres alimentée par de nombreux affluents. Il se développe dans les calcaires du Tithonien, sous une couverture argilo-sableuse crétacée. Cette dernière structure la dynamique des écoulements dès la surface en concentrant les flux hydriques vers des pertes occasionnant des crues souterraines importantes. A l'inverse, elle emmagasine une partie des pluies étalant ainsi l'écoulement sur la totalité du cycle hydrologique (Jaillet & Gamez, 1995).

Les crues souterraines ont fait l'objet d'une étude spécifique grâce à la mise en place d'un équipement hydrométrique spécifique (photo 1, pl. 1). La montée et la décroissance des débits sont brefs et il est difficile d'identifier les périodes de tarissement suivant la décrue tant le retour au débit d'origine est rapide. L'amplitude des débits est forte, de 20 l/s en étiage à plus de 7 m<sup>3</sup>/s lors de certaines crues. Ces dernières occasionnent une remontée de plusieurs mètres du niveau des eaux générant un ennoïement généralisé d'une grande partie des con-



**Figure 1 :** Localisation du réseau du Rupt-du-Puits, de la station hydrométrique enregistrant les crues et des deux stalagmites prélevées. Location of the Rupt du Puits cave system, the hydrometric station and the studied stalagmites.

duits. Sur le plan géomorphologique, le Rupt du Puits est un réseau karstique jeune qui a fait l'objet de nombreuses réorganisations de son réseau hydrographique au cours de ces 200.000 ans d'histoire (Jaillet, 2000). Cela se traduit par de nombreuses captures souterraines tant du cours principal que des ces affluents.

C'est dans ce contexte hydrologique et géomorphologique bien identifié qu'il est possible de reconnaître des stalagmites de terrasses argileuses. Elles poussent sur des banquettes latérales et subissent au cours de leur croissance les mises en charge du conduit karstique dans lequel elles se développent. Elles subissent donc tout autant les crues du système que la mobilité de la terrasse sur laquelle elles reposent.

### 3. Un enregistrement précis par intercalation argileuse et basculement

Le principe de l'enregistrement est double, soit par basculement, soit par intercalation de niveaux argileux entre les lamines de croissance calcitique (Fig. 2). Le basculement des stalagmites est interprété ici par l'incision de la terrasse argileuse liée à la vidange du drain en période de décrue. Les autres facteurs tels que la tectonique ou une coulée boueuse, bien qu'envisagés aussi au départ, n'ont pas été retenus ici car aucun indice morphologique sur les autres stalagmites de la cavité ne permet de le supposer. Sur ce type d'échantillon étudié, les étapes de croissance sont séparées par une phase de rotation bien limitée dans le temps. Il est alors possible de dater les sommets et bases des stalagmites emboîtées les unes sur les autres et par encadrement de dater les phases de basculement. La croissance du spéléothème peut aussi être interrompue par l'envolement du conduit occasionnant un dépôt détritifique généralement argileux d'épaisseur variable. Ce dernier est scellé par la reprise de la croissance de la concrétion. Ce type de dispositif sédimentaire par intercalation argileuse se décompose en 3 phases récurrentes (Fig. 2) : pousse

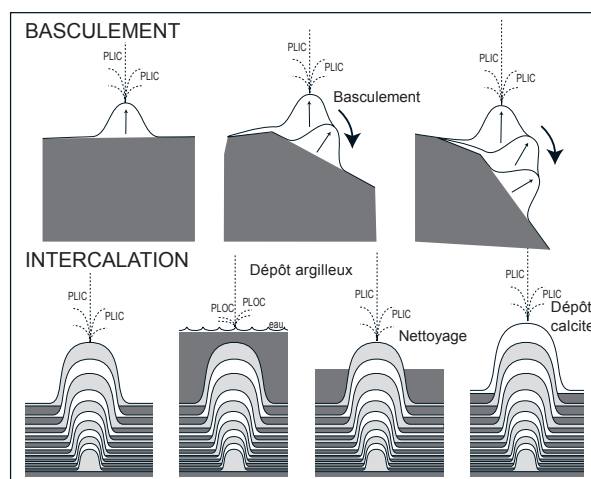


Figure 2 : Principe de l'enregistrement des crues et des mises en charges par basculement ou par intercalation dans les stalagmites de terrasse argileuse. *Recording of floods by fall-over movement or intercalation in the stalagmites*

d'un paquet pluriannuel de lamines calcitiques, enduit généralisé lors d'une mise en charge importante, nettoyage de l'enduit argileux au moins au centre de la stalagmite et enfin reprise du concrétionnement. La phase de crue se traduit ici par un dépôt argileux. Dans un contexte de crue non turbide, on observerait plutôt des formes d'érosion (eau de crue agressive) et une absence de dépôt argileux. La datation des paquets de lamines de calcite qui encadrent ces interruptions permet de circonscrire l'événement de crise (la crue) dans une fenêtre temporelle étroite permettant d'espérer la reconstitution d'une chronique de crue sur une grande gamme de temps.

On observe ainsi une opposition récurrente entre des dépôts détritiques dont l'arrivée peut être mensuelle, annuelle, décennale, ou séculaire et des dépôts chimiques marqués par une certaine continuité se traduisant par une pousse ininterrompue de lamines de calcite. Cet antagonisme of-

Ech.	$^{238}\text{U}$ ppm	±	$^{232}\text{Th}$ ppt	±	$^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ cor	$^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ cor	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ cor	±	$^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ cor	±	Age cor	±	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ ini	±	
R69-3	1,539	0,005	4.469	36	0,041	0,0004	1,252	0,006	53,4	0,47	4.447		1,256	0,006	
R69-1a	1,601	0,006	263.536	4.324	0,072	0,041	0,010	1,238	0,006	1,6	0,03	4.486	1,080	1,242	0,007
R69-4	1,640	0,006	15.725	118	0,045	0,043	0,001	1,255	0,007	17,9	0,15	4.729	108	1,258	0,007
R69-6	1,364	0,004	44.631	340	0,050	0,044	0,003	1,255	0,004	5,9	0,06	4.885	328	1,259	0,006
R69-6b	1,318	0,005	58.211	4.266	0,051	0,043	0,004	1,267	0,010	4,4	0,33	4.671	422	1,271	0,010
R69-6a	1,361	0,005	44.631	340	0,051	0,045	0,003	1,254	0,007	5,9	0,06	4.900	329	1,258	0,008
R69-7	1,417	0,006	20.224	117	0,048	0,046	0,001	1,245	0,008	12,9	0,11	5.031	159	1,248	0,008
R69-9	1,858	0,007	23.621	150	0,051	0,048	0,001	1,227	0,008	14,9	0,11	5.312	145	1,231	0,008
R81-1	0,190	0,001	24.217	131	0,025	0,000	0,002	1,332	0,009	0,8	0,02	-		1,332	0,006
R81-3	0,215	0,001	3.612	26	0,010	0,007	0,003	1,312	0,008	2,5	0,04	714	382	1,313	
R81-7c	0,236	0,002	19.528	156	0,023	0,007	0,003	1,319	0,012	1,1	0,02	659	363	1,310	0,007
R81-7	0,239	0,001	12.200	101	0,016	0,005	0,003	1,309	0,006	1,2	0,04	539	319	1,310	0,006
R81-7b	0,196	0,001	9.378	16	0,019	0,010	0,005	1,317	0,009	1,6	0,03	1.021	556	1,318	0,008
R81-7d	0,141	0,000	11.724	41	0,028	0,011	0,006	1,313	0,006	1,3	0,02	1.174	629	1,314	0,008
R81-9	0,288	0,001	20.449	209	0,023	0,009	0,005	1,319	0,012	1,3	0,03	933	505	1,320	0,008

Tableau 1 : Analyses TIMS U/Th et datations obtenues sur les échantillons 69 et R81 du réseau du Rupt du Puits. Extrait Thèse Pons-Branchu, 2001. *TIMS U/Th datings obtained on samples 69 and R81 (Rupt du Puits system), from Pons-Branchu, 2001.*

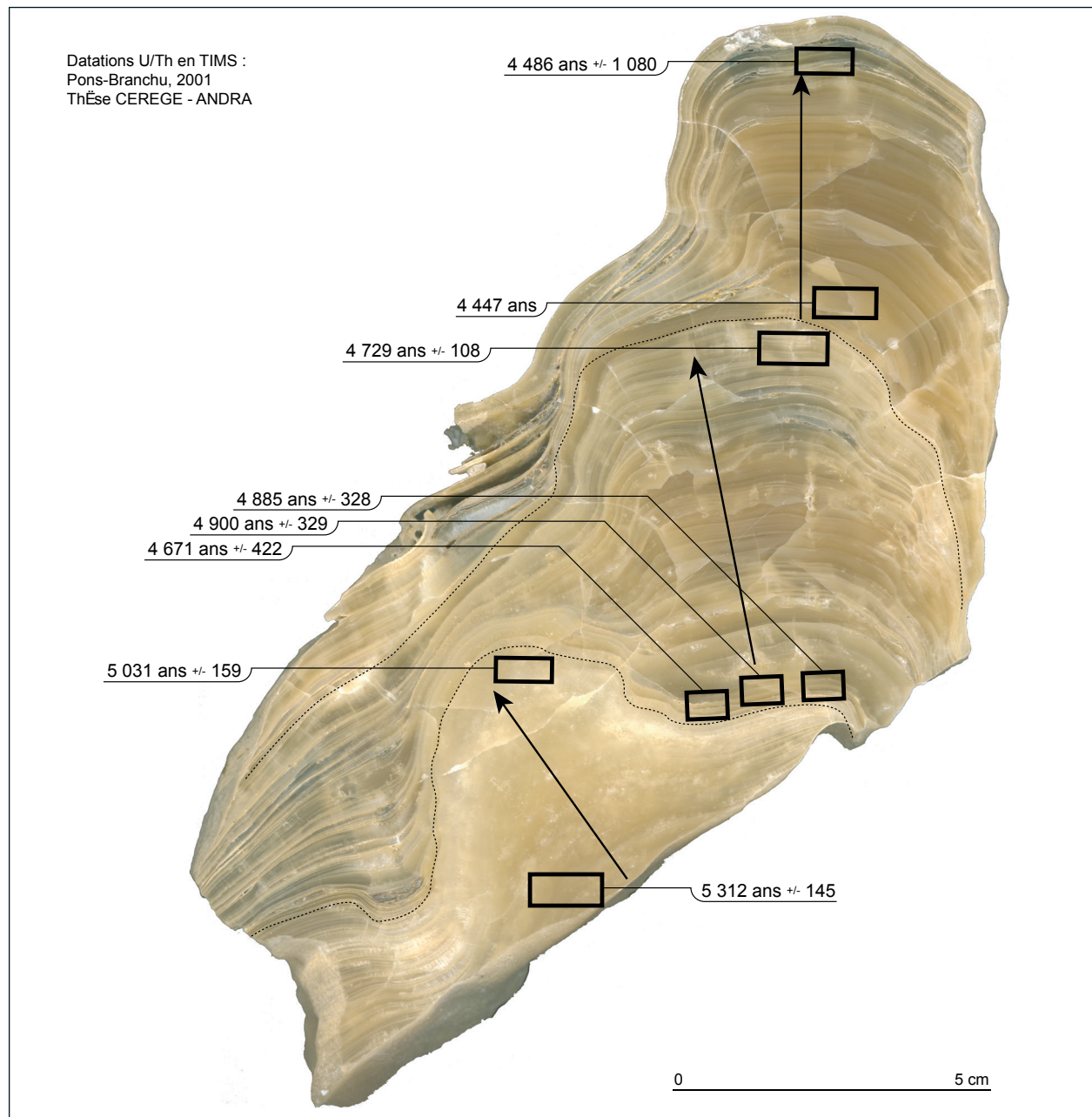
fre un enregistrement fin des mises en charge et des crues, par basculement ou par intercalation. Deux échantillons du réseau du Rupt du Puits ont été choisis (Fig. 1). Ils ont fait l'objet de plusieurs datations (U/Th), ont été sciés puis polis afin d'être observé en section verticale.

### 3.1. L'échantillon R69 (galerie B. Léger)

Cette stalagmite de 15 cm de hauteur et de 10 cm de diamètre à la base a été prélevée dans la galerie B. Léger, à 300 m de

la confluence avec l'affluent des Dents de Requin. Elle a été récupérée dans le lit du drain, non en place, en aval de son site originel. Une section polie permet de reconnaître des phases de pousse séparées par des phases de fluage (Fig. 3). C'est en fait 3 stalagmites de 4 à 6 cm, emboîtées les unes dans les autres, dont les axes de croissance sont chaque fois décalés d'un angle de 10 à 15°. Le sapement du talus argileux sur lequel reposait l'échantillon explique ces deux phases de rotation.

Les datations absolues U/Th sont données calées à 1950 et corrigées de l'apport détritifique. Cette correction rajeuni



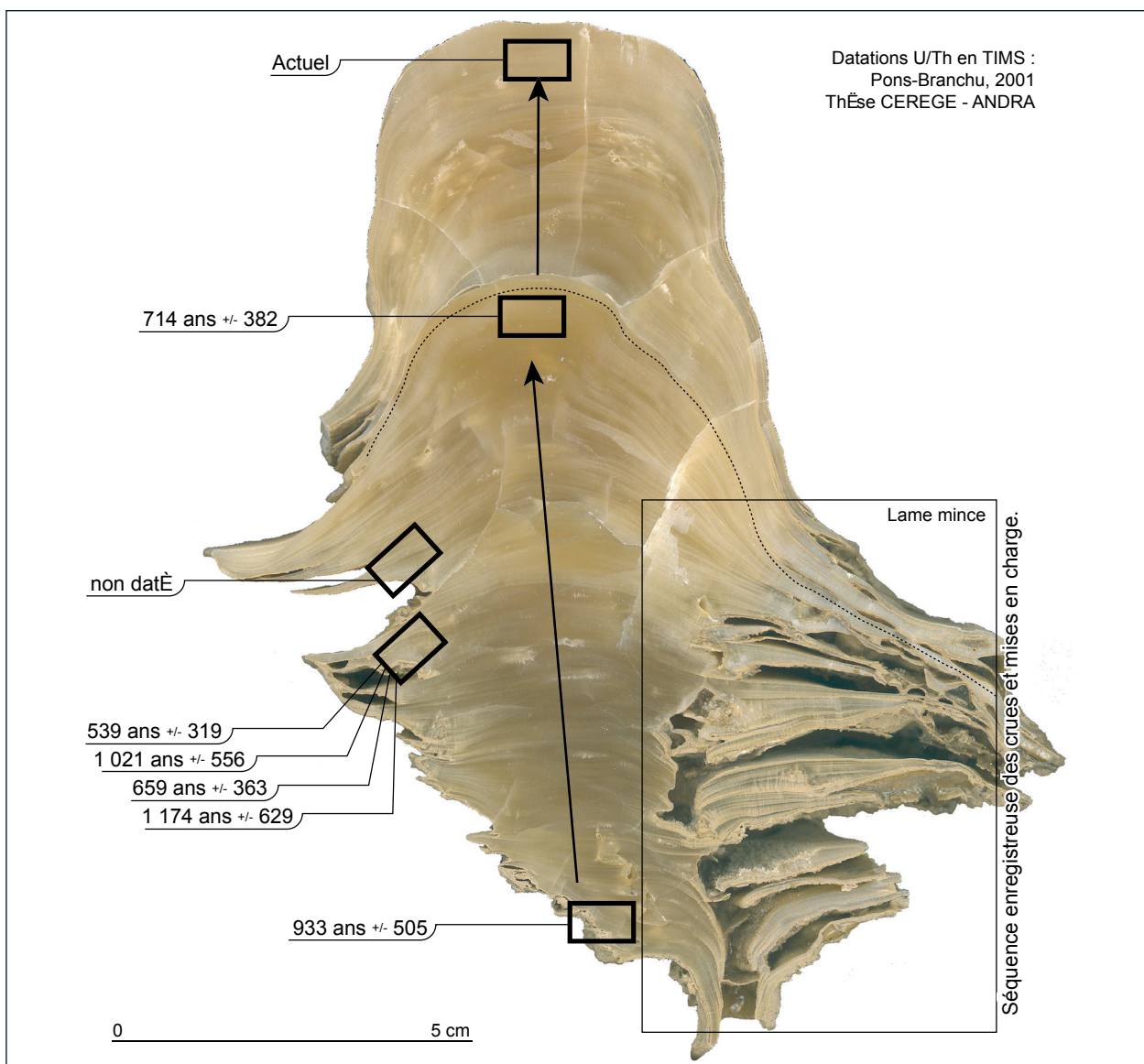
**Figure 3 :** L'échantillon R69 de la galerie Bertrand Léger présente 3 phases de pousse séparées par deux phases de rotation du spéléothème attribuables au fluage de la terrasse argileuse sur laquelle il reposait. Les périodes de décrue qui suivent les grandes mises en charge pourraient expliquer cette déstabilisation. Datations extraites de Pons-Branchu, 2001. *The R69 sample (galerie Bertrand Léger) presents 3 phases of growth separated by two phases of rotation (creep from the clay terrace). The periods of lower water level could explain this fall-over movement. Datings from Pons-Branchu, 2001.*

l'échantillon et donne lieu à une certaine incertitude due à la mauvaise connaissance de cet apport détritique (Pons-Branchu, 2001). Ces dates montrent que l'échantillon R69 croît entre 5.3 ka et 4 ka. On identifie deux phases de bascule : la première autour de 5 ka et la seconde comprise entre 4.7 et 4.5 ka. Il est raisonnable de penser que le battement du niveau d'eau dans le drain est responsable de ces glissements successifs. Des périodes d'assèchement du talus argileux séparant les phases de crue favorisent sans doute la fragilisation de la terrasse et facilitent le glissement lors de mises en charges. Pourtant, la fréquence des crues reconnues dans le réseau du Rupt du Puits (plusieurs par an) ne s'accorde pas avec ces deux uniques phases de

glissement reconnues en 1300 ans (entre 5.3 et 4 ka). Celles-ci sont dues à des modifications importantes des conditions d'écoulement dans le drain au cours du temps, le battement du niveau d'eau dans la galerie n'étant que le moteur du fluage.

### 3.2. L'échantillon R81 (galerie du Silence)

Les concrétions de la galerie du Silence sont perchées sur des banquettes latérales (photo 2, pl. 1). Le spéléothème R81 est une stalagmite de 14 cm de hauteur et de 11 cm de diamètre. Une section polie (Fig. 4) fait apparaître :



**Figure 4 :** L'échantillon R81 de la galerie du Silence au Rupt du Puits présente un axe central propre et un pourtour marqué par l'alternance de dépôts détritiques (mise en charge) et de dépôts chimiques (récession). La datation de ces derniers permettrait de proposer une paléochronique hydrologique faisant apparaître les ruptures de fréquence des épisodes de crue dans la pousse du spéléothème. Datations extraites de Pons-Branchu, 2001. *The R81 sample (galerie du Silence) presents a clean central axis and a border with alternation of clay layers (high water level) and calcite (low water level). The dating of the calcite gives a paleochronicle of the floods events. Datings from Pons-Branchu, 2001.*

- un axe central propre, finement laminé et présentant un léger basculement à partir du tiers supérieur ;
- un pourtour complexe où alternent des paquets de lamines sombres et des ensembles argileux évacués lors du traitement de l'échantillon.

A l'homogénéité cristalline et à la régularité de l'axe central s'opposent la turbidité et la complexité des marges de la stalagmite. Sa construction est due à la récurrence de mises en charge du drain laissant un placage argileux sur la totalité de la stalagmite. Le « goutte à goutte » alimentant la stalagmite nettoie la partie sommitale de l'échantillon et détermine la précipitation de calcite se traduisant par la pousse d'un paquet de lamines qui scelle les dépôts argileux de la mise en charge. Le sommet de l'échantillon R81 est actuel. Sa base est datée 1 ka (Pons-Branchu, 2001). Les datations intermédiaires réalisées sur l'échantillon suggèrent une croissance régulière.

Sur le coté de l'échantillon, il est possible d'identifier une séquence sédimentaire où alternent des phases brèves de dépôts détritiques, caractérisant des mises en charge du réseau, et des phases plus longues de dépôts chimiques, caractérisant un fonctionnement hydrologique de récession. Les dates proposées permettent d'apprécier sur 700 ans la fréquence des crues et des mises en charges enregistrées par l'échantillon. On note d'ailleurs que la fin de l'échantillon est marquée par une certaine réduction de cette fréquence de crue alors que les crues restent toujours observées dans le réseau (Fig. 1). Une étude des lamines de crues complète cette analyse.

### 3.3. Analyse des lamines de crues

Une grande lame mince (6 x 9 cm) réalisée dans cette partie latérale de l'échantillon, a permis de faire une étude micromorphologique fine. Les niveaux de crue sont séparés par des lamines de calcite colonnaire (photo 3, pl. 1). De petits niveaux turbides, sous la forme de microlamines détritiques, sont également présents. Chaque lamine de crue débute par un contact non ravinant et il n'existe pas de limite de corrosion à la base des lamines détritiques (photo 4, pl. 1). On note, lors de la reprise du concrétionnement sur ces niveaux turbides, la compétitivité cristalline s'exprimant lors de la croissance des cristaux (Kendall & Broughton, 1978 ; Hill & Forti, 1997). Le matériel détritique est constitué de limons et de grains d'altérites, de débris pédologiques, de quartz (photo 5, pl. 1) issues de la couverture crétacée recouvrant ici le karst.

La stalagmite R81 montre un enregistrement continu du fonctionnement de l'environnement souterrain : lamines détritiques de crue lors des mises en charge, lamines de calcite lors des étiages. Il n'est pas possible de distinguer les signaux annuels. L'aspect dilaté et biseauté des lamines de crue (photo 3, pl. 1) tient au nettoyage postérieur opéré par l'égouttement en provenance de l'alimentation de la stalagmite. Le centre de la stalagmite est nettoyé tandis que la périphérie montre les lamines les plus épaisses. La présence de microlamines détritiques intégrées dans la

masse de la calcite (photos 3 et 4, pl. 1) suggère soit le dépôt direct d'un film limoneux, soit la cimentation de particules fines (limons, micrograins) provenant de l'eau de ressuyage ou d'épisodes de crues moins turbides.

Ceci ouvre une piste dans la paléo-hydrologie des réseaux souterrains et offre la possibilité d'étudier le fonctionnement hydrodynamique d'un karst sur une gamme de temps dépassant les chroniques hydrologiques traditionnelles. Il reste à présent à replacer cet enregistrement dans le cadre du fonctionnement géodynamique du système karstique du Rupt du Puits.

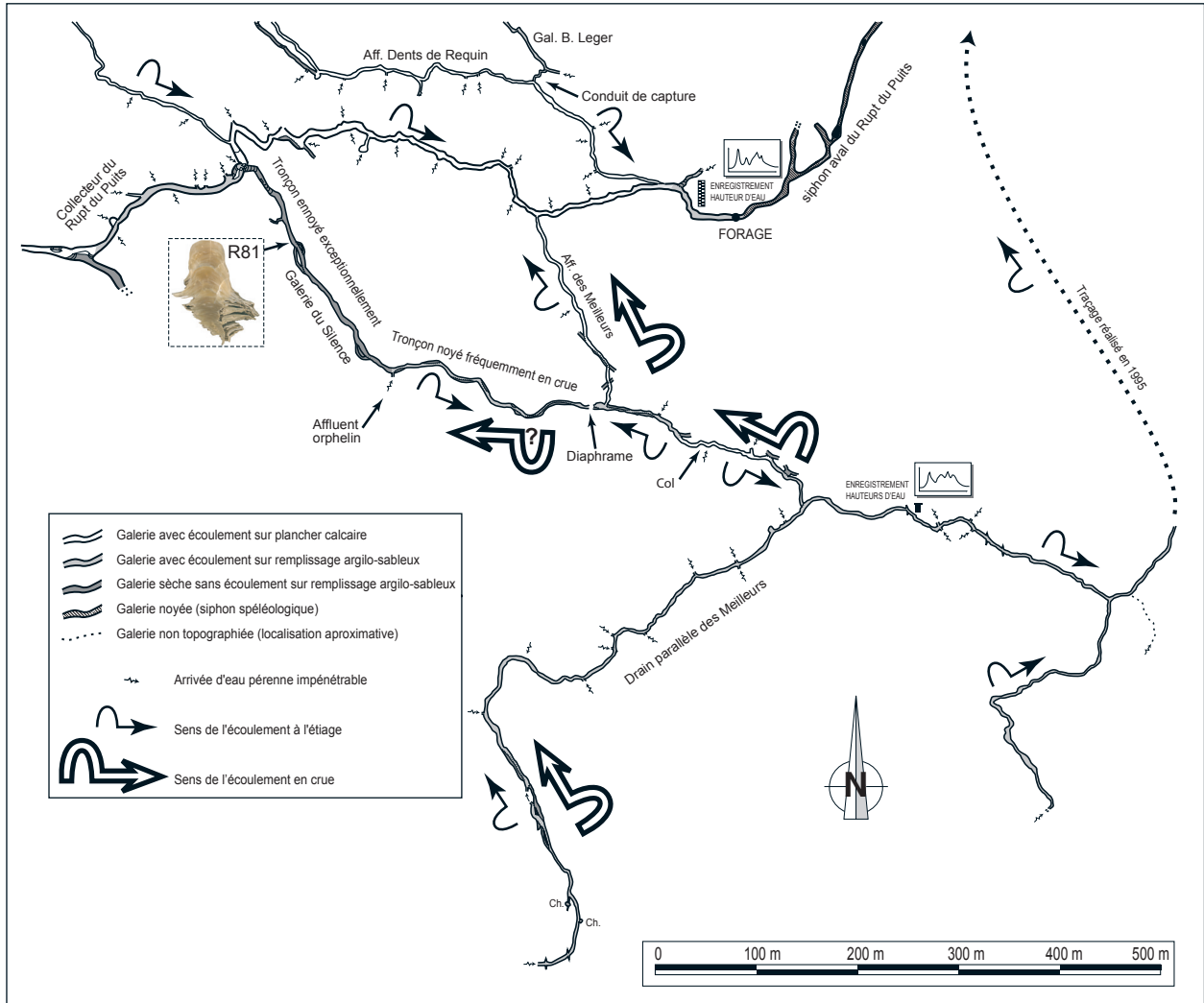
## 4. Un contexte géomorphologique marqué par un changement dans les structures de drainage

Le réseau du Rupt du Puits a connu au cours des temps de nombreuses réorganisations des chemins de drainage se traduisant par des captures (Jaillet, 2000). Les drains du karst connaissent des fonctionnements qui sont sous la dépendance des conditions géomorphologiques passées et des dynamiques de réajustement actuelles. Par exemple, la galerie B. Léger a été capturée par déversement par l'affluent des Dents de Requin (Fig. 5) occasionnant un remblaiement et donc un relèvement du sol. A partir de ce moment, les mises en charge atteignent des cotes plus importantes et provoquent la déstabilisation des talus sommitaux impliquant le fluage de certains petits édifices stalagmitiques. Dans cette occurrence, l'enregistrement par rotation, montré par l'échantillon R69 correspond à une modification de l'ampleur des mises en charge du drain, suite à des variations de conditions internes à ce drain. La fréquence des mises en charges n'est que le moteur de la déstabilisation des talus argileux enregistrée par le basculement de la concrétion.

Dans le cas de la galerie du Silence (Fig. 5), à aucun endroit le lit rocheux n'a pu être observé, et les dépôts argileux sont omniprésents (plancher et parois). La galerie, d'une longueur de 530 m, montre un chenal de décrue impliquant des écoulements d'étiage d'ouest en est. Le drain peut être divisée en deux :

- vers l'est, un tronçon, fréquemment noyé en crue et parcouru à l'étiage par un filet d'eau issu d'un affluent orphelin impénétrable ;
- vers l'ouest, un tronçon légèrement perché sans écoulement d'étiage, et ennoyé exceptionnellement.

Il est probable que les eaux issues du drain parallèle des Meilleurs, en cours de capture par déversement vers le collecteur, envahissent la galerie du Silence. En effet, ce drain parallèle des Meilleurs cherche à rattraper en période de crue le collecteur du Rupt du Puits. C'est dans ce secteur que l'échantillon R81 a joué le rôle d'enregistreur de ces mises en charges exceptionnelles conditionnées par la difficulté du drainage de la galerie du Silence et contrôlées par le diaphragme séparant cette galerie de l'affluent des Meilleurs.



**Figure 5 :** Le contexte géomorphologique de la capture active du drain parallèle des Meilleures par le collecteur du Rupt du Puits. Noter durant les périodes de déversement du drain vers le collecteur l'engorgement de la galerie du Silence lié à l'engorgement de ses affluents et au débordement du drain des Meilleures lui-même. *The geomorphological context of the capture of « drain parallèle des Meilleures ».* During the floods events, the « drain parallèle des Meilleures » runs towards the « collecteur du Rupt du Puits » and the gallery of Silence is flooded.

## 5. Discussions et conclusions

Replacer l'enregistrement obtenu dans le cadre du fonctionnement du système karstique implique donc d'intégrer la paléochronique hydrologique dans le contexte paléoclimatique et paléomorphologique du système karstique. En effet, les mises en charge des réseaux souterrains sont ici à la fois sous la commande de facteurs externes (précipitations) et internes (contraintes morphologiques). Ce type d'enregistrement est donc « forcé » par les variations des conditions externes au système et « contrôlé » par les variations des conditions internes (Fig. 6).

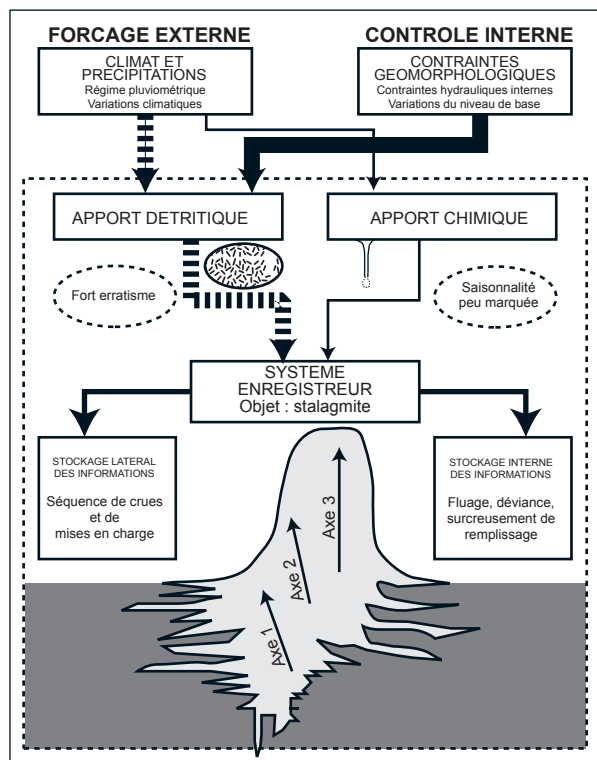
A travers les cas présentés, il a été possible de montrer le rôle des paramètres morphologiques internes :

- dans la galerie B. Léger, la capture de ce drain par l'affluent des Dents de Requin et le remblaiement partiel

corrélatif à cette capture pourraient expliquer la hauteur des mises en charge de la galerie ;

- dans la galerie du Silence, le diaphragme que constitue la section étroite de la galerie aux abords de l'affluent des Meilleures permet d'expliquer l'engorgement de l'intégralité du drain lors des périodes d'intumescence hydrique.

Ainsi, sur une période de temps donnée, la fréquence des mises en charge enregistrées par ces stalagmites est fonction de la fréquence des précipitations et des conditions géomorphologiques locales du drain dans lequel pousse le spéléothème. Sur une période courte, (fin de l'Holocène), c'est l'évolution des conditions morphologiques internes qui permet de générer ou de stopper l'existence des mises en charge. En effet, la mise en charge représente, pour un réseau, une crise qui exprime son incapacité à drainer l'intégralité des eaux qu'il reçoit. C'est donc l'expression



**Figure 6** : Forçage externe et contrôle interne des paramètres influençant les mises en charge des réseaux souterrains et la pousse des stalagmites de terrasses argileuses. Noter la richesse de l'enregistrement s'expliquant par la dualité de l'alimentation (argile en période de crue et calcite en période de récession). *External forcing and internal control influencing the floods and the speleothem growth. This record is explained by the alternation of clay layers (high water level) and calcite (low water level).*

d'une période transitoire au sein de laquelle les conditions morphologiques internes évoluent (dans un sens ou dans l'autre) jusqu'à ce que stoppent ces crises. Le principe d'enregistrement dans des séquences sédimentaires en plaine alluviale d'inondation ou en lac de trop-plein est similaire (Arnaud *et al.*, 2005). L'arrêt de l'inondation d'une plaine alluviale peut être dû à des changements climatiques. Il peut aussi être le fait d'un changement de conditions géomorphologiques locales par la modification des conditions de l'écoulement.

Dans le cas de la galerie du Silence, si le diaphragme va en s'agrandissant, les mises en charge iront en diminuant ; à l'inverse, si ce diaphragme va en se réduisant, c'est tout le drain qui se comblera et toute circulation de l'eau sera rendue impossible. Que le drain évolue du comblement vers le déblaiement ou l'inverse, il connaît dans cette période d'évolution un comportement hydrodynamique où les mises en charge constituent l'expression hydrologique d'une période transitoire dans l'efficacité des structures de drainage.

Dans cette occurrence, les stalagmites de terrasse argileuse sont l'enregistreur sédimentologique de ces périodes

d'adaptation du réseau souterrain à des modifications internes du chemin de drainage (capture en particulier). Sur une période donnée, les spéleoèmes étudiés ont enregistré des crues et des mises en charge. Mais cette période limitée est, en fait, l'expression du changement de structure de drainage du réseau ou d'une portion de ce réseau. L'enregistrement proposé par ces spéleoèmes est autant celui des crues d'une période hydrologique que la dynamique morphologique du réseau dans le cadre de ses réorganisations internes.

On mesure donc l'intérêt et la difficulté de l'analyse des spéleoèmes, objets naturels constituant l'archivage complexe de paramètres internes et externes au système. Un travail sur échantillon sorti de son contexte géodynamique omet les conditions internes et perd la richesse de la dualité entre les enregistrements induits par l'environnement et ceux contrôlés par le karst. La validation géomorphologique des résultats et la multiplication des données dans l'espace de la cavité permettent d'éviter l'écueil tout en reconnaissant le véritable intérêt de l'enregistrement stalagmitique.

## 6. Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier Claude Herbillon pour son aide dans les relevés géomorphologiques réalisés dans le réseau du Rupt du Puits, ainsi que Sophie Verheyden et Camille Ek pour leurs critiques et leurs conseils constructifs qui ont conduit à l'amélioration du manuscrit.

Les datations U/Th en TIMS ont été réalisées dans le cadre de la thèse ANDRA d'Edwige Pons-Branchu.

## 7. Références

- ARNAUD, F., REVEL-ROLLAND, M., CHAPRON, E., DESMET, M. & TRIBOVILLARD, N., 2005. 7200 years of Rhône river flooding activity recorded in Lake Le Bourget : A high resolution sediment record of NW Alps hydrology. *The Holocene*, 15-3: 420-428
- BAKER, A., SMART, P.L. & FORD, D.C., 1993. Northwest European palaeoclimate as indicated by growth frequency variations of secondary calcite deposits. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 100: 291-301.
- BAR-MATTHEWS, M., AYALON, A. & KAUFMAN, A., 1997. Late Quaternary paleoclimate in the eastern Mediterranean region from stable isotope analysis of speleothems at Soreq cave, Israel. *Quaternary Research*, 47: 155-168.
- GENTY, D., 1993. Mise en évidence d'alternances saisonnières dans la structure interne des stalagmites. Intérêt pour la reconstitution des paléoenvironnements continentaux. *C.R. Acad. Sci. Paris* t. 317, série II: 1229-1236.
- GENTY, D., BLAMART, D., OUHADI, R., GILMOUR, R., BAKER, A., JOUZEL, J. & VAN-EXTER,



- S., 2003. Precise dating of Dansgaard-Oeschger climate oscillations in western Europe from stalagmite data. *Nature*, 421: 833-837.
- HILL, C. & FORTI, P., 1997. Cave minerals of the World. *Nat. Speleological Society, Inc.*, 464 p.
- JAILLET, S. & GAMEZ, P., 1995. Observations morphologiques sur le géosystème karstique du Rupt du Puits. *Karstologia*, 26: 27-38.
- JAILLET, S., 2000. *Un karst couvert de bas plateau : Le Barrois. Structure, Fonctionnement, Evolution*. Thèse, Univ. Bordeaux 3, 543 p + annexes.
- KENDALL, A.C. & BROUGHTON, P.L., 1978. Origin of fabrics in speleothems composed of columnar calcite crystals. *Jour. of Sed. Pet.*, 48(2): 519-538.
- MAIRE, R., 1990. La haute montagne calcaire. Karsts. Cavités. Remplissages. Quaternaire. Paléoclimats. Thèse d'état, *Karstologia-mémoires*, 3, 731 p.
- MCDERMOTT, F., MATTEY, D.P. & HAWKESWORTH, C., 2001. Centennial-scale Holocene climate variability revealed by a high-resolution speleothem  $\delta^{18}\text{O}$  record from SW Ireland. *Science*, 294: 1328-1331.
- PERRETTE, Y., 1999. Les stalagmites : archives environnementales et climatiques à haute résolution. Présentation des protocoles d'étude et premiers résultats sur des spéléothèmes du Vercors. *Karstologia*, 34: 23-44.
- PONS-BRANCHU, E., 2001. *Datation haute résolution de spéléothèmes ( $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  et  $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$ ). Application aux reconstitutions environnementales autour des sites du Gard et de Meuse / Haute-Marne*. Thèse Univ. Aix-Marseille, 190 p + annexes.
- QUINIF, Y., GENTY, D. & MAIRE, R., 1994. Les spéléothèmes : un outil performant pour les études paléoclimatiques. *Bull. Soc. Géol. France*, 165: 603-612.
- SPÖTL, C. & MANGINI, A., 2002. Stalagmite from the Austrian Alps reveals Dansgaard-Oeschger events during isotope stage 3 : implications for the absolute chronology of Greenland ice cores. *Earth and Planetary Science Letters*, 203: 507-518.
- VERHEYDEN, S., KEPPENS, E., FAIRCHILD, I.J., MCDERMOTT, F., & WEIS, D., 2000. Mg, Sr and Sr isotope geochemistry of a Belgian Holocene speleothem: implications for paleoclimate reconstructions. *Chemical Geology* 169[1-2]: 131-144.

Manuscrit reçu le 31.03.2005, accepté pour publication le 15.11.2005.

## PLANCHE 1

**Photo 1 :** Le collecteur du Rupt du Puits est une galerie de plus de 10 m de hauteur se développant dans les calcaires tithoniens et recevant de nombreux affluents. Une station hydrométrique a permis d'étudier finement les crues du système sur deux années hydrologiques. Cliché Daniel Chailloux. *The « collecteur du Rupt du Puits » is a gallery (more than 10 m height) developing in Tithonian limestones. Floods events were studied with a hydrometric station.*

**Photo 2 :** Les spéléothèmes de terrasses argileuses de la galerie du Silence sont de petites stalagmites d'une dizaine de centimètres de hauteur poussant sur une banquette d'argile et dont l'auréole de calcite s'étend sur vingt à trente centimètres de largeur scellant ainsi les dépôts détritiques de la dernière mise en charge du conduit. Une prochaine crue du drain occasionnera un nouveau dépôt détritique qui sera scellé lors de la période d'étiage suivante. *The speleothems (galerie du silence) are small stalagmites (10 cm high). The calcite halo is 20-30 cm large and cover the detrital deposits. Next flood gives a new detrital deposit which will be sealed during low water level.*

**Photo 3 :** Lamine de crue en partie évidée lors du traitement de l'échantillon et séparée par des lamines de calcite colonnaire (25 x, LPA, h=5mm). *Flood laminae partly hollowed by the treatment of the sample and separated by calcite laminae (25 x, APL, h=5mm).*

**Photo 4 :** Lamine de crue principale (170  $\mu\text{m}$ ) avec microlamines de crues secondaires (15-30  $\mu\text{m}$ ) (100 x, LPNA, h=1mm). Noter l'absence de surface d'érosion sous la lamine détritique. *Flood laminae (170  $\mu\text{m}$ ) with secondary microlaminae (15-30  $\mu\text{m}$ ) (100 x, PPL, h=1mm). Note the absence of erosional surface under detrital laminae.*

**Photo 5 :** Détail du matériel détritique dans une lamine de crue principale avec limons, grains de quartz et altérites de sols (100 x, LPA, h=1100  $\mu\text{m}$ ). Il s'agit essentiellement d'éléments issus du démantèlement de la couverture crétacée. *The detrital material in one flood laminae with silts, quartz and ground weathered (100 x, APL, h=1100  $\mu\text{m}$ ). They are coming from the erosion of the Cretaceous cover.*

