

# Datation uranium/thorium et analyse pollinique d'une séquence stalagmitique du stade isotopique 5 (Galerie des Verviétois, Grotte de Han-sur-Lesse, Belgique)

Yves Quinif et Bruno Bastin

C. R. Acad. Sci Paris;  
t. 318, série II,  
p. 211 à 217,  
1994

**Résumé** Le complexe stalagmitique de la Galerie des Verviétois de la Grotte de Han (Belgique) a été analysé à l'aide de nombreux carottages. Nous présentons ici deux séries sous l'angle de la lithostratigraphie, la palynologie et la datation uranium/thorium ( $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ ). Ces séries permettent de dater et de reconstituer la séquence paléoclimatique allant du sous-stade isotopique 5.5 jusqu'au sous-stade 5.3, avec la mise en évidence de la dégradation climatique du sous-stade 5.4 (Melisey I de la séquence de la Grande Pile).

**Mots-clés** : paléoclimat, stalagmite, datation U/Th, analyse pollinique.

Y. Q. : CERAK, Centre d'Études et de  
Recherches Appliquées au Karst,  
Faculté Polytechnique de Mons, rue de  
Houdain, 9, B-7000 Mons, Belgique;

B. B. : Laboratoire de Palynologie et  
de Dendrochronologie, Université  
catholique de Louvain, place  
Croix-du-Sud, 4, B-1348  
Louvain-la-Neuve, Belgique.

**Abstract** U/Th dating and pollen analysis of a stalagmitic sequence of the isotopic stage 5 ("Galerie des Verviétois, Grotte de Han", Belgium)

The stalagmitic body of the "Galerie des Verviétois" ("Grotte de Han", Belgium) has been sampled by numerous drillings. We present here two series studied by lithostratigraphy, palynology and absolute dating by the uranium series disequilibrium. These series allow one to date and reconstitute the palaeoclimatic sequence from isotopic substage 5.5 to isotopic substage 5.3, emphasizing the climatic deterioration of the isotopic substage 5.4 (Melisey I in the "Grande Pile" sequence).

**Keywords** : palaeoclimate, speleothem, U/Th dating, pollen analysis.

**Abridged  
English  
Version**

PALYNOLOGY has long been ranking among the most accurate methods for palaeoclimatic reconstitution of continental environments (Behre, 1989; Zagwijn, 1989; Pons *et al.*, 1992). However, dating of pollen sequences is difficult. Dating by the uranium series disequilibrium applied to speleothems is now a well tested method in the Middle and Upper Pleistocene (Cantillana *et al.*, 1986; Duplessy *et al.*, 1972; Gascoyne and Shwarcz, 1982; Harmon *et al.*, 1975; Li *et al.*, 1989; Atkinson *et al.*, 1978; Gascoyne and Ford, 1984; Gordon *et al.*, 1989; Harmon *et al.*, 1977; Quinif, 1990, 1992). Speleothems contain pollen and can lead to palaeoclimatic reconstructions (Bastin, 1978, 1982, 1990; Bastin *et al.*, 1982; Bastin and Gewalt, 1986). Thus, we have

in the best cases the exceptional possibility in the continental Quaternary of date the samples in which palaeoclimatic sequences have been determined.

In the "Grotte de Han", the gallery named "Galerie des Verviétois" contains a big flowstone which has been sampled by drilling. The lithologic analysis of H-St-33 shows the following units (figure 1). At the bottom, finely stratified calcite includes falling blocks. Immediately above this level, we have clear, pure calcite as large crystals. Next develops a homogeneous area with milky, opaque and finely stratified calcite. Between 18 and 12 cm, the calcite becomes more yellow because of small bodies of clear calcite. After 12 cm, this clear calcite is sparser.

**Note**

présentée par  
Jean Dercourt.  
remise le 26 juin 1993,  
acceptée après révision le  
19 novembre 1993.

8 samples of H-St-33 have been prepared for the U/Th dating according to Gascoyne's method (Gascoyne, 1977). We see that, for H-St-33, we have two sets of dates (table I). Sample 8 belongs to the isotopic stage 7, and sample 7 indicates the top of substage 5.5. These ages are unreliable because of their low  $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$  isotopic ratios. The second set groups a very reliable dating series. A close conformity between age sequence and stratigraphy gives this group a strong coherence. The chronologic interpretation shows two "growth interpolated straight lines" for samples 1 to 6: a quick growth beginning at 117,060 BP for the part between 45 and 18 cm, and a slow growth between 18 and 0 cm, ending at 92,680 BP. The rupture has its mean age at 110,430 BP corresponding to the facies change which indicates a modification in the alimentation conditions or the chemistry of the water.

23 samples of H-St-33 and H-St-20 have provided 6 "global" pollen spectra (table II). The low pollen percentage of *Corylus*, the *Filicales monoletes* and *Tilia* allows a Holocene age to be disproved. The simultaneous presence of other mesophilous taxa such as *Quercus*, *Alnus*, *Fagus*, *Fraxinus* and *Carpinus*, reflects an interglacial forest dynamic, confirmed by the modest presence of *Hedera*, *Abies*, *Ilex* and *Viscum* in H-St-20/10-16. The growth of the speleothem begins in a forest environment dominated by *Betula* (32%), together with *Pinus* (8%), *Quercus* (6%), *Corylus* (6%), *Alnus* (4%), *Carpinus* (4%), *Fagus* (3%) and

*Fraxinus* (2%). It continues during a moister and more open phase, characterized by the extension of *Alnus* (6%) along the Lesse river and its affluents, of the *Compositae* (31%) and of *Sanguisorba officinalis* (up to 16%) in the alluvial plains. The Pleistocene growth of the speleothem ends in a new forest environment, still dominated by *Betula* (22%), together with *Quercus* (15%), *Pinus* (13%), *Alnus* (6%), *Corylus* (6%), *Fagus* (5%), *Fraxinus* (3%) and *Carpinus* (2%), but without the most thermophilous taxa (*Hedera*, *Ilex* and *Viscum*).

The comparison with the climatic curve dated by astronomic forcing (Martinson *et al.*, 1987) confirms that sample 7 of H-St-33 belongs to the isotopic substage 5.5, and that samples 4, 5 and 6 characterize the end of this substage. Sample 3 shows the climatic deterioration of substage 5.4 and that the upper part grew during substage 5.3. The calculation of the "growth interpolated straight line" and figure 2 gives the following dates: 109,000 BP for the beginning of substage 5.3 and 92,700 for the end, 113,000 BP for the end of substage 5.5.

This stalagmitic series is a good example of the potential of speleothems for palaeoclimatic studies. We demonstrate here that substage 5.4 is characterized in Belgium by a cold and wet climate and that substage 5.3 shows a forest landscape less thermophilous than substage 5.5. The U/Th dating gives us the ages of those climatic ruptures.

## PALYNOLOGIE ET DATATION URANIUM/THORIUM

La palynologie est depuis longtemps consacrée comme une des méthodes les plus fines de reconstitution paléoclimatique en milieu continental (Behre, 1989; Zagwijn, 1989; Pons *et al.*, 1992). Elle reste cependant confrontée au problème de la datation absolue des séquences étudiées. La datation uranium/thorium des spéléothèmes est une technique géochronologique maintenant bien testée qui donne de bons résultats dans le Pléistocène moyen et récent (Cantillana *et*

*al.*, 1986; Duplessy *et al.*, 1972; Ivanovitch *et al.*, 1992; Harmon *et al.*, 1975; Li *et al.*, 1989; Atkinson *et al.*, 1978; Gascoyne et Ford, 1984; Gordon *et al.*, 1989; Harmon *et al.*, 1977; Quinif, 1990, 1992). Or, les spéléothèmes peuvent contenir du pollen en quantité et en qualité telles, qu'ils fournissent des possibilités de reconstitutions paléoclimatiques (Bastin, 1978, 1982, 1990; Bastin *et al.*, 1992; Bastin et Gewalt, 1986). On dispose ainsi, dans les cas favorables, de la possibilité de dater de façon absolue les échantillons d'où sont issues des séquences paléoclimatiques, possibilité exceptionnelle dans le domaine du Quaternaire continental.

**LA SÉRIE STALAGMITIQUE DE LA GALERIE DES VERVIÉTOIS**

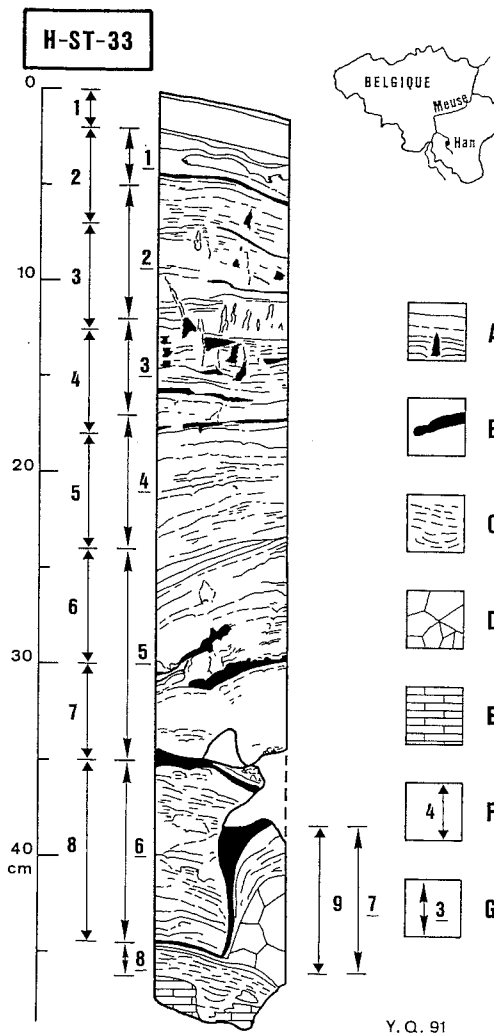
La Galerie des Verviétois, étage supérieur de la Grotte de Han (Quinif et Bastin, 1986), renferme une série de sables, limons et argiles coiffée par un plancher stalagmitique (Quinif, 1991 a). Un carottage, H-St-33, constitue la base de l'analyse chronologique et de l'étude palynologique, cette dernière s'appuyant en outre sur des spectres polliniques concordants obtenus en H-St-20. De bas en haut, la série débute par une couche de calcite finement stratifiée, scellant des blocs éboulés du calcaire encaissant (figure 1). Immédiatement au-dessus de ce niveau, le carottage a trépané un corps stalagmitique composé de gros cristaux de calcite très pure, compacte et transparente (échantillon U/Th 7). Par-dessus, vient une suite assez homogène de calcite finement stratifiée, d'apparence blanc laiteux, opaque, sur 45 cm. Entre 18 et 12 cm, on constate une légère modification de faciès : la calcite devient plus jaunâtre. Cela est dû à de la calcite transparente qui se localise en petits corps allongés ou trapus. Après 12 cm, cette calcite transparente se raréfie mais reste néanmoins plus présente qu'en dessous de 18 cm.

**RÉSULTATS ISOTOPIQUES ET AGES (H-St-33)**

Les datations ont été réalisées suivant la méthode exposée par Gascoyne (1977), rappelée dans Quinif (1992). Les échantillons analysés ici étaient très purs : aucun résidu ne subsistait après dissolution.

Les échantillons 7 et 8 sont litho-stratigraphiquement distincts des autres. Deux âges précis et fiables sont ceux des échantillons 4 et 5. On obtient une excellente concordance stratigraphique des âges, ce qui rend l'ensemble fortement cohérent. Par la similitude des faciès et l'important hiatus stratigraphique qui le sépare de l'échantillon 7, l'échantillon 6 appartient à la série supérieure.

L'interprétation chronologique a été analysée en détail dans un précédent article (Quinif, 1991 a). Dans le graphe exprimant l'âge en fonction de la hauteur dans la série (figure 2), l'interprétation la plus plausible



**Figure 1** Coupe de H-St-33. A : calcite stratifiée avec cavités; B : calcite transparente; C : calcite microstratifiée, avec joints de stratification peu visibles, blanche et laiteuse; D : calcite à gros cristaux, transparente; E : calcaire; F : échantillonnage pour la palynologie; G : échantillonnage pour l'analyse isotopique.

Section of H-St-33. A: stratified calcite with cavities; B: clear calcite; C: finely stratified white or milky calcite, with poorly visible bedding planes; D: clear calcite with big crystals; E: limestone; F: samples for palynology; G: samples for isotopes analysis.

fait intervenir deux droites de croissance interpolées (Quinif, 1991 b), en excluant bien sûr les échantillons 7 et 8 qui sont antérieurs. Nous sommes ainsi conduit à considérer une croissance rapide commençant à 117 060 BP pour la partie comprise entre 45 et 18 cm et, ensuite, une croissance plus lente entre 18 et 0 cm se terminant à 92 680 BP. Cette rupture centrée sur 110 430 BP correspond au changement de faciès qui indique donc une modification dans les conditions d'alimentation ou de chimisme.

**ANALYSE POLLINIQUE (H-St-33 et H-St-20)**

24 échantillons, de quelque 200 g chacun, ont été soumis à la méthode de l'analyse pol-

**Tableau I** Résultats isotopiques et âges de H-St-33. La première colonne comprend le nom de l'échantillon, la deuxième donne la teneur en uranium exprimée en ppm, les troisième, quatrième et cinquième colonnes donnent les différents rapports isotopiques mesurés, 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. Les erreurs sont exprimées à un écart-type.

Isotopic results and ages of H-St-33. The first column gives the name of the sample, the second the uranium content in ppm, the third, fourth and fifth the different measured isotopic ratios, the sixth the initial isotopic ratio between  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  and the seventh the age at the level of  $1\sigma$ .

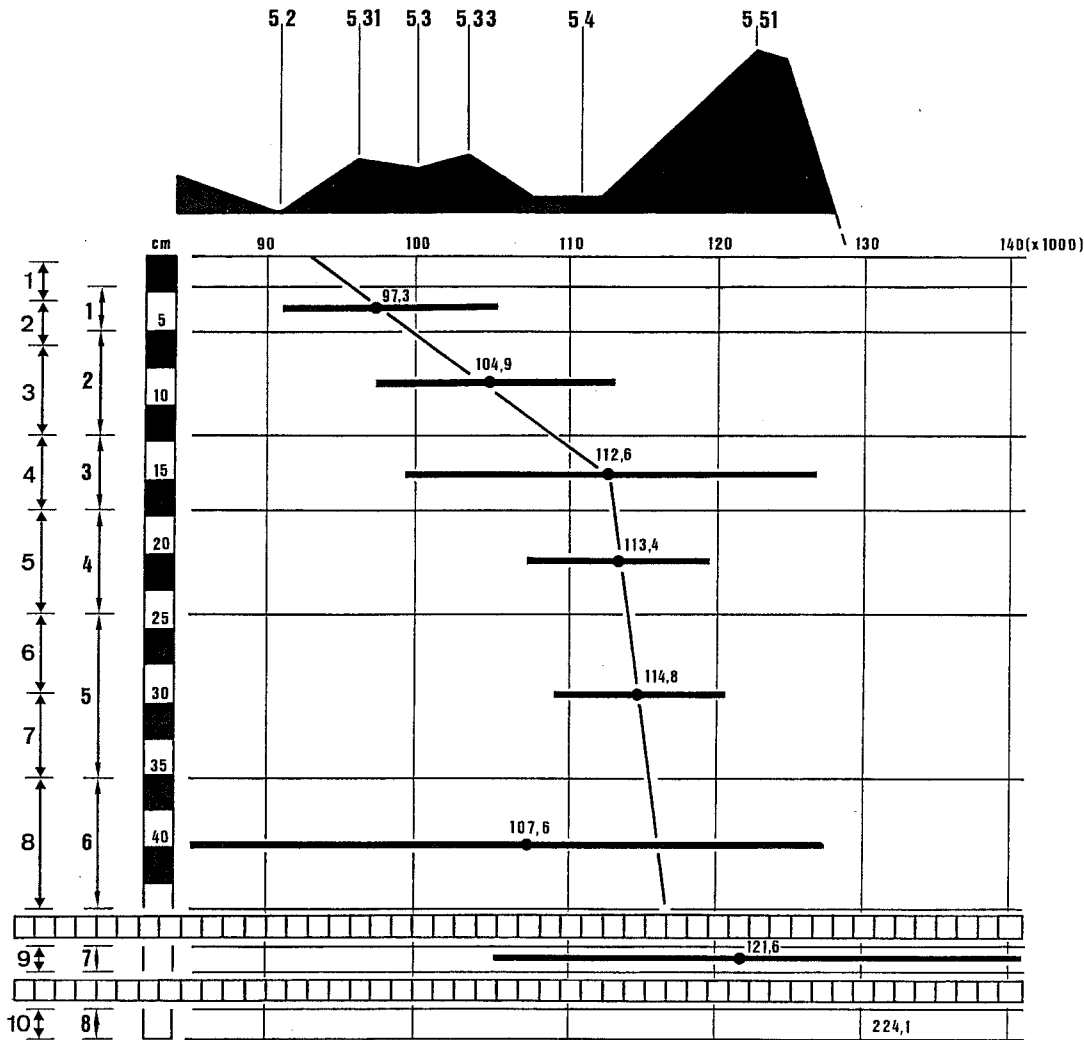
Échantillon	[U] <sub>ppm</sub>	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$	$[\text{U}^{234}/\text{U}^{238}]_{t=0}$	Age (Ma)
H-St-33 (1)	0,070 (±0,002)	1,762 (±0,063)	0,625 (±0,027)	21 (±4)	2,002	97,3 [+6,9/-6,3]
H-St-33 (2)	0,073 (±0,001)	1,645 (±0,025)	0,653 (±0,030)	25 (±7)	1,866	104,9 [+8,1/-7,6]
H-St-33 (3)	0,078 (±0,001)	1,678 (±0,031)	0,684 (±0,051)	138	1,929	112,6 [+14,8/-13,2]
H-St-33 (4)	0,064 (±0,001)	1,707 (±0,030)	0,687 (±0,021)	28 (±5)	1,972	113,4 [+6,0/-5,8]
H-St-33 (5)	0,073 (±0,001)	1,629 (±0,027)	0,690 (±0,020)	29 (±4)	1,868	114,8 [-5,8/-5,5]
H-St-33 (6)	0,065 (±0,001)	1,558 (±0,038)	0,660 (±0,001)	7,3 (±3,3)	1,754	107,6 [+27,6/-22,3]
H-St-33 (7)	0,063 (±0,001)	1,597 (±0,033)	0,713 (±0,059)	8,1 (±2)	1,840	121,6 [+19,0/-16,4]
H-St-33 (8)	0,131 (±0,003)	1,751 (±0,050)	0,967 (±0,043)	11 (±1)	2,409	224,1 [+33,1/-25,8]

linique adaptée aux concrétions stalagmitiques (Bastin, 1990). 23 d'entre eux, rapportés au Pléistocène, ont fourni 1 545 pollens et spores, soit en moyenne 67 par échantillon. Dès lors, plutôt que de dresser des diagrammes polliniques basés sur de faibles sommes polliniques, nous avons préféré établir, pour chacun des deux carottages, trois spectres polliniques globaux qui tiennent compte de la ressemblance des assemblages polliniques, des faciès calcitiques et des résultats isotopiques. Objet du tableau II, ces 6 spectres polliniques appellent les commentaires suivants.

Le rôle modeste de *Corylus*, des *Filicales monolètes* et de *Tilia* permet d'écarter un âge holocène. La présence simultanée d'autres taxons mésophiles tels que *Quercus*, *Alnus*, *Fagus*, *Fraxinus* et *Carpinus* atteste une dynamique forestière interglaciaire, encore renforcée par la présence discrète en H-St-20/10-16 de *Hedera*, *Abies*, *Ilex* et *Viscum*.

Dans les deux séries, deux phases franchement forestières sont séparées l'une de l'autre par une forte extension des plantes her-

bacées, principalement due aux *Cichoriées* en H-St-20/8-9, aux *Anthémidiées* et à *Sanguisorba officinalis* en H-St-33/4. La forte extension de *Sanguisorba officinalis*, espèce indicatrice des prairies humides, témoigne de la très grande humidité du climat contemporaine de l'édification de H-St-33/4. Cette grande humidité est aussi attestée en H-St-20/8-9 où, parallèlement au recul de tous les autres arbres, *Alnus* et, dans une moindre mesure, *Fraxinus* atteignent leur optimum. C'est pourquoi nous rapportons ces trois spectres polliniques au Melisey I, dont l'étude microfaunique à la Grotte Scladina a récemment montré le caractère non seulement froid mais encore très humide (Cordy, 1992). L'histoire de la végétation enregistrée dans les deux séries peut alors être résumée comme suit. La croissance des spéléothèmes débute dans un environnement forestier dominé par *Betula* (31,7 %) et *Pinus* (8,4 %) auxquels sont associés *Quercus* (6,2 %), *Corylus* (6,0 %), *Alnus* (4,5 %), *Carpinus* (4,1 %), *Salix* (3,1 %), *Fagus* (3,1 %), et *Fraxinus* (1,8 %), cependant qu'est attestée la présence très discrète de *Hedera* (3,5 %),



**Figure 2** Chronologie de H-St-33. En abscisse, les âges sont exprimés en milliers d'années, en ordonnée, on a représenté les échantillonnages et les longueurs. Les deux espaces horizontaux hachurés visualisent les ruptures sédimentaires. En haut, nous avons dessiné la courbe climatique d'après Martinson *et al.* (1987).

Chronology of H-St-33, Ages in thousand years versus length and samples. The two horizontal spaces with vertical lines show the sedimentary ruptures. Above, is drawn the climatic curve after Martinson *et al.* (1987).

*Abies* (0,4 %), *Ilex* (0,4 %) et *Viscum* (0,2 %). Cette croissance se poursuit au cours d'une phase climatique plus froide et très humide, entraînant un recul forestier généralisé, l'extension de *Alnus* (6,4 %) en bordure de la Lesse et de ses affluents, et celle de *Sanguisorba officinalis* (5,7 %) dans les plaines alluviales. La croissance pléistocène des deux séries stalagmitiques se termine enfin dans un environnement à nouveau forestier encore dominé par *Betula* (22,5 %), mais où *Quercus* (15,5 %) l'emporte sur *Pinus* (13,2 %), toujours accompagnés par *Alnus* (6,3 %), *Corylus* (6,0 %), *Fagus* (4,9 %), *Fraxinus* (3,2 %), *Salix* (2,5 %) et *Carpinus* (2,1 %), mais en l'absence des taxons franchement thermophiles (*Hedera*, *Ilex* et *Viscum*).

### CONCLUSION

L'analyse pollinique conduit donc à distinguer trois périodes climatiques : deux phases forestières séparées par une phase climatique intermédiaire humide et froide. La lithologie calque ces variations : le faciès de la couche située entre 18 et 12 cm exprime un net ralentissement de croissance qui correspond à la dégradation climatique. La chronologie U/Th situe cette séquence dans le stade isotopique 5, le changement de faciès daté entre 109 et 113 000 ans situant le sous-stade 5.4 (Martinson *et al.*, 1987). On peut ainsi attribuer les deux phases forestières respectivement au sous-stade isotopique 5.5 (Eemien s.s.) et 5.3 (Saint-Germain I) défini dans

**Tableau II** Pourcentages atteints par les principaux taxons reconnus dans les spectres polliniques "globaux" de H-St-20 et H-St-33.

Percentage of the principal taxa recognized in the "global" pollen spectra of H-St-20 and H-St-33.

Spéléothèmes ↓ Taxons ⇄ / Échantillons ↓	H-St-20			H-St-33		
	2-7	8-9	10-16	1-3	4	5-8
<i>Betula</i> .....	14,1	9,0	23,7	30,6	24,2	44,2
<i>Pinus</i> .....	9,5	5,2	12,2	15,3	0,8	2,6
<i>Quercus</i> .....	17,6	3,8	5,4	4,6	3,3	7,4
<i>Corylus</i> .....	5,2	4,8	7,4	5,1	5,0	3,7
<i>Alnus</i> .....	7,1	10,0	4,1	2,1	-	5,3
<i>Carpinus</i> .....	0,6	0,5	2,7	4,2	1,7	6,3
<i>Fagus</i> .....	5,8	1,4	3,4	0,8	-	2,6
<i>Salix</i> .....	1,4	0,9	1,7	3,8	1,7	5,3
<i>Fraxinus</i> .....	1,6	1,9	0,7	5,1	1,7	3,7
Autres arbres .....	2,5	2,5	4,8	1,6	-	2,0
AP/T .....	65,4	40,0	66,1	73,2	38,4	83,1
Poacées .....	13,1	9,0	17,6	9,4	9,2	8,4
Cichoriées .....	3,8	33,8	1,3	0,4	3,3	-
Anthémidiées .....	3,4	3,3	1,7	1,3	18,3	-
Apiacées .....	2,0	2,4	-	6,4	0,8	1,6
Filicales monolètes .....	2,6	1,4	4,4	1,7	0,8	0,5
<i>Artemisia</i> .....	1,8	1,4	-	2,1	1,7	1,0
<i>Sanguisorba officinalis</i> .....	-	-	-	-	15,8	-
Autres herbacées .....	7,8	8,7	8,9	5,5	11,7	5,3
NAP/T .....	34,5	60,0	33,9	26,8	61,6	16,8
Somme pollinique .....	495,0	210,0	295,0	235,0	120,0	190,0
<i>Hedera</i> .....	0,2	-	5,4	-	-	0,5
Sous-stades isotopiques .....	5.3	5.4	5.5	5.3	5.4	5.5

la séquence de la Grande Pile (Woillard, 1978), tandis que la phase climatique intermédiaire humide et froide se localise au sous-stade isotopique 5.4 (Melisey I). Notons que le sous-stade 5.3 montre, comme le sous-stade

5.5, une dynamique nettement forestière, bien que moins thermophile. Cette étude sur une série stalagmitique démontre l'efficacité des spéléothèmes pour l'approche paléoclimatique.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ATKINSON, T. C., HARMON, R. S., SMART, P. L. et WALTHAM, A. C., 1978. Paleoclimatic and geomorphic implications of  $Th^{230}/U^{234}$  dates on speleothems from Britain, *Nature*, 272, p. 24-28.
- BASTIN, B., 1978. L'analyse pollinique des stalagmites : une nouvelle possibilité d'approche des fluctuations climatiques du Quaternaire, *Ann. Soc. Géol. Belg.*, 101, p. 13-19.
- BASTIN, B., 1982. Premier bilan de l'analyse pollinique de stalagmites holocènes en provenance de grottes belges, *Rev. Belg. Géogr.*, 106, 1, p. 87-97.
- BASTIN, B., 1990. L'analyse pollinique des concrétions stalagmitiques : méthodologie et résultats en provenance des grottes belges, *Karstologia Mémoires*, 2, p. 3-10.
- BASTIN, B., DUPUIS, C. et QUINIF, Y., 1982. Étude microstratigraphique et palynologique d'une croûte stalagmitique de la grotte de la Vilaine Source (Arbre, Belgique). Méthodologie et résultats, *Rev. Belg. Géogr.*, 106, 1, p. 109-120.
- BASTIN, B. et GEWELT, M., 1986. Analyse pollinique et datation  $^{14}C$  de concrétions stalagmitiques holocènes : apports complémentaires des deux méthodes, *Géogr. Phys. et Quat.*, XL, 2, p. 186-196.
- BEHRE, K. E., 1989. Biostratigraphy of the Last Glacial Period in Europe, *Quaternary Science Reviews*, 8, p. 24-44.
- CANTILLANA, R., QUINIF, Y. et MAIRE, R., 1986. Uranium-thorium dating of stalagmites applied to study the Quaternary of the Pyrenees (France) : the

- example of the "Gouffre de la Pierre Saint-Martin", *Chemical Geology*, 57, p. 137-144.
- CORDY, J.-M., 1992. Bio- et chronostratigraphie des dépôts quaternaires de la Grotte Scladina (Province de Namur, Belgique) à partir des micromammifères, *Études et Recherches Archéologiques de l'Université de Liège*, 27, p. 79-125.
- DUPLESSY, J.-C., LALOU, C., DELIBRIAS, G. et NGUYEN, H. V., 1972. Datations et études isotopiques de stalagmites. Applications aux paléotempératures, *Ann. Spéleol.*, 27, 3, p. 455-464.
- GASCOYNE, M., 1977. Uranium series dating of speleothems: analytical procedure, *Tech. Mem.*, Dep. Geol., McMaster Univ., Toronto, Ont.; n° 77-5.
- GASCOYNE, M. et FORD, D. C., 1984. Uranium series dating of speleothems, part II. Results from the Yorkshire Dales and implications for cave development and quaternary climates, *Cave Science*, 11, 2, p. 65-85.
- GORDON, D., SMART, P. L., FORD, D.C., ANDREWS, J. N., ATKINSON, T. C., ROWE, P. et CHRISTOPHER, N. S. J., 1989. Dating of late Pleistocene Interglacial and Interstadial Periods in the United Kingdom from Speleothems Growth Frequency, *Quat. Res.*, 31, p. 14-26.
- HARMON, R. S., FORD, D. C. et SCHWARCZ, H. P., 1977. Interglacial chronology of the Rocky and Mackenzie Mountains based upon  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  dating of calcite speleothems, *Can. J. Earth Sci.*, 4, p. 2543-2552.
- HARMON, R. S., THOMPSON, P., SCHWARCZ, H. P., et FORD, D. C., 1975. Uranium series dating of speleothems, *Natl. Speleol. Soc. Bull.*, 37, 2, p. 21-33.
- IVANOVITCH, M., LATHAM, A. G. et KU, T.-L., 1992. Uranium-series disequilibrium in geochronology, in: IVANOVITCH M. et HARMON R. S., éd., *Uranium series disequilibrium - Applications to environmental problems*, Clarendon, Oxford, p. 62-94.
- LI, W. X., LUNDBERG, J., DICKIN, A. P., FORD, D. C., SCHWARCZ, H. P., MCNUTT, R. et WILLIAMS D., 1989. High-precision mass-spectrometric uranium-series dating of cave deposits and implications for palaeoclimate studies, *Nature*, 339, p. 534-536.
- MARTINSON, D. G., PISIAS, N. G., HAYS, J. D., IMBRIE, J., MOORE, T. C. et SHACKLETON, N. J., 1987. Age dating and the orbital theory of ice ages: development of a high resolution 0 to 300 000-years chronostratigraphy, *Quat. Res.*, 27, p. 1-29.
- PONS, A., GUIOT, J., de BEAULIEU, J. L. et REILLE, M., 1992. Recent Contributions to the Climatology of the Last Glacial-Interglacial Cycle Based on French Pollen Sequences, *Quaternary Science Reviews*, 11, p. 439-448.
- QUINIF, Y., 1990. La datation des spéléothèmes (U/Th) appliquée aux séquences sédimentaires souterraines pour une mise en évidence des ruptures paléoclimatiques, *Karstologia Mémoires*, 2, p. 23-32.
- QUINIF, Y., 1991 a. La série stalagmitique de la Galerie des Verviétois (Han-sur-Lesse, Belgique), *Speleochronos*, 3, p. 29-44.
- QUINIF, Y., 1991 b. La courbe de croissance interpolée, *Speleochronos*, 3, p. 11-16.
- QUINIF, Y., 1992. Datation uranium/thorium d'une séquence stalagmitique du Pléistocène supérieur du Languedoc (Le couloir blanc - Grotte de Clamouse), *C. R. Acad. Sci. Paris*, 314, série II, p. 1035-1042.
- QUINIF, Y. et BASTIN, B., 1986. Le système karstique de Han-Sur-Lesse (Belgique), *Actes 9<sup>e</sup> Cong. Int. Espeleol.*, Barcelona, 1, p. 158-161.
- WOILLARD, G., 1978. Grande Pile Peat Bog : A Continuous Pollen Record for the Last 140,000 Years, *Quat. Res.*, 9, p. 1-21.
- ZAGWIJN, W. H., 1989. Vegetation and Climate During Warmer Intervals in the Late Pleistocene of Western and Central Europe, *Quaternary International*, 3/4, p. 55-67.