

ETUDE D'UNE COUPE DANS LES SEDIMENTS QUATERNAIRES DE LA GROTTÉ DE LA VILAINE SOURCE (ARBRE, BELGIQUE)¹

par

Yves QUINIF², Christian DUPUIS², Bruno BASTIN³ & Etienne JUVIGNE⁴

(7 figures et 1 tableau)

RESUME.- L'étude pluridisciplinaire d'une coupe dans la grotte de la "Vilaine Source" a permis d'établir la corrélation entre une séquence sédimentaire karstique et une échelle stratigraphique régionale. Cette approche a montré la complexité du fonctionnement de cette galerie au cours d'une partie du Vistulien, essentiellement en conditions pléni-glaciaires.

ABSTRACT.- The interdisciplinary study of a section in the "Vilaine Source" cave has resulted in the correlation between a sedimentary karst sequence and the regional stratigraphic succession. This approach has allowed an appreciation of the complex evolution of this gallery during part of the Vistulian, i.e. essentially under pleniglacial conditions.

1. INTRODUCTION

Mis à part quelques travaux prometteurs (BLANC, 1972; BLANC & CHAMLEY, 1975), et exception faite d'études strictement karstologiques (CAVILLE, 1960; RENAULT, 1968), les remplissages karstiques n'ont que peu retenu l'attention des géologues du Quaternaire.

Depuis la publication d'un article dans lequel nous insistions sur l'intérêt de tels dépôts (BASTIN, DUPUIS & QUINIF, 1977), nous avons poursuivi nos recherches dans plusieurs grottes belges. La grotte de la "Vilaine Source", récemment découverte par les spéléologues de la Société Spéléologique de Namur (5), nous a permis d'accéder à d'importantes accumulations sédimentaires, dans un excellent état de conservation. Les premiers résultats de l'approche pluridisciplinaire d'une des coupes pratiquées dans cette cavité font l'objet du présent article.

2. CONTEXTE KARSTIQUE (fig. 1)

La grotte d'Arbre est un drain encore partiellement actif, pénétrable à proximité de sa résurgence connue sous le vocable de "Vilaine Source" (QUINIF, 1978). Elle se développe en un couloir long de quelque 900 m, et appartient à la partie aval d'un réseau karstique du type "chantoir-résurgence" (QUINIF, 1977). Dans un tel type de réseau, les ruisseaux descendant de hauteurs constituées de roches imperméables (grès, arkoses, schistes), vers un vallon subséquent creusé dans le calcaire, s'infiltrant à la faveur de "chantoirs" :

perles massives pénétrables ou non. Sous terre, tous les ruisseaux confluent pour former une rivière souterraine, que l'on suit, en l'occurrence, dans la partie amont de la cavité.

Plusieurs coupes ont été dégagées dans des témoins de colmatage, aisément accessibles en raison du faible développement de leur recouvrement stalagmitique. Nous exposons dans le présent article les principales données relatives à la coupe dont la situation est donnée à la figure 1.

3. DESCRIPTION DE LA COUPE

3.1.- ETAT NATUREL (fig. 2)

La progression dans la galerie est rendue possible par un recusement qui entaille, sur plusieurs mètres

1 Manuscrit déposé le 26 septembre 1979. Communication présentée le 6 novembre 1979.

2 Faculté Polytechnique de Mons, Laboratoire de Minéralogie, 9, Rue de Houdain, B-7000 Mons.

3 Université de Louvain, Laboratoire de Palynologie et de Phytosociologie, 4, Place Croix du Sud, B-1348 Louvain-la-Neuve.

4 Université de Liège, Laboratoire de Géomorphologie et de Géologie du Quaternaire, 7, place du XX Août, B-4000 Liège.

(5) Nous tenons à remercier la S.S.N. pour les grandes facilités d'accès qu'elle nous a accordées, ainsi que pour l'aide qu'elle nous a apportée lors de la réalisation de cette étude.

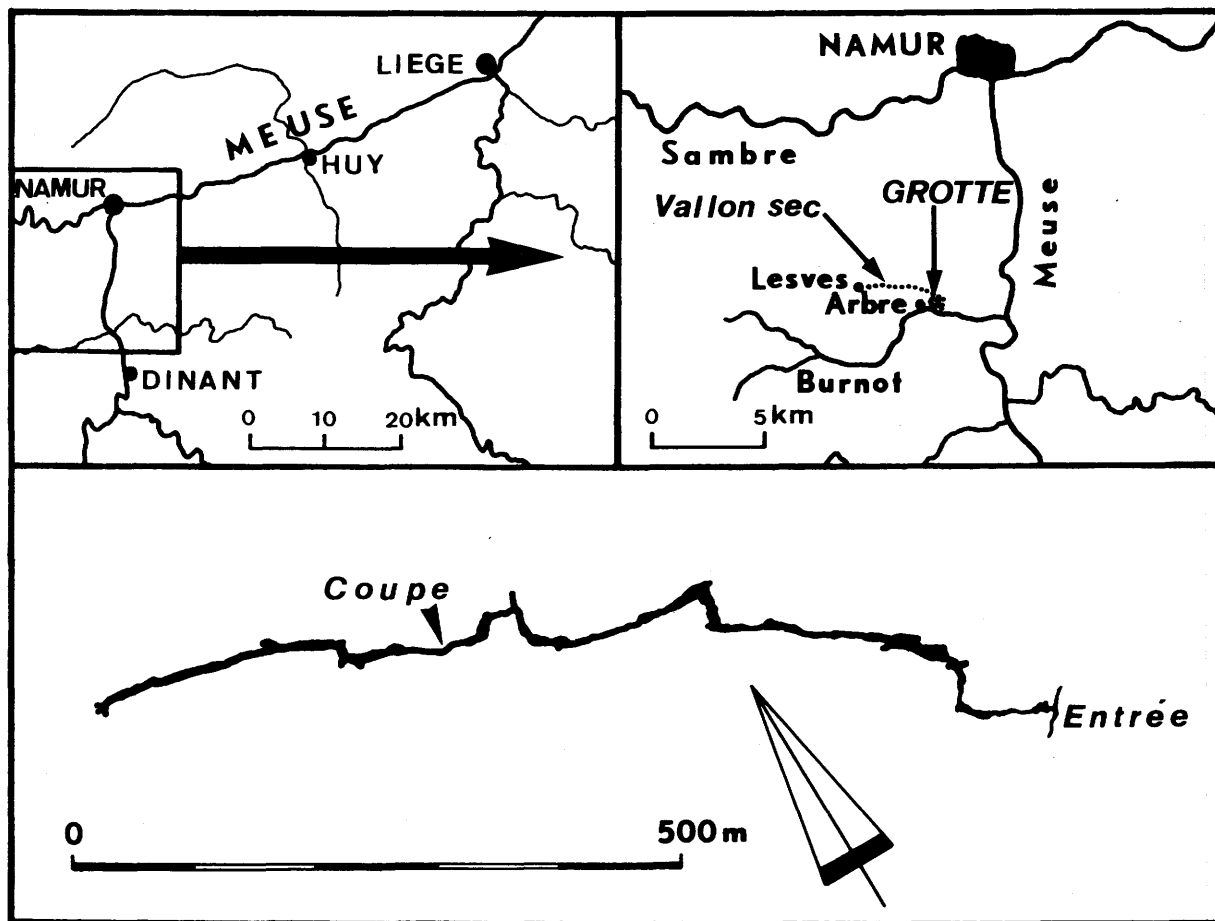


Figure 1.- Localisation de la grotte de la "Vilaine Source" et situation de la coupe étudiée dans la cavité.

de profondeur et de largeur, un colmatage essentiellement détritique.

Des témoins de sédiments, épargnés par l'érosion, subsistent çà et là sous forme de petits massifs aux flancs plus ou moins redressés. Le sol de la galerie est constitué de sédiment, l'incision n'ayant pas atteint le bed-rock. Tout au plus a-t-elle localement dégagé le sommet d'un éboulis de blocs calcaires, sur lequel nous avons buté lors du dégagement des coupes. Ce recreusement témoigne d'un fonctionnement récent de la galerie, sous l'influence d'une crue de la rivière. De nombreuses stalagmites scellent ce dispositif morpho-sédimentaire.

3.2.- APPROCHE LITHOSTRATIGRAPHIQUE (fig. 3)

Dans la coupe étudiée, les arrêts de sédimentation ou les recreusements permettent d'individualiser 5 unités, que nous décrivons de bas en haut.

L'unité 1 noie les blocs très hétérométriques de l'éboulis qui semble présent dans la plus grande partie de la cavité (calcaire frasien parfois recouvert de stalagmites, fragments basculés et brisés de gros massifs stalagmitiques anciens). Des limons plus ou moins argileux à stratification confuse succèdent à des sables grossiers, mal visibles entre les blocs. Le sommet des limons est jalonné par des concrétions remaniées, principalement des stalactites; une stalagmite a aussi été prélevée plus bas.

La sédimentation de l'unité 2 s'organise globalement dans le sens d'une granulométrie croissante. Elle débute par de petits chenaux remplis d'un limon entrecoupé de minces strates plus argileuses, qui incisent légèrement le niveau sous-jacent. Les dépôts se poursuivent par une couche d'argile finement stratifiée, puis deviennent limoneux et enfin franchement sableux. La stratification présente alors souvent une allure en-

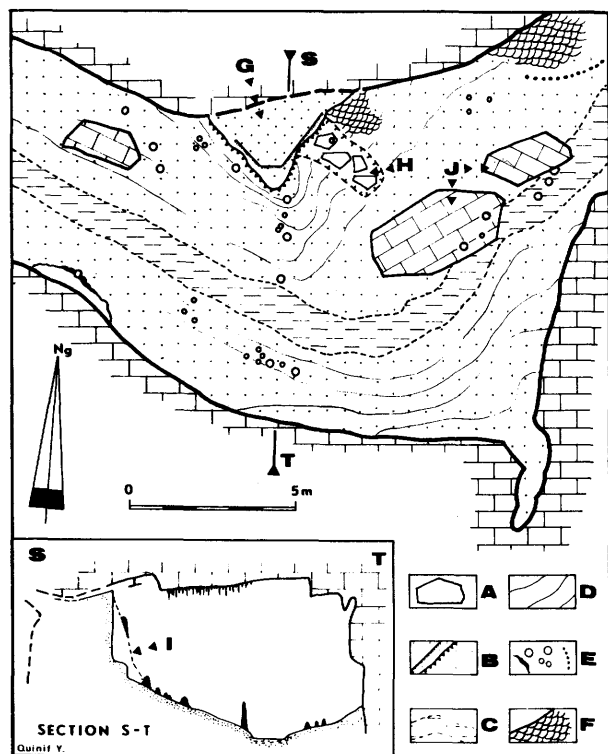


Figure 2.- Plan et section de la galerie aux environs de la coupe.

tre croisée. Des fragments indéterminables de coquilles y ont été observés, ainsi que quelques "poupées" calcaires.

L'unité 3 recouvre une profonde incision des sables sous-jacents. Une mince couche de limon sableux, surmontée par une alternance de fines strates d'argile et de limon, en occupe la partie basale. Au-dessus, le limon devient poudreux et prend plus d'importance, pour constituer des lits réguliers séparés par des films argileux. La disposition de la stratification, parallèle à l'incision et discordante sur le litage des sables sous-jacents, exclut un dépôt en relation avec une crue dans la galerie. Il faut plutôt admettre une distribution lente et régulière de sédiments sur la surface incisée, comme le confirme l'interprétation hydrodynamique des données granulométriques (4.2). L'allure générale des couches, proche d'un cône dont les génératrices convergent vers le débouché d'un conduit affluent, amène à reconnaître la provenance latérale du sédiment.

L'unité 4 est encore limoneuse, mais tranche par l'allure désordonnée de sa stratification. Des traces de fentes de dessiccation s'observent fréquemment et expliquent en grande partie cette particularité. Un semis de

- A. Blocs éboulés de la base de la coupe.
- B. Témoin du remplissage limono-sableux avec le talus (trait à grosses barbelures) limitant le massif de sédiments (G) et situation de la coupe (trait à fines barbelures).
- C. Incision du fond du recreusement principal, à circulation temporaire.
- D. Courbes de niveau approximatives (équidistance : 1 m), suggérant l'allure des pentes.
- E. Concrétions stalagmitiques. Successivement de gauche à droite : coulée sur paroi, stalagmites, stalactites.
- F. Plancher stalagmitique.
- G. Massif de sédiments, témoin de la partie haute du colmatage de la galerie.
- H. Fossé creusé jusqu'à un lit de blocs éboulés, prolongeant la coupe étudiée vers le bas.
- I. Etat du talus avant le dégagement de la coupe.

La section S-T montre le recreusement tardif qui a emporté une grande partie des sédiments détritiques constituant le colmatage de la galerie. Le talus étudié correspond à la rive convexe d'un méandre du recreusement. Près du massif de sédiments, un fragment de plancher stalagmitique est resté attaché à la voûte par une colonnette. Il visualise la surface supérieure du colmatage. Enfin, quelques gros blocs probablement éboulés (J) gisent dans le creux du recreusement principal.

stalactites plus ou moins brisées souligne le sommet du dépôt.

L'unité 5, dont l'épaisseur est très faible, couronne les témoins de remplissage dans toute la grotte. On y reconnaît, de bas en haut, la succession d'une argile brune rubannée, d'une couche de sable limoneux à galets d'argile sans stratification, et d'un liseré de limon sableux gris lité. De petites stalagmites, non fonctionnelles et peut-être anciennes, scellent la coupe.

Au terme de cette description, deux ensembles détritiques peuvent être reconnus dans la coupe. Le premier ensemble groupe les unités 1 et 2. Il a, de par la disposition globalement horizontale des couches et la présence de lits à stratification entrecroisée et de niveaux sableux, un caractère fluviatile et une origine longitudinale. En d'autres termes, il est à relier à un transit provenant des pertes, et correspond à des dépôts de crues de la rivière souterraine. Le second ensemble réunit les unités 3, 4 et 5, et comporte surtout des sédiments fins, très régulièrement et très finement stratifiés. Ces caractères, joints à la disposition des strates (structure en cône dépendant d'un événement, discordance), indiquent une origine latérale par ruissellement lent.

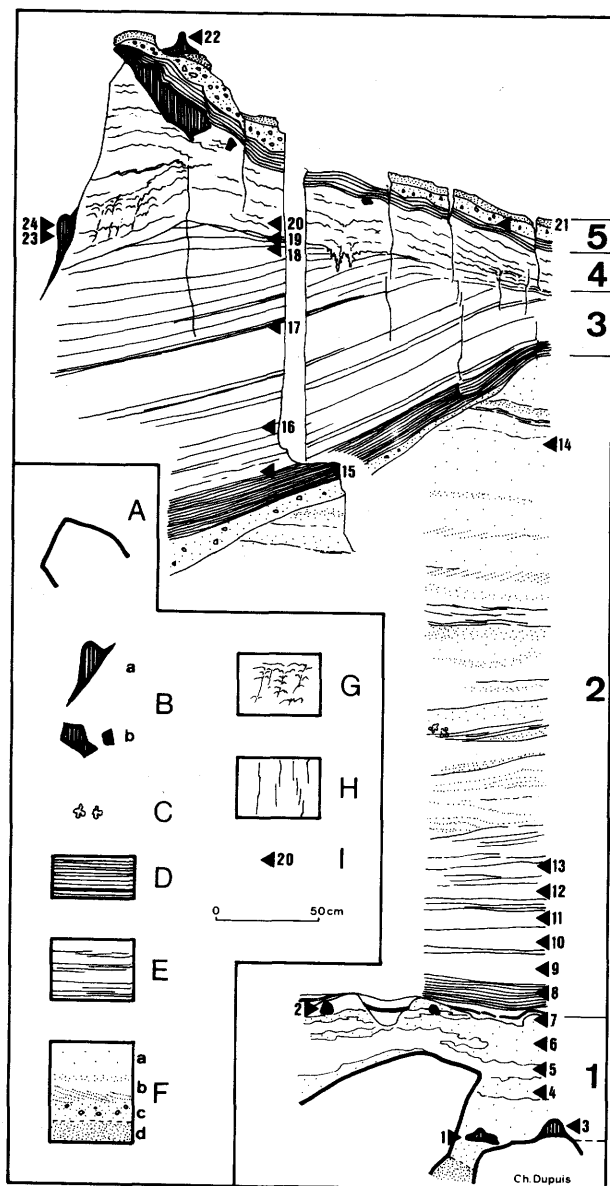


Figure 3.- Description de la coupe et situation des spectres polliniques obtenus. Les numéros des unités détritiques distinguées sont portés sur la partie droite de la figure.

- A. Blocs éboulés de calcaire frasnien.
- B. Stalagmites en place (a) et fragments de stalagmites et de stalactites remaniés (b).
- C. "Poupées" calcaires.
- D. Argile litée plus ou moins limoneuse.
- E. Limon à lits argileux.
- F. Limon sableux (a), sable plus ou moins limoneux (b), limon sableux à galets d'argile et de limon (c), sable (d).

Ainsi, la coupure entre les deux ensembles détritiques est-elle à mettre en relation avec un changement du mode d'introduction des sédiments dans le réseau karstique. Une telle modification, probablement consécutive à un engorgement des chantoirs, doit être sous la dépendance de la quantité d'eau disponible dans le bassin versant. On notera enfin que l'importance des recreusements et ravinements est, d'une autre manière, elle aussi une image de la quantité d'eau intervenue au cours des phases d'érosion.

4. APPROCHE SEDIMENTOLOGIQUE ET MINERALOGIQUE

4.1.- GRANULOMETRIE ET ORIGINE DES SEDIMENTS

Les analyses ont été effectuées par tamisage au-dessus de $74 \mu\text{m}$, et par sédimentation en-dessous. Dans ce dernier cas, les mesures ont été faites à l'hydromètre.

Le mode le plus important se situe dans chaque cas aux environs de $30 \mu\text{m}$; il est caractéristique de limons d'origine éolienne.

Dans les unités 3 et 4, aucune contamination des limons par des matériaux locaux n'est perceptible dans les courbes granulométriques.

Dans les niveaux supérieurs de l'unité 2, la fraction sableuse (70 à $1000 \mu\text{m}$) varie entre 20 et 57% , avec un mode variable compris entre 100 et $200 \mu\text{m}$. Son origine doit sans doute être recherchée dans les sables tertiaires de la région.

Dans l'unité 1, la contamination des limons d'origine éolienne par les sables est très faible.

Les sables grossiers au contact de l'éboulis sont les plus mal classés; la fraction supérieure à $70 \mu\text{m}$ en constitue 65% ; le plus gros élément mesure 3 mm .

Les couches argileuses de la base des unités 2 et 3 fournissent des sédiments très fins présentant un mode aux environs de $20 \mu\text{m}$.

G. Fentes de dessiccation.

H. Fractures parfois calcifiées découpant la partie supérieure du témoin de sédiments.

I. Situation d'un spectre pollinique.

4.2.- INTERPRETATION HYDRODYNAMIQUE (fig. 4)

L'interprétation hydrodynamique a été menée en utilisant la méthode de Passega (PASSEGA, 1964). Cet auteur a montré que la plus grande partie de l'information hydrodynamique d'une analyse granulométrique est contenue dans la combinaison de 2 grandeurs : le 1er centile et la médiane. L'étude de très nombreux sites sédimentaires actuels a permis à l'auteur d'élaborer un diagramme interprétatif synthétique.

Appliquée aux sédiments de la Grotte de la "Vilaine Source", cette méthode nous conduit aux interprétations suivantes.

L'unité 1 montre une séquence positive traduisant une diminution progressive de la capacité de transport, avec néanmoins une rupture entre un régime relativement capacitif pouvant partiellement entraîner les suspensions ainsi que des grains plus lourds par roulement, et un écoulement beaucoup plus lent se terminant sur des conditions de décantation totale.

La base de l'unité 2 débute par un dépôt trahissant des conditions de décantation quasi-totale. Les autres échantillons témoignent soit de dépôts de suspension gradée (la charge dépasse la capacité de transport), soit de dépôts de suspension uniforme (fin de crue). A l'exception de l'argile de base, l'absence de dépôt en décantation totale prouve que les écoulements ont toujours eu une énergie assez forte.

Les unités 3, 4 et 5 groupent des sédiments allant de dépôts de suspension uniforme à des dépôts de décantation totale. Aucun courant concentré ne s'est jamais manifesté durant ces phases.

L'ensemble des données souligne la forte opposition entre les dépôts des unités 1 et 2, trahissant un débit relativement important, et ceux des unités 3, 4 et 5, sédimentés dans des conditions d'écoulement très faible.

4.3.- ETUDE DES MINERAUX DENSES

4.3.1.- Association minéralogique de la fraction 30 - 60 μm

L'étude de cette classe granulométrique est justifiée par deux raisons fondamentales.

- Elle est largement dominante, même dans le niveau le plus grossier (base de l'unité 1); elle contient 95 % du nombre des minéraux denses de plus de 30 μm .
- Elle permet une corrélation avec les résultats d'intérêt stratigraphique obtenus dans les loess de Moyenne Belgique (JUVIGNE, 1978).

Les préparations ont été effectuées par une méthode de centrifugation dans le bromoforme (JUVIGNE, 1974 & 1979). Les résultats des déterminations sont rassemblés dans le tableau 1.

Tableau 1.- Minéraux denses, exprimés en %

4	29	5	3	—	—	16	25	7	1	—	14	1,0
3	25	8	6	—	—	16	26	7	1	—	11	1,1
2	28	9	3	1	—	15	30	6	—	1	7	1,2
2	29	8	7	2	—	17	22	5	—	2	8	0,8
1	23	6	6	—	—	15	31	7	—	1	11	1,3
1	22	9	9	1	—	14	24	5	—	3	13	0,9
1 (base)	20	7	5	—	—	17	31	9	1	—	10	1,6

Unités	Zircon	Tourmaline	Rutile	Anatase	Brookite	Epidote	Hornblende verte	Grenat	Disthène	Sphère	Indéterminés	Hornblende verte + Grenat	Zircon + Rutile
--------	--------	------------	--------	---------	----------	---------	------------------	--------	----------	--------	--------------	---------------------------	-----------------

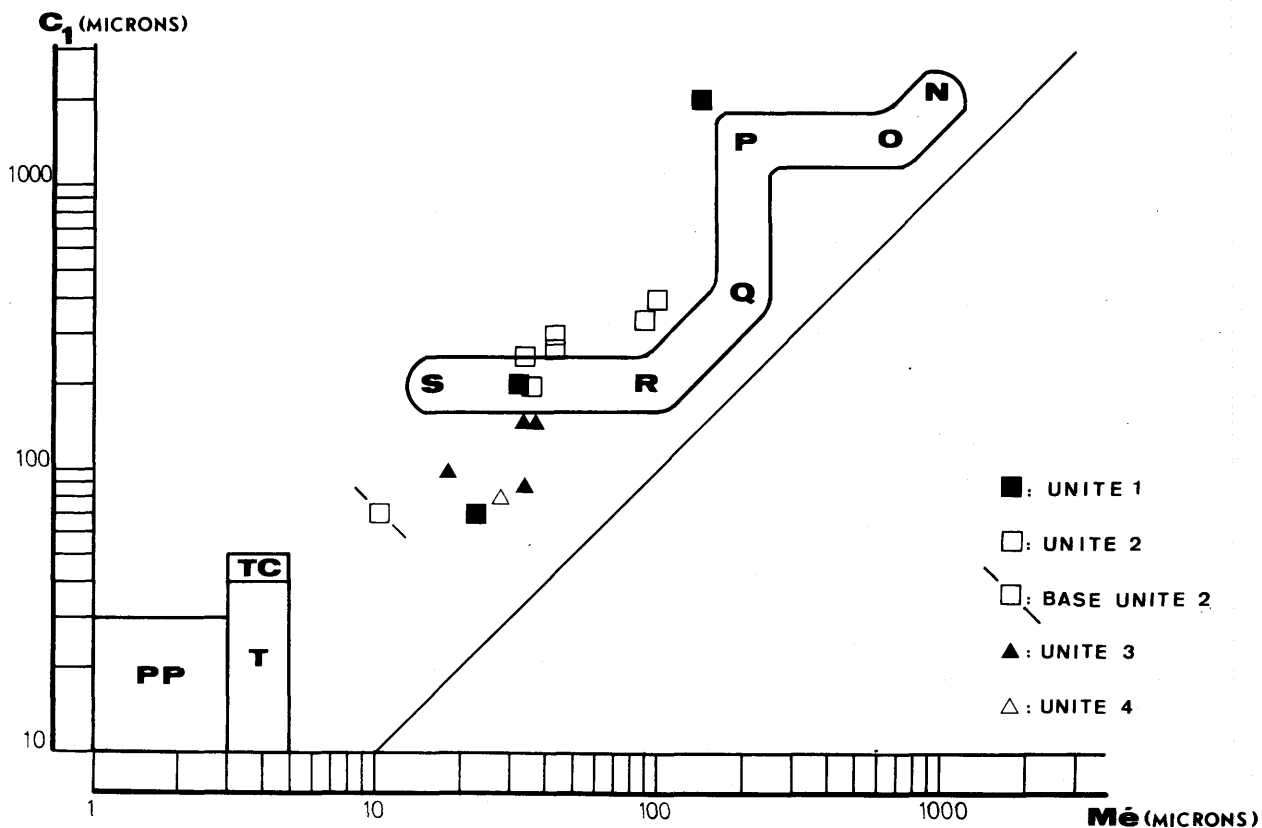


Figure 4.- Diagramme bilogarithmique du premier centile (C_1), en fonction de la médiane M_e (d'après PASSEGA, in RIVIERE, 1977).

L'étude synthétique de nombreux sites actuels a permis de distinguer plusieurs types de dépôts en fonction des conditions hydrodynamiques de sédimentation.

SR : dépôts de suspension uniforme trahissant une vitesse de fond trop faible pour produire un classement quelconque (ex. : dépôts de lits majeurs).

RQ : dépôts de suspension gradée apparaissant lorsque la charge dépasse la capacité de transport.

QP : dépôts de sédiments transportés par roulement, mais avec une part de suspension (courant pas encore assez capacitif).

PO : dépôts comprenant de plus en plus de grains roulés.

ON : dépôts dont seuls subsistent les éléments roulés, les suspensions étant totalement entraînées.

Les surfaces du coin inférieur gauche (*TC*, *T*, *PP*) correspondent à des dépôts très fins caractéristiques des zones pélagiques. Comme de nombreux points représentatifs des dépôts souterrains se distribuent dans une zone intermédiaire comprise entre *SR* et *TC*, nous les interprétons comme des dépôts réalisés dans des conditions de décantation totale : seuls les limons et argiles sont transportés et susceptibles de se déposer.

Le commentaire qui suit est basé sur une comparaison avec les résultats obtenus antérieurement dans les loess (JUVIGNE, 1978). D'une part, les pourcentages de hornblende verte, épidote et grenat sont semblables à ceux connus dans les loess vistuliens non contaminés par des sédiments locaux. D'autre part, le rapport "Hornblende verte + Grenat / Zircon + Rutile" est dans chaque cas supérieur à 0,6. Nous rappelons ici n'avoir obtenu aucune valeur supérieure à 0,6 dans des loess prévistuliens, et nous en concluons que les sédiments des unités 1 à 4 sont d'âge vistulien.

4.3.2.- Minéraux volcaniques

Cette recherche a été effectuée dans la fraction comprise entre 60 et 420 μm de 8 échantillons provenant de l'unité 1 et de la base de l'unité 2. Nous n'avons trouvé que deux minéraux dont l'origine volcanique est probable :

- un grain de hornblende brune dans l'échantillon n° 5 (fig. 3).
- un grain de pyroxène monoclinique (augite aciculaire) dans l'échantillon n° 8 (fig. 3).

Il n'est pas possible de rattacher avec certitude ces deux minéraux au tuf de Rocourt (JUVIGNE, 1977), mais leur position stratigraphique à la partie inférieure de loess vistuliens (4.3.1.) est favorable à la corrélation. Dans cette mesure, ils confirment l'âge vistulien de la séquence.

5. APPROCHE PALYNOLOGIQUE

5.1.- ECHANTILLONNAGE ET PREPARATION

Les sédiments détritiques de la coupe ont été échantillonnés sur toute leur hauteur à l'aide de boîtes en zinc de 30 cm (longueur) x 4 cm (largeur) x 4 cm (profondeur). Les monolithes ainsi prélevés ont été rapportés en laboratoire, où 33 échantillons répartis de 10 en 10 cm ont été préparés suivant une méthode de concentration des pollens précédemment décrite (BASTIN, 1971; BASTIN *et al.*, 1974). 18 échantillons ont fourni suffisamment de pollens et spores pour constituer un spectre pollinique : leur emplacement est situé sur la figure 3, sur laquelle on a également reporté la position de 5 concrétions stalagmitiques qui ont fourni 6 spectres polliniques, après avoir été préparées par une méthode récemment mise au point (BASTIN, 1978). Au total, les résultats de l'étude palynologique de la coupe découlent du dénombrement et de l'identification de 4.240 pollens et spores, répartis en 24 spectres polliniques.

5.2.- COMMENTAIRE DES SPECTRES POLLINIQUES

(fig. 5)

Spectre 3

Avec 56,5 % de pollens d'arbres, dont 16 % d'*Alnus*, 10 % de *Corylus* et 2 % de *Quercus*, ce spectre reflète des conditions climatiques à la fois tempérées et humides. Nous rapporterons donc la période de croissance de la concrétion qui a fourni ce spectre à une phase interstadiaire.

Spectres 4 à 14

Les 11 spectres qui ont été obtenus dans les sédiments détritiques mis en place par une circulation fluviatile sont assez homogènes. Ils sont caractérisés par la nette dominance des plantes herbacées (74 % en moyenne), parmi lesquelles il faut souligner d'une part la prédominance des *Cichoriées* (61 %), et d'autre part la présence régulière de *Selaginella selaginoides* (1,5 %). Ces faits traduisent incontestablement un climat pléniglaciaire, qui est également attesté par la dominance de *Pinus* (16 %) parmi les arbres.

On remarquera cependant que dans ces 11 spectres, il y a une courbe continue de *Corylus* (3 %), une courbe subcontinue d'*Alnus* (1,5 %), et une courbe discontinue de *Quercus* et d'*Ulmus* (tous deux 0,5 %), ce qui semble indiquer que ces arbres auraient pu se maintenir dans le vallon sec de Lesves, dans lequel des aires de refuge locales auraient été constituées par les chantoirs.

Rappelons alors que l'analyse pollinique des loess nous avait déjà amené à avancer l'hypothèse qu'au cours de la dernière glaciation, certaines vallées avaient pu servir d'aires de refuge locales à des taxons mésophiles, tels qu'*Alnus*, *Corylus*, *Quercus* et *Ulmus* (BASTIN, 1971). On aurait ici une confirmation de cette hypothèse.

Spectres 1 et 2

Les spectres des deux concrétions trouvées à l'état remanié à la base de la séquence détritique sont proches des spectres 4 à 14, et témoignent de ce que la formation de ces concrétions s'est faite sous un climat pléniglaciaire. Surprenant à première vue, ce résultat est cependant à mettre en relation avec des observations récentes faites dans les Montagnes Rocheuses au Canada, où FORD *et al.* (1976) ont observé la formation actuelle de concrétions dans une grotte située sous une langue glaciaire.

ARBRE, Grotte de la Vilaine Source

Sédiments et concrétions en place

Coupe 1, 1977-1978

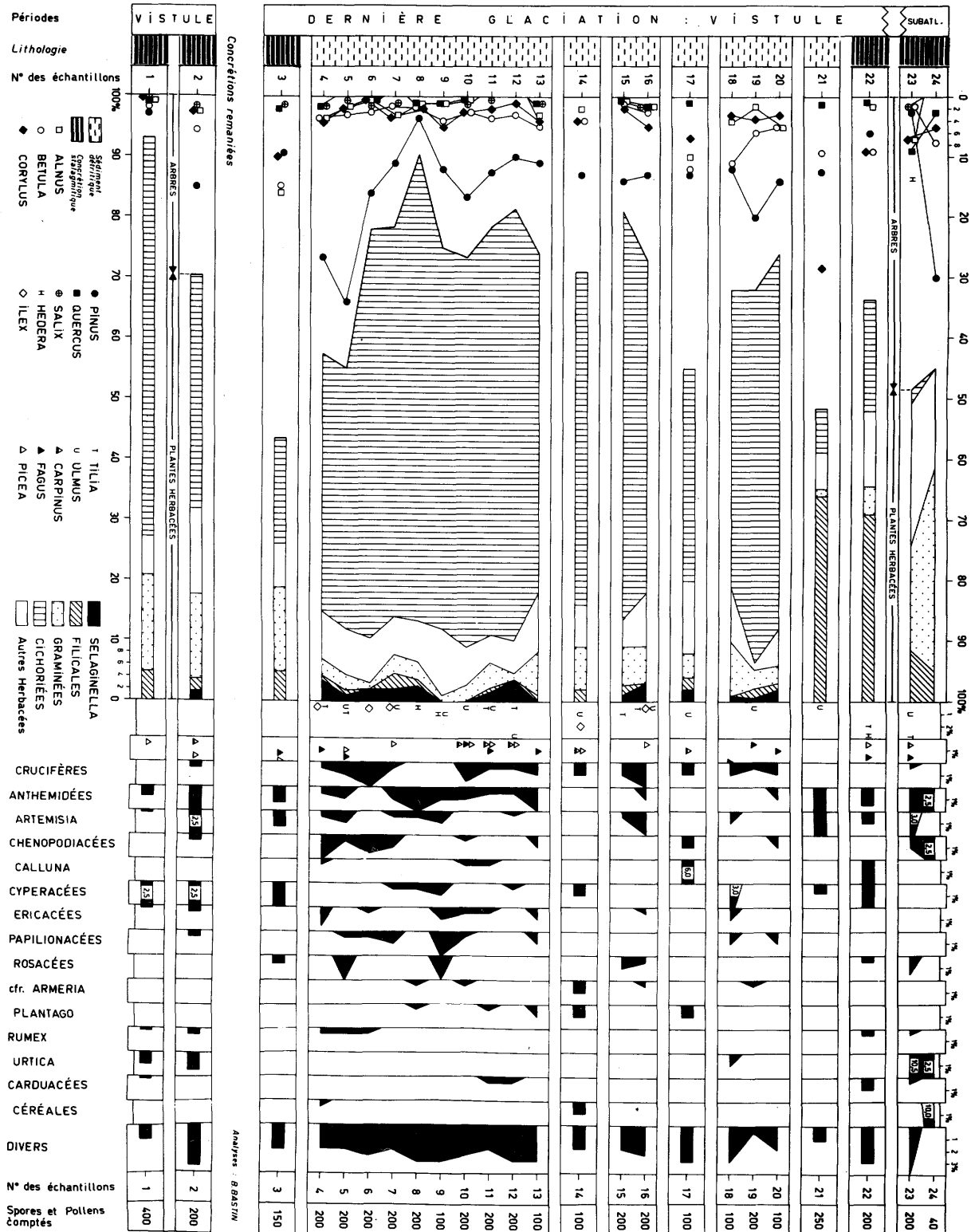


Figure 5.- Spectres polliniques obtenus dans la coupe. Leur localisation est donnée à la figure 3.

Spectres 15, 16 et 18 à 20

Ces spectres présentent les mêmes caractéristiques que les spectres 4 à 14, et seront également rapportés à une phase pléniglaciaire. La grande ressemblance de ces spectres, obtenus dans des dépôts détritiques mis en place par ruissellement, avec les spectres polliniques obtenus dans les sédiments mis en place par circulation fluviale, semble indiquer que le mode de transport n'affecte pas la composition des assemblages polliniques. On est donc tenté d'en déduire qu'il n'y a pas de distorsions dans les assemblages polliniques des sédiments détritiques étudiés. Il est donc probable que ces spectres donnent une image correcte de la végétation colonisant le massif calcaire dans lequel est creusé le réseau karstique auquel appartient la Grotte de la "Vilaine Source".

Spectre 17

Il est caractérisé par un plus fort pourcentage du total des arbres (45 ‰), dû à l'extension de *Betula* (12 ‰), *Alnus* (10 ‰) et *Corylus* (7 ‰). En outre, il contient 6 ‰ de pollens de *Calluna*, taxon calcifuge dont la présence ne peut s'expliquer que s'il y a eu en surface un processus de décalcification, ou une couverture limoneuse colonisée par la végétation. Ce spectre témoigne donc d'une phase d'amélioration climatique, et nous le rapporterons à une période interstadiaire.

Spectre 21

Il diffère nettement de tous les autres spectres obtenus dans les dépôts détritiques par les caractéristiques suivantes :

- la dominance des arbres (51,5 ‰);
- la prédominance de *Corylus* (28,5 ‰) parmi les arbres;
- la prédominance des *Filicales* (34 ‰) parmi les plantes herbacées;
- le faible pourcentage de pollens de *Cichoriées* (7 ‰).

Toutes ces caractéristiques permettent de rapporter ce spectre à une période interstadiaire.

Spectre 22

Ce spectre, obtenu dans la concrétion qui couronnait la séquence des dépôts détritiques, est assez proche du spectre 21, notamment par la prédominance des *Filicales* (31 ‰) parmi les plantes herbacées. Il en diffère cependant par le moins fort pourcentage des arbres (33,5 ‰), principalement dû à la forte régression de *Corylus* (9 ‰). On y note en outre une

légère réextension des *Cichoriées* (18,5 ‰) parmi les plantes herbacées. Nous interpréterons donc ce spectre comme le reflet d'une phase de péjoration climatique.

Spectres 23 et 24

Ces spectres ont été obtenus dans une stalagmite ayant pris naissance sur la surface du recouvrement final de la séquence des dépôts détritiques. La présence simultanée de *Hedera* (13,5 ‰), *Quercus* (9 ‰), *Tilia* (3 ‰), *Fagus* (1,5 ‰) et *Carpinus* (0,5 ‰) permet de rapporter le spectre 23 au Subatlantique. Cette interprétation est corroborée par la forte extension de *Pinus* (30 ‰) et des *Céréales* (10 ‰) dans le spectre 24, l'extension des pollens de Pin résultant de la plantation de Pineraies dans la région au XIX^e siècle, cependant que l'extension des pollens de Céréales reflète la mise en culture du plateau au sein duquel est creusée la Grotte de la "Vilaine Source".

5.3.- DISCUSSION SUR LA PRESENCE PROBABLE DE POLLENS REMANIES

Des 24 spectres polliniques que nous venons de commenter, 19 ont été considérés comme caractéristiques d'un climat froid, et nous avons avancé l'idée qu'il n'y avait pas dans ces spectres de distorsions dues au mode de mise en place des sédiments qui les avaient fournis, qu'il s'agisse de concrétionnement, de circulation fluviale longitudinale, ou de ruissellement latéral.

Il nous faut cependant signaler la présence dans 16 de ces spectres de taxons qui cadrent mal avec le caractère ouvert de la végétation mis en évidence dans ces spectres, à savoir :

- *Fagus*, présent dans 9 spectres froids, où il atteint en moyenne 1 ‰;
- *Tilia*, présent dans 7 spectres froids, où il atteint en moyenne 0,9 ‰;
- *Ilex*, présent dans 5 spectres froids, où il atteint en moyenne 0,8 ‰;
- *Carpinus*, présent dans 5 spectres froids, où il atteint en moyenne 0,6 ‰.

Il faut donc admettre que dans ces spectres, il existe néanmoins une légère distorsion, due à la présence de pollens probablement remaniés, dont le caractère sporadique et les faibles pourcentages qu'ils atteignent ne justifient cependant pas à nos yeux une remise en question de l'interprétation de ces spectres.

Comme de toute façon il n'existe actuellement pas de critère permettant de dire que tel pollen est remanié, alors que tel autre pollen ne le serait pas, nous

n'avons pas voulu passer sous silence la présence des pollens signalés ci-dessus. Il n'est pas impossible qu'un jour une explication, autre que celle du remaniement, soit donnée de la présence de ces pollens qu'actuellement nous avons qualifiés de "remaniés".

6. DISCUSSION

6.1.- REMARQUES PRELIMINAIRES

6.1.1.- Importance des hiatus dans l'enregistrement sédimentaire

Deux des unités sédimentaires (1 et 4) sont clôturées par un semis de stalactites fragmentées. Deux causes peuvent être avancées pour expliquer ces niveaux de fragments de concrétions. La première consiste à faire intervenir un séisme provoquant à un moment donné la chute des stalactites. Dans le cadre d'une telle hypothèse, il est difficile de justifier la position systématique des débris de stalactites au sommet des ensembles sédimentaires. Par ailleurs, des observations consécutives aux séismes récents semblent exclure de tels phénomènes. La seconde possibilité nous paraît plus proche de la réalité. Elle consiste à admettre une "pluie" de stalactites, continue mais non pas régulière, en relation avec la dynamique propre du concrétionnement. La concentration de stalactites brisées au sommet des unités révélerait un ralentissement ou un arrêt de la sédimentation. La cohérence palynologique entre les fragments de concrétions et le sédiment confirme à notre sens un tel point de vue en montrant une certaine simultanéité de la croissance du concrétionnement et de la sédimentation (5.2).

En corollaire, il apparaît que ces concentrations de stalactites brisées indiquent des périodes de ralentissement, puis d'arrêt de la sédimentation. En d'autres termes, chaque unité sédimentaire correspondrait à l'enregistrement dilaté d'un laps de temps probablement assez court. Il faut cependant ajouter que ces remarques valent plus pour les décharges détritiques de type fluvial longitudinal (unités 1 et 2), que pour les apports latéraux (unités 3, 4 et 5) à taux de sédimentation plus faible.

6.1.2.- Décalage entre le dépôt aérien et la resédimentation souterraine

Le mode de fonctionnement du karst conduit à penser que les sédiments introduits dans le réseau proviennent d'un échantillonnage "ponctuel" dans l'espace (chantoirs, fissures) et dans le temps (crues) des sédiments aériens présents dans le bassin versant.

Dès lors, estimer l'intervalle de temps qui sépare le dépôt en surface du redépôt en profondeur devient capital, tant pour l'interprétation des spectres polliniques, que pour l'établissement d'une hypothèse chronologique à partir des données lithostratigraphiques.

Pour l'unité 1, l'absence de distorsion entre les spectres polliniques des concrétions (issus directement de la surface) et ceux des sédiments hôtes (transitant par les pertes) milite en faveur de l'absence de décalage entre la sédimentation aérienne et souterraine. Pour les autres unités, il semble actuellement difficile d'étendre cette démarche, en raison notamment de l'absence quasi totale de concrétions remaniées au sein de ces unités.

6.2.- HYPOTHESE CHRONOLOGIQUE

6.2.1.- Arguments lithostratigraphiques, sédimentologiques et hydrodynamiques

La coupe étudiée recèle, entre les unités 1-2 d'une part, et les unités 3-4-5 d'autre part, une coupure majeure que l'on peut tenter de mettre en corrélation avec l'évolution climatique régionale.

Après l'incision qui entaille l'unité 2, et qui témoigne encore d'une circulation longitudinale, les apports de sédiments détritiques ne pénètrent plus que latéralement dans la cavité. On sait que parallèlement la quantité d'eau mise en oeuvre dans le réseau diminue (4.2). Ce changement de régime résulterait de l'engorgement des chantoirs par des sédiments que le cours d'eau ne parvient plus à débayer. Les précipitations, si faibles soient-elles, n'ont plus alors accès à la galerie que par de petits conduits affluents, qui vont d'ailleurs se colmater progressivement à leur tour. Le changement dans la dynamique du réseau semble devoir être relié à un assèchement du climat.

Compte tenu des résultats de l'étude des minéraux denses (4.3) nous sommes alors conduits à situer la coupure entre les unités 2 et 3 à la transition Vistule 2 - Vistule 3 (*sensu* JUVIGNE, 1976). Dans cette optique, on soulignera la concordance entre l'apparition de limon poudreux dans l'unité 3, et le fait que dans les grandes exploitations de limon de notre pays, le loess le plus homogène est toujours observé au-dessus du "Sol de Kesselt".

6.2.2.- Age des spectres polliniques interstadiers

L'étude palynologique de la coupe a permis d'y mettre en évidence une séquence climatique débutant par une première phase interstadière (spectre 3), se

poursuivant par deux phases pléni-glaciaires (spectres 1-2, 4 à 14, 15-16 et 18 à 20) entrecoupées par une seconde phase interstadière (spectre 17), et se terminant par une troisième phase interstadière (spectre 21).

Ayant rattaché au Vistule 2 les sédiments fluviaux des unités 1 et 2, nous sommes alors conduits à rapporter le spectre pollinique interstadière 3 qui leur est sous-jacent à l'interstade d'Odderade. Par un raisonnement similaire, nous rapporterons le spectre pollinique interstadière 21, obtenu au sommet des dépôts de ruissellement rattachés au Vistule 3, à l'une des oscillations précédant immédiatement le Tardiglaciaire, à savoir les oscillations de Laugerie, Lascaux et Angles-sur-l'Anglin. Quant au spectre pollinique interstadière 17, il faudrait le rapporter soit à l'oscillation d'Arcy, soit à l'oscillation de Kesselt. Soulignons cependant que chacune des trois phases interstadières mises en évidence par la palynologie n'est représentée que par un seul spectre pollinique, et que dès lors, l'interprétation chronologique que nous venons de proposer reste pour le moment largement hypothétique.

6.3.- EVOLUTION DE LA GALERIE (fig. 6 et 7)

La coupe étudiée s'inscrit dans le contexte de la grotte et, d'une façon générale, de la région (bassins versants du réseau de Lesves-Arbre). Dans cette optique, soulignons que nous avons accès, à l'aide de ces sédiments, à la partie terminale de l'évolution de la galerie. Cette dernière, déjà creusée, ayant subi un ensemble de phases colmatage-décolmatage, s'est vue une dernière fois progressivement colmatée puis déblayée, et c'est uniquement la dernière phase colmatage-décolmatage que nous explicitons par l'étude de la coupe.

Les dernières phases que nous dévoile la coupe sont les suivantes :

1. Mise en place d'un lit d'éboulis (I). Cet éboulement, semble-t-il, est généralisé à l'échelle de la galerie. Il peut avoir été provoqué par le décolmatage brutal d'un remplissage important, et des mises en charge hydrauliques suivies de décrues.
2. Un concrétionnement se développe sur les blocs éboulés (II). Il prouve la stabilité des blocs et l'absence d'écoulement fluvial permanent.
3. Un ensemble de sédiments détritiques se met en place par courant fluvial (III et IV). Il comprend une première "décharge" (III) suivie d'un arrêt de sédimentation que souligne un semis de stalactites brisées (IV). Cette séquence est légèrement incisée. Vient alors la seconde "décharge" (V) complexe.

Cette sédimentation témoigne de courants de type fluvial très chargés, dont la charge provient de l'abondance de débris dans le bassin d'alimentation. De plus, un fort débit est nécessaire à ce transport. Ces caractères correspondent à une phase climatique froide (pauvreté de la couverture végétale) à forte pluviosité (sans doute des débâcles dues aux fontes des neiges). La galerie se comble presque complètement.

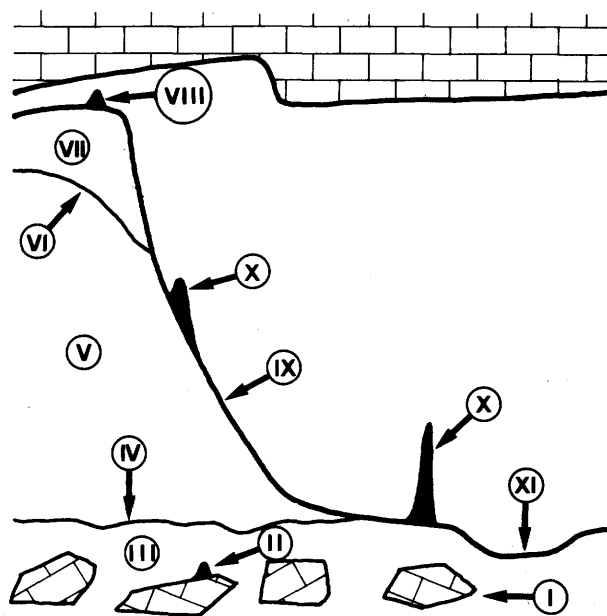


Figure 6.- Relations entre les phases d'évolution de la grotte de la "Vilaine Source" au cours de la dernière glaciation (voir aussi fig. 7).

- I : Eboulement.
 II : Concrétionnement.
 III, IV, V: Sédimentation fluviale longitudinale, comportant deux décharges détritiques successives, séparées par un léger ravinement (IV). Les stalagmites et stalactites remaniées témoignent de la persistance du concrétionnement.
 VI: Recreusement.
 VII : Sédimentation par ruissellement latéral. Persistance ou reprise (?) du concrétionnement.
 VIII : Concrétionnement soulignant le sommet du colmatage.
 IX: Décolmatage partiel.
 X : Concrétionnement stalagmitique actuel scellant le recreusement.
 XI: Circulations temporaires actuelles.

PHASES D'EVOLUTION		SEDIMENTOLOGIE — MINERAUX DENSES				PALYNOLOGIE	ESSAI DE CHRONOLOGIE
		CONC.	ORIGINE SED.	HYDRODYNAM. -EN. CROIS. →	HbV+G Z + R		
XI	CHENAL ACTUEL					50%	
X	CONCRETIONNEMENT						SUBATLANTIQUE
IX	RECREUSEMENT						
VIII	CONCRETIONNEMENT						
VII		?	REMAN LOCAL		1.0		ANGLES ? LASCAUX ? LAUGERIE ?
		?	EOLIEN PUR		1.1		
							ARCY-KESSELT ?
VI			EOLIEN + SABLES LOCAUX.		1.2		
		?				.8	
V							
IV							
III			EOLIEN UN PEU CONTAM. SAB. LOC.		1.3 .9 1.6		
II	CONCRETIONNEMENT						ODDERADE ?
I	EBOULIS						

Figure 7.- Synthèse des principaux résultats et interprétations.

CONC. : estimation de l'importance du concrétionnement.

ORIGINE SED.: origine du sédiment, à l'exception des niveaux argileux.

HYDRODYNAM. - EN. CROIS. : énergie maximum mise en jeu au cours du transport (en noir pour les dépôts, en hachuré pour les phases érosives). Echelle arbitraire suggérée par l'étude hydrodynamique (énergie croissante de gauche à droite).

HbV + G / Z + R : rapport de la somme Hornblende verte + Grenat sur la somme Zircon + Rutile.

PALYNOLOGIE : de gauche à droite, pourcentages des Feuillus, des Résineux et des Herbes.

4. Ce processus est suivi d'un creusement (VI) entaillant l'ensemble inférieur. Ce creusement a la forme d'une rigole d'au moins 50 cm de profondeur, méandrant au sommet de l'ensemble inférieur. Cette forme implique la reprise d'un écoulement, mais à plus faible débit et sans charge sédimentaire.
5. Le creusement se comble par de nouveaux dépôts (VII) constitués d'argiles et de limons poudreux, dont la disposition géométrique indique un apport latéral : c'est l'ensemble supérieur. Ces sédiments proviennent de faibles écoulements à la faveur de fissures. Ceci suppose un sol peu important, la présence d'une couverture meuble mobilisable (loess) et un climat froid et sec.
6. Un nouvel arrêt de la sédimentation détritique permet à un concrétionnement (VIII) de se développer.
7. Une reprise de l'écoulement fluvial longitudinal provoque le creusement "final" (IX), qui rend possible la progression dans la grotte. La pluviosité a donc augmenté, la charge devait être réduite.
8. L'évolution actuelle se marque par un très important concrétionnement (X) qui scelle le creusement IX et qui continue à se développer de nos jours. Des écoulements temporaires ont façonné le petit creusement (XI) et provoquent un remaniement superficiel des sédiments.

7. CONCLUSIONS

Notre étude a mis en évidence, pour la première fois à notre connaissance, le fonctionnement d'une galerie au cours d'une période pléiglaciaire. Ce fonctionnement se révèle être complexe, et sous la dépendance de l'humidité du climat. Ainsi, deux modes d'introduction des sédiments détritiques dans le réseau ont pu être mis en relation avec la quantité d'eau disponible dans le bassin versant (apport fluvial longitudinal, apport par ruissellement latéral).

D'un point de vue chronologique, la nature des minéraux denses présents dans les sédiments nous amène à situer la coupe dans le Dernier Glaciaire (Vistule). Quant à la rupture hydrodynamique observée dans la coupe, nous la situons entre le Vistule 2 et le Vistule 3.

Enfin, des hypothèses chronologiques plus fines sont proposées sur base des résultats de l'analyse pollinique de 24 échantillons répartis sur toute la hauteur de la coupe.

BIBLIOGRAPHIE

- BASTIN, B., 1971. Recherches sur l'évolution du peuplement végétal en Belgique durant la glaciation de Würm. *Acta Geographica Lovaniensia*, 9 : 136 p.
- BASTIN, B., 1978. L'analyse pollinique des stalagmites : une nouvelle possibilité d'approche des fluctuations climatiques du Quaternaire. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, 101 : 13-19.
- BASTIN, B., JUVIGNE, E., PISSART, A. & THOREZ, J., 1974. Etude d'une coupe dégagée à travers un rempart d'une cicatrice de pingo de la Brackvenn. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, 97 (2) : 341-358.
- BASTIN, B., DUPUIS, C. & QUINIF, Y., 1977. Preliminary results of the application of quaternary geological methods to speleogenetic studies of a Belgian cave. *Proceed. 7th Intern. Speleol. Congr.*, Sheffield, England : 24-28.
- BLANC, J.J., 1972. Recherches préliminaires sur la sédimentation argileuse dans les cavités du S-E de la France. *Ann. Spéléol.*, 27(2) : 317-328.
- BLANC, J.J. & CHAMLEY, H., 1975. Remplissages de réseaux karstiques à la grotte de Saint-Marcel d'Ardèche. *Bull. Ass. Franç. Et. Quat.*, 43 : 71-82.
- CAVILLE, A., 1960. Les argiles des grottes, introduction à l'étude des sédiments souterrains. *Ann. Spéléol.*, 15 : 383-400.
- FORD, D.C., HARMON, R.S., SCHWARCZ, H.P., WIGLEY, T.M. & THOMPSON, P., 1976. Geo-hydrologic and thermometric observations in the vicinity of the Columbia icefield, Alberta and British Columbia, Canada. *Journ. of Glaciol.*, 16(74) : 219-230.
- JUVIGNE, E., 1974. Un perfectionnement de la méthode de séparation des minéraux denses des loess. *Ann. Soc. Géol.*, 97(1) : 289-290.
- JUVIGNE, E., 1976. La Stratigraphie du Quaternaire. In : *Géomorphologie de la Belgique*. Lab. Géol. et Géogr. phys., Univ. Liège : 169-179.
- JUVIGNE, E., 1977. Zone de dispersion et âge des poussières volcaniques du tuf de Rocourt. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, 100 : 13-22.
- JUVIGNE, E., 1978. Les minéraux denses transparents des loess de Belgique. *Zeitschr. für Geomorph.*, 22 (1) : 68-88.
- JUVIGNE, E., 1979. Scheidetrichter Methode oder Zentrifugaltrennung zur quantitativen Gewinnung von Schwermineralen. *Senchenberg. Marit. Frankfurt-Main* : sous presse.
- PASSEGA, R., 1964. Grain size representation by C.M. patterns as a geological tool. *Journ. Sed. Petr.*, 34(4) : 830 p.
- QUINIF, Y., 1977. Essai d'étude synthétique des cavités karstiques de Belgique. *Rev. Belg. Géogr.*, 101(1-3) : 115-173.
- QUINIF, Y., 1978. La Grotte de l'Obstination ou de la "Vilaine Source" et le réseau karstique de Lesves-Arbre (Belgique). *Spelunca*, 4 : 146-150.
- RENAULT, P., 1968. Contribution à l'étude des actions mécaniques et sédimentologiques dans la spéléogénèse. *Ann. Spéléol.* 23 : 529-596.
- RIVIERE, A., 1977. Méthodes granulométriques. Techniques et interprétations, Masson, Paris, 167 p.