

LES SEDIMENTS DETRITIQUES DES GROTTES : APERÇU SYNTHETIQUE

par

Camille EK¹ & Yves QUINIF²

(1 figure)

RESUME.- Les sédiments détritiques des grottes peuvent provenir du massif même de la grotte (sédiments autochtones) ou de l'extérieur (sédiments allochtones). Une revue synthétique des travaux des deux dernières décennies (1966-1986) est ici l'occasion de dégager les tendances actuelles et les perspectives de l'étude de ces sédiments. On passe en revue leurs modes de transport, leurs faciès, et les études de séquences sédimentaires. L'approche énergétique des sédiments des grottes apparaît comme un concept récent riche de promesses. Les remplissages des cavités peuvent d'autre part avoir une grande importance économique.

ABSTRACT.- *Clastic sediments in caves : an overview.* Detrital filling in caves may be autochthonous or allochthonous. Both kinds are considered here in a very synthetic overview of the scientific work over the last two decades (1966-1986). The recent literature reviewed includes works on the origin and transportation of clastic sediments in caves and on sedimentary sequences. A new approach to the study of cave fillings is based on the notion of energetic balance. This can give a new impulse to the research on sediments which are sometimes valuable in economic terms (phosphates, nitrates, oil, ...).

I.- INTRODUCTION

Si les sédiments sont en général des témoins importants de toute évolution géomorphogénétique, la chose est bien plus vraie encore en grotte que partout ailleurs. Les dépôts souterrains subissent généralement, après leur mise en place, beaucoup moins d'altérations que les sédiments superficiels : moins de variations de température donc moins de désagrégation, nulle lumière donc moins d'altération liée aux agents biologiques, peu d'évolution pédologique, peu de bioturbations ; les remplissages des grottes sont ainsi des enregistrements plus fidèles que les sédiments d'air libre des conditions de leur mise en place. En outre, les passages souterrains sont susceptibles d'être totalement obstrués par des sédiments, qui peuvent ainsi empêcher même la cir-

culatation de l'eau dans certains conduits. Par là, **les sédiments sont en grotte, bien plus qu'à la surface du sol, non seulement des témoins mais des facteurs primordiaux de la genèse et de l'évolution des cavités.** Que l'on pense, par exemple, en ce qui concerne les sédiments détritiques, aux dépôts argileux, même minces qui, tapissant le plancher d'une fissure en pente, empêchent l'eau d'attaquer le calcaire sous-jacent et déterminent une attaque du banc supérieur pouvant aller jusqu'à la formation de pendants rocheux ; que l'on pense aux

¹ Laboratoire de Géomorphologie et de Géologie du Quaternaire, Université de Liège, Place du Vingt-Août, 7, B-4000 Liège (Belgique).

² Centre d'Etudes et de Recherches Appliquées au Karst (CERAK), Faculté Polytechnique, 9 rue de Houdain, B-7000 Mons (Belgique).

matelas d'alluvions, empêchant une rivière souterraine de recréer son lit ; que l'on pense au colmatage intégral de certaines galeries, imposant aux eaux courantes la formation et l'élargissement de nouveaux conduits... D'autre part, fait fondamental sur le plan des données scientifiques, les concrétions stalagmitiques peuvent fournir des jalons chronologiques par la datation uranium-thorium dans une fourchette comprise entre quelques milliers d'années et 350 000 B.P. Mais nous nous limiterons ici aux dépôts détritiques, les études des concrétions étant traitées dans une autre contribution du même volume (Gewelt & Ek, 1988).

Vu son importance, il n'est pas étonnant que l'étude des sédiments des grottes ait fait de substantiels progrès durant les deux dernières décennies. Non seulement des techniques et des méthodes nouvelles se sont développées, mais des concepts nouveaux et des théories inédites ont vu le jour. Il nous a paru opportun de résumer ici brièvement les progrès des vingt dernières années. Bien que cette période de temps soit très courte, et que de nombreuses excellentes études sédimentologiques lui soient antérieures, la matière a pris un tel développement qu'il nous a été impossible de reprendre et de citer ici tous les résultats acquis depuis 1966. Nous avons donc dû faire un choix et nous sommes très conscients de son caractère partial, subjectif, imparfait. Il nous a paru cependant que les quelque cinquante titres recensés ici peuvent fournir au lecteur une base de départ assez large dans sa recherche bibliographique (1). Qu'il nous pardonne de n'avoir pu citer ici **tous** les travaux intéressants des vingt dernières années. C'était impossible dans le cadre qui nous était imparti.

II.- PROVENANCE DES SEDIMENTS DETRITQUES

On classe habituellement les sédiments des grottes en dépôts autochtones et dépôts allochtones, en distinguant par là les matériaux provenant de la roche même dans laquelle la grotte est creusée de ceux qui sont apportés du dehors de la grotte (cf. les catégories «endogénétique» et «exogénétique» de Ford & Cullingford, 1976).

Les dépôts autochtones comportent au premier chef les concrétions carbonatées ; mais, dans le domaine détritique, il y a les résidus de dissolution abandonnés sur place dans la cavité lors de son creusement, et les matériaux écroulés ou éboulés du plafond et des parois.

Les résidus de dissolution autochtones témoignent que, dès le départ de la karstification sous terre, lorsque seule l'énergie chimique de l'eau peut permettre l'enlèvement de matière, faute d'énergie cinétique, un dépôt peut se faire par gravité sur le fond des cavités naissantes, par abandon d'un résidu non dissous (Ek & Roques, 1972 ; Roques & Ek, 1973).

Mais, dans les matériaux détritiques autochtones, les blocs écroulés ou éboulés ont souvent de loin la première place en volume. Ces blocs sont généralement parallélépipédiques (pour des causes structurales) et anguleux ; ils peuvent cependant comporter un certain émoussé, qui peut être antérieur à leur chute (si l'ébouillement a été préparé par la corrosion) ou postérieur (si les blocs trempent, après leur chute, dans une eau agressive). Au point de vue dimensionnel, il faut distinguer les ébouillements cryoclastiques d'origine périglaciaire des autres : les premiers peuvent parfois comporter uniquement des débris très minces, en plaquettes, et petits. Les autres sont fréquemment beaucoup plus grossiers et plus hétérométriques.

La structure a une grande influence sur la répartition des ébouillements. Ainsi, on trouve des grandes salles liées à des éboulements le long des lignes de failles tectoniques : c'est le cas à Padirac, ou à la Grotte de Remouchamps (Belgique), où les grands éboulements se présentent le long des lignes de faille (effets passifs de la tectonique : Ek, 1970). Les alternances de bancs minces de lithologie différente sont aussi favorables (Sweeting, 1972). Là où le karst est partiellement couvert, comme au Kentucky, les dépressions de la surface du sol, où la couverture est plus mince, sont favorables à la préparation des effondrements par des circulations d'eau de percolation (Brucker, 1966).

Les causes immédiates des ébouillements, éboulements et écroulements sont variées. Le climat périglaciaire peut provoquer des ébouillements cryoclastiques jusqu'à plusieurs centaines de mètres de l'entrée dans certains cas (au Pléistocène dans l'Eisriesenwelt, Autriche). La dissolution par les eaux de percolation peut désolidariser des bancs les uns des autres. Ceci peut être beaucoup plus important si des sulfates présents dans la roche forment du gypse, dont la grande

(1) Nous avons essentiellement repris, mais en y ajoutant plusieurs références, une revue bibliographique de Ek (1986).

solubilité et le foisonnement favorisent le décollement des bancs. Le déséquilibre mécanique lié à l'élargissement d'un conduit (par ex. par l'érosion latérale d'une rivière souterraine) ou les séismes sont aussi des agents de chutes de blocs. Dans les cavités qui sont sous une pression hydrostatique importante, le départ de l'eau par abaissement de son niveau peut être une cause d'écroulement (Sweeting, 1972 ; Delattre, 1985).

Les écoulements s.s. se produisent dans des conduits aérés. Ils constituent donc souvent une phase d'évolution tardive dans la genèse des cavités. Néanmoins, la chute des blocs peut les amener à un niveau hydrologiquement actif : zone de battement de la surface piézométrique, rivière souterraine, où ils peuvent être dissous et contribuer ainsi à la formation de vides énormes (mécanisme d'écroulement - dissolution). La salle du Dôme dans la Grotte de Han résulte *pro parte* de ce mécanisme (Quinif & Bastin, 1984).

III.- TRANSPORT, MISE EN PLACE ET FACIES

Le transport des sédiments en grotte est le plus souvent l'œuvre de la gravité et de l'eau, plus rarement du vent ou de la glace, plus rarement encore d'autres facteurs.

Des sables désertiques ont été trouvés à plusieurs reprises dans les grottes (Cooke, 1975). Les glaciers peuvent aussi apporter aux entrées de grottes du till, fréquemment relavé, mais pas toujours ; des moraines latérales ont été poussées dans des grottes de la Cordillère cantabrique (Mugnier, 1983) ; plus souvent, l'apport est l'œuvre d'eaux sous-glaciaires — on en a des exemples au Québec (Ek *et al.*, 1981), dans les Pyrénées (Maire & Quinif, 1988) — ou proglaciaires, comme les dépôts varvés de Gaping Gill, en Angleterre (Sweeting, 1972, p. 174).

Lorsque l'eau transporte des sédiments en grotte, elle les façonne : les variations de l'éroulé ont été étudiées, entre autres par Newson (1971) ; celles de la granulométrie, par Bögli (1980, p. 166) ; l'aplanissement des galets est très fort dans certains cas (Sweeting, 1972, p. 174) ; ceci serait lié parfois au franchissement de siphons (Ek, 1974). Le lien entre la granulométrie et la vitesse du courant a été étudié par White & White (1968), qui ont mis l'accent sur les effets de la charge de fond (*bedload*) sur la morphologie des conduits. Ils considèrent que le transport de fond est une partie intégrante de l'évolution d'un réseau karstique et qu'un développement important sous l'effet des seules eaux de percolation est peu

probable. Ils montrent que la charge de fond contraire l'érosion verticale et, en cas d'abaissement du niveau de base, favorise la création d'une nouvelle galerie, inférieure, plutôt que l'incision en canyon du conduit existant. Quant aux argiles de grottes, présentes dans tant de cavités, elles sont probablement le plus souvent liées à l'existence en surface d'une épaisse couverture d'altération, susceptible de s'insinuer dans les fissures quand l'eau s'y infiltre, et de se déposer dans des grottes où l'eau est quasiment immobile (Sweeting, 1972, p. 174). Dans les monts Ozark (U.S.A.), cependant, Reams (1968) a montré que le remplissage argileux des grottes avait été apporté de la surface par des cours d'eau souterrains.

Les argiles sont effectivement aussi apportées par les actions fluviales. Elles constituent notamment une des parties des «séquences d'assèchement» définies par Sorriaux (1982).

Bögli (1980) s'est attaché à étudier la mise en place des sédiments détritiques d'eau courante en fonction de la dynamique de l'écoulement, qui dépend fortement elle-même de la morphologie de la cavité. Il a aussi rappelé l'usage que l'on peut faire en grotte de la courbe de Hjulström pour déterminer les vitesses des anciens courants, connaissant la granulométrie des dépôts. Renault (1967) a développé ces aspects dans sa thèse. On trouvera dans Streit (1968) un rappel des méthodes classiques de la sédimentologie dont l'application est intéressante en grottes. Parmi les méthodes plus modernes, signalons la mesure de la thermoluminescence des sédiments détritiques (Quinif, 1981).

Divers faciès particuliers aux cavités souterraines ont aussi attiré les chercheurs. Nous ne reviendrons pas sur les faciès d'entrée de grotte, si variés, mais justement caractérisés par la forte influence des agents extérieurs. A l'opposé, les vermiculations argileuses qui tapissent tant de parois de grottes le doivent à la protection offerte par le milieu (Bini *et al.*, 1978 ; Bögli, 1980 ; Bleahu, 1982). L'induration des sédiments par du carbonate provenant des eaux souterraines saturées est également fréquente en grotte, de même que, dans les régions méditerranéennes et plus chaudes, les dépôts ferrugineux anciens, tels que la limonite pisolitique (Gospodarič, 1968).

On voit la variété des remplissages détritiques des cavités karstiques. L'étude de ces dépôts présente d'autre part une grande importance pour deux raisons au moins. La première est que si la dissolution est le phénomène original et originel de la formation

des grottes, le développement de vastes cavités intégrées est presque toujours l'œuvre de rivières souterraines transportant, grâce à la vitesse de leur courant, des matériaux souvent allochtones et souvent abrasifs. Les sédiments détritiques ne sont pas seulement des témoins de l'évolution des grottes : ils en sont aussi en partie des outils. En outre, c'est un caractère assez propre aux cavités souterraines que les sédiments soient susceptibles de créer des bouchons que l'eau, parfois, ne peut plus franchir, du fait que les galeries, contrairement aux vallées épigées, ont un plafond : l'alluvionnement peut conduire au comblement, à l'obstruction, à la fossilisation du conduit que les sédiments parcourent en outil d'évolution, mais aussi en outils de mort.

L'importance de l'interaction de la sédimentation et de la spéléogénèse a déjà été soulignée par Renault (1967). En étudiant l'hydrodynamisme souterrain, cet auteur distingue les galeries «syngénétiques» où un écoulement rapide empêche toute sédimentation et élargit le conduit sur toute sa périphérie des galeries «paragénétiques» dans lesquelles l'écoulement est tel qu'une sédimentation argileuse continue ne permet à la corrosion que d'éroder la voûte.

IV.- SEQUENCES SEDIMENTAIRES SOUTERRAINES

Si chaque sédiment est le témoin d'un épisode de l'histoire de la grotte qui le renferme, ce sont évidemment les séquences sédimentaires les plus complexes, les plus variées, les plus longues qui sont susceptibles de nous livrer des chapitres entiers de cette genèse. Bien plus, les mécanismes différents aboutissant à la sédimentation de galets, sables, argiles, planchers stalagmitiques, ... sont le reflet de l'évolution géologique régionale et en particulier des variations climatiques quaternaires. Ces séquences souterraines, grâce à leurs qualités (diversité, état de conservation, possibilités de datations absolues), sont des outils privilégiés de demain dans la géologie du Quaternaire, dans le cadre de recherches pluridisciplinaires (Bastin *et al.*, 1977, 1982 ; Bastin & Gewelt, 1986 ; Quinif & Maire, 1986).

Nous n'en citerons — très brièvement — que quelques exemples. En 1974 paraissait sous la direction de M. Dewez une étude des dépôts de la partie aval de la galerie supérieure de la grotte de Remouchamps (Belgique), comportant des recherches de géologie, de géomorphologie karstique, de sédimentologie, y compris une étude des minéraux denses, de paléontologie animale, de palynologie, d'archéologie, etc., le tout aboutissant à une connaissance remarquablement détaillée de l'évolution de la grotte, surtout durant la dernière période froide et l'Holocène. Toutefois, la reconstitution du fonctionnement d'une galerie durant le même laps de temps fut étudiée avec plus de précision encore dans les

domaines sédimentologique, minéralogique et palynologique, par Quinif *et al.* (1979). Une succession d'épisodes d'éboulis, de sédimentation détritique, de concrétionnement, entrecoupée de périodes de recouvrement (fig. 1), témoigne de périodes où la roche en surface a été successivement nue, couverte de loess, couverte d'un sol végétal, etc.

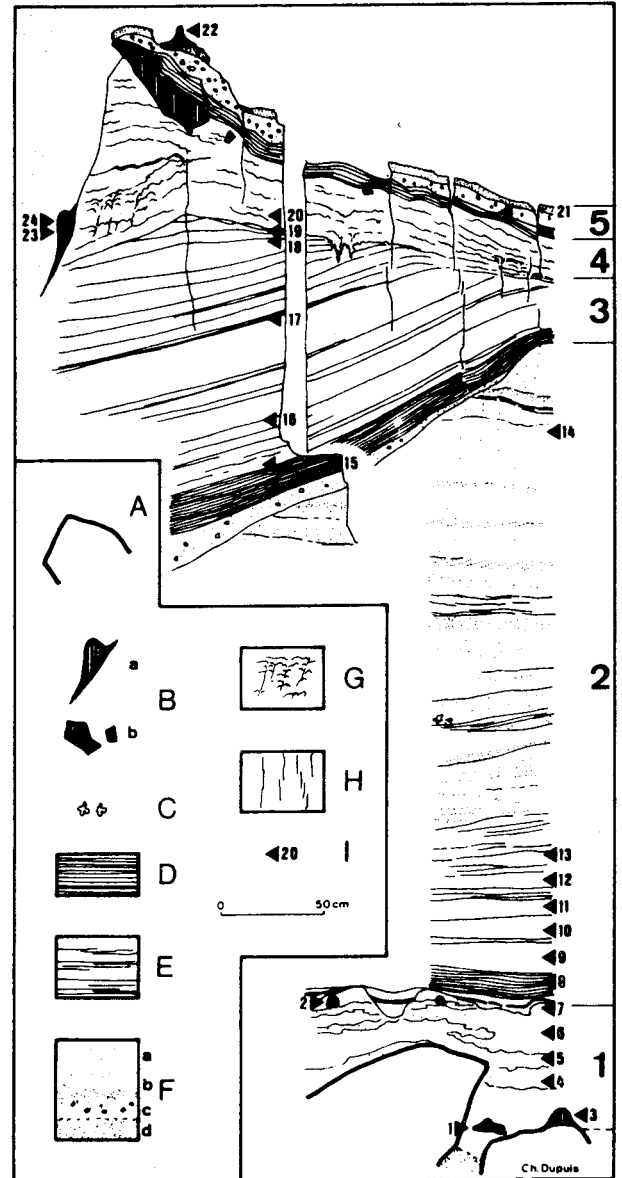


Fig. 1.- Description de la coupe de la Grotte de la Vilaine Source et situation des spectres polliniques obtenus. Les numéros des unités détritiques distinguées sont portés sur la partie droite de la figure.

- A. Blocs éboulés de calcaire frasien.
- 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).
- G. Fentes de dessiccation.
- H. Fractures, parfois calcifiées, à la partie supérieure des sédiments.
- I. Situation d'un spectre pollinique.

(extrait de Quinif *et al.*, 1979)

Un autre bel exemple d'une telle étude a été présenté par Borówka *et al.* (1983) : c'est une étude sédimentologique très complète de 137 échantillons, qui conduit ses auteurs à considérer que, dans la vallée des Tatra concernée, l'importance des dépôts allochtones a crû au cours du temps dans les grottes, que les matériaux locaux éboulés sont plus importants vers l'amont des galeries et dans les passages supérieurs, que la granulométrie des dépôts et même leur émousé dépend plus des conditions hydrodynamiques locales que de la distance de transport, etc.

V.- IMPLICATIONS DE L'ETUDE DES SEQUENCES SEDIMENTAIRES SOUTERRAINES

Les études des séquences sédimentaires souterraines ont déjà fréquemment donné lieu à des conclusions débordant largement le cadre des observations et portant sur l'évolution générale de la grotte ou de la karstification régionale, ou même sur la morphogenèse du massif ou sur les paléo-climats. Nous n'en citerons qu'une poignée d'exemples pris dans les travaux des dernières années.

L'étude des remplissages concrétionnés de l'Anou Boussouil, dans le Djurdjura (Algérie) a montré des alternances climatiques, et l'étude des formations d'ankérite et de gypse a révélé l'origine hydrothermale d'une partie des galeries de la grotte (Collignon *et al.*, 1982).

La micropaléontologie, en révélant l'âge dinantien d'un remplissage de grotte, a montré que des grottes s'étaient creusées en Belgique dans les calcaires frasniens au cours du Dévonien supérieur (Ek & Poty, 1982).

La palynologie a apporté des renseignements précieux sur les climats sous lesquels se sont faits des dépôts de grottes.

La minéralogie des concrétions a fourni dans plusieurs cas, dans des régions arides ou semi-arides, des indications sur des fluctuations climatiques ou sur d'anciennes actions hydrothermales (Jennings, 1983).

Les dépôts de la galerie Aranzadi, dans le Gouffre de la Pierre Saint Martin, consistent en un empilement de galets et d'argiles proglaciaires, recoupés par des terrasses fluviatiles et scellés par des stalagmites. Ils jalonnent le Pléistocène moyen et supérieur en fournissant des renseignements précis sur l'évolution de la karstification du massif et sur la

géologie du Quaternaire des Pyrénées atlantiques (définition d'un interglaciaire complexe vers 200 000 B.P., données concernant la dynamique glaciaire) (Maire & Quinif, 1984 ; Cantillana *et al.*, 1986 ; Maire & Quinif, 1988).

Dans le bassin d'Iserlohn, en Rhénanie-Westphalie (Allemagne), comme dans les Pyrénées françaises, et comme en Sardaigne, des successions de séquences sédimentaires ont été corrélées à des variations climatiques du Quaternaire (Schmidt, 1984 ; Bakalowicz *et al.*, 1984 ; Bini *et al.*, 1988).

Enfin, une étude des minéraux denses présents dans des concrétions stalagmitiques de grottes belges vient de révéler une éruption volcanique jusqu'ici inconnue au Pléistocène supérieur (Gewelt & Juvigné, 1986).

VI.- PERSPECTIVES

L'étude des remplissages des grottes est en pleine expansion, et la très grande abondance de la littérature montre combien son avenir est considéré prometteur par nombre de chercheurs dans tous les domaines de la sédimentologie, de la géomorphologie, de la stratigraphie, de la chronologie.

A côté de toutes les techniques sédimentologiques et des méthodes isotopiques, il nous semble que des perspectives nouvelles s'ouvrent, par exemple, dans le domaine du paléomagnétisme (Latham, 1981 ; Geeraerts, 1982 ; Rowe *et al.*, 1988), et dans le domaine des minéraux denses, en particulier volcaniques, qui peuvent fournir des marqueurs stratigraphiques extraordinaires (Gewelt & Juvigné, 1986).

Mais les nouveaux progrès ne dépendront pas seulement des techniques : une approche méthodologique récente vient d'être appliquée aux grottes : l'approche énergétique (Quinif, 1983). Si l'on analyse les types d'énergie mis en jeu dans la genèse des grottes — énergie chimique, énergie mécanique, énergie hydrodynamique — on est conduit à admettre avec cet auteur que les remplissages modifient la distribution spatiale de l'énergie dans un réseau. Il y a là un point de vue nouveau, certainement générateur de découvertes.

Enfin, on ne peut terminer ce modeste tour d'horizon géologique sans rappeler un trait fondamental — un attrait fondamental aussi — de l'étude des sédiments souterrains : c'est l'importance des interactions entre les remplissages karstiques et les activités

humaines, l'économie, la vie sociale. Les remplissages des grottes incluent les phosphates et les nitrates, jadis exploités en grand, mais aussi les sulfures, les hydrocarbures... L'élimination des dépôts obscurant des ponors en Yougoslavie permet de réduire substantiellement les inondations et de gagner ainsi de vastes surfaces pour l'agriculture : cet exemple pourrait être suivi dans de nombreux pays. L'homme et les remplissages karstiques sont en constante interaction : c'est une raison majeure de pousser les études.

BIBLIOGRAPHIE

- BAKALOWICZ, M., SORRIAUX, P. & FORD, D., 1984.- Quaternary glacial events in the Pyrénées, from U-series dating of speleothems in the Niaux-Lombrives-Sabart caves, Ariège, France. *Norsk geogr. Tidsskr.*, 38 : 193-197.
- BASTIN, B., DUPUIS, C. & QUINIF, Y., 1977.- Preliminary results of the application of Quaternary geological methods to speleogenetic studies of a Belgian cave. *Proc. 7th Int. Speleol. Congr.*, Sheffield, England : 24-28.
- BASTIN, B., DUPUIS, C. & QUINIF, Y., 1982.- Etude microstratigraphique et palynologique d'une croûte stalagmitique de la Grotte de la Vilaine Source (Arbre, Belgique). Méthodes et résultats. *Rev. belge Géogr.*, 106 (1) : 109-120.
- BASTIN, B. & GEWELT, 1986.- Analyse pollinique et datation ^{14}C de concrétions stalagmitiques holocènes : apports complémentaires des deux méthodes. *Géogr. phys. et Quat.*, XL (2) : 185-196.
- BINI, A., CAVALLI-GORI, M. & GORI, S., 1978.- A critical review of hypotheses on the origin of vermiculations. *Int. J. Speleol.*, 10 : 11-33.
- BINI, A., CREMASCHI, M., FORTI, P. & PERNA, G., 1988.- Paleokarstic fills in Iglesias (Sardinia, Italy) : Sedimentary Processes and Age. *Ann. Soc. géol. Belg.*, 111 (1) : 149-161.
- BLEAHU, M., 1982.- *Relieful carstic*. Bucarest (Albatros), 296 p.
- BÖGLI, A., 1980.- *Karst hydrology and physical speleology*. Berlin, Heidelberg, New York (Springer-Verlag), 284 p.
- BORÓWKA, R.K., KOSTRZEWSKI, A. & ZWOLINSKI, Z., 1983.- Morphology of Chocholowska valley caves, origin of cave deposits and their paleogeographical significance (Tatra, Poland). *Atti Convegno int. sul carso di alta montagna*, 1 : 1-12.
- BRUCKER, R.W., 1966.- Truncated cave passages and terminal breakdown in the Central Kentucky karst. *Bull. Nat. Speleol. Soc.* 28 (4) : 171-178.
- CANTILLANA, R., QUINIF, Y. & MAIRE, R., 1986.- Uranium-thorium dating of stalagmites applied to study the Quaternary of the Pyrénées (France) : the example of the «Gouffre de la Pierre-Saint-Martin». *Chemical Geology*, 57 : 137-144.
- COLLIGNON, B., GOERGLER, B. & QUINIF, Y., 1982.- L'Anou Boussouil, témoin privilégié de l'évolution géologique récente du Djurdjura. *Rev. belge Géogr.*, 106 (1) : 47-60.
- COOKE, H.J., 1975.- The paleoclimatic significance of caves in western Ngamiland, Botswana. *Geographical Journal*, 141 : 430-434.
- DELATTRE, N., 1985.- Les puits naturels du Tournaisis. Etude de leur localisation et contribution à l'étude de leur genèse. *Ann. Soc. géol. Belg.*, 108 : 117-123.
- DEWEZ, M. (éditeur), 1974.- Nouvelles recherches à la Grotte de Remouchamps. *Bull. Soc. roy. belge d'Anthrop. et de Préhist.*, 85 : 5-161.
- EK, C., 1970.- Les influences structurales sur la morphologie de la Grotte de Remouchamps (Belgique). *Ann. Soc. géol. Belg.*, 93 : 293-304.
- EK, C., 1974.- Etude sédimentologique de la Grotte de Remouchamps. *Bull. Soc. roy. belge d'Anthrop. et de Préhist.*, 85 : 16-41.
- EK, C., 1986.- Les remplissages des grottes. Concrétions et dépôts détritiques. Aperçu synthétique. *Jornadas sobre el Karst en Euskadi*, Ponencias, tome 2, San Sebastian, 1986 : 77-104.
- EK, C., HILLAIRE-MARCEL, C. & TRUDEL, B., 1981.- Sédimentologie et paléoclimatologie isotopique dans une grotte de Gaspésie, Québec. *Géogr. phys. et Quat.*, 35 : 317-328.
- EK, C. & POTY, E., 1982.- Esquisse d'une chronologie des phénomènes karstiques de Belgique. *Rev. belge de Géogr.*, 106 (1) : 73-85.
- EK, C. & ROQUES, H., 1972.- Dissolution expérimentale de calcaires dans une solution de gaz carbonique. Note préliminaire. *Transactions of the Cave Research Group of Great Britain*, 14 : 67-82.
- FORD, T.D. & CULLINGFORD, C.H.D., 1976.- *The Science of Speleology*. London (Academic Press), 593 p.
- GEERAERTS, R., 1982.- Etude paléomagnétique de sédiments de la grotte de Bohon. *Rev. belge de Géogr.*, 106 : 99-108.
- GEWELT, M. & EK, C., 1988.- Les concrétions carbonatées des grottes : un aperçu synthétique. *Ann. Soc. géol. Belg.*, 111 (1) : 9-19.
- GEWELT, M. & JUVIGNÉ, É., 1986.- Les «téphra de Remouchamps», un nouveau marqueur stratigraphique dans le Pléistocène supérieur, daté par $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ dans des concrétions stalagmitiques. *Ann. Soc. géol. Belg.*, 109 : 489-497.
- GOSPODARIČ, R., 1968.- Über einige klastische Sedimente im Slowenischen Karst. *Actes du Quatrième Congrès int. de Spéléol.*, Postojna, 3 : 139-146.
- JENNINGS, J.N., 1983.- The disregarded karst of the arid and semi-arid domain. *Karstologia*, 1 : 61-73.
- LATHAM, A.G., 1981.- Magnetostratigraphy from speleothems : establishment and applications. *Proc. 8th Int. Congress Speleology*, B.F. Beck (ed.), Georgia : 358-361.
- MAIRE, R. & QUINIF, Y., 1984.- Un complexe sédimentaire karstique en milieu alpin : les dépôts de la galerie Aranzadi (Gouffre de la Pierre-Saint-Martin, Pyrénées Atlantiques). *C.R. Acad. Sc. Paris, sér. II*, 298 (5) : 183-186.
- MAIRE, R. & QUINIF, Y., 1988.- Chronostratigraphie et évolution sédimentaire en milieu alpin dans la Galerie Aranzadi (Gouffre de la Pierre Saint Martin, Pyrénées, France). *Ann. Soc. géol. Belg.*, 111 (1) : 61-77.
- MUGNIER, C., 1983.- Les glaciations et leur influence sur la karstification dans la région d'Ason (Province de Santander, Espagne). *Atti Convegno int. sul carso di alta montagna*, 1 : 203-208.
- NEWSON, M.D., 1971.- The role of abrasion in cavern development. *Transactions Cave Res. Groupe G.B.*, 13 (2) : 101-108.
- QUINIF, Y., 1978.- Les radioéléments naturels dans les dépôts détritiques de grottes. Premiers résultats. *Actes 6e Congr. Nat. Speleol. (Porrentruy-Suisse)*. Suppl. 10 à *Stalactite* : 139-146.
- QUINIF, Y., 1981.- Thermoluminescence : a method for sedimentological studies in caves. *Proc. 8th. Int. Congr. Speleol.*, Bowling Green, USA : 309-313.
- QUINIF, 1983.- Eléments d'une approche énergétique du karst. Application à quelques exemples réels de karsts. *Karstologia*, 1 : 47-54.
- QUINIF, Y. & BASTIN, B., 1984.- Topographie de la Salle du Dôme (Grotte de Han-sur-Lesse). *Spéléo-Flash*, 145 : 7-12.
- QUINIF, Y., DUPUIS, C., BASTIN, B. & JUVIGNÉ, É., 1979.- Etude d'une coupe dans les sédiments quaternaires de la Grotte de la Vilaine Source (Arbre, Belgique). *Ann. Soc. géol. Belg.*, 102 : 229-241.
- QUINIF, Y. & MAIRE, R., 1986.- Etudes sédimentologiques et datations radiométriques dans le Gouffre de la Pierre Saint Martin (Pyrénées, France) : contribution à l'étude du Quaternaire pyrénéen. *Actes 9e Congr. Int. Espeleol.*, Barcelona, 1 : 294-296.
- REAMS, M.W., 1968.- *Cave sediments and the geomorphic history of the Ozarks*. Ph. D. thesis, Washington University, St-Louis, Missouri.
- RENAULT, P., 1967.- Contribution à l'étude des actions mécaniques et sédimentologiques dans la spéléogénèse. *Ann. Spéléol.*, 22 : 5-17 et 209-267.
- ROQUES, H. & EK, C., 1973.- Etude expérimentale de la dissolution des calcaires par une eau chargée de CO_2 . *Ann. Spéléol.*, 28 : 549-563.

ROWE, P., AUSTIN, T. & ATKINSON, T., 1988.- The Quaternary evolution of the British Southern Pennines from Uranium Series and Palaeomagnetic Data. *Ann. Soc. géol. Belg.*, 111 (1) : 97-106.

SCHMIDT, H., 1984.- Die Heinrichshöhle in Hemer. *Kölner Geograph. Arbeiten*, 45 : 557-564.

SORRIAUX, 1982.- *Contribution à l'étude de la sédimentation en milieu karstique. Le système de Niaux-Lombrives-Sabart (Pyrénées ariégeoises).*

Thèse de 3e cycle. Laboratoire souterrain du CNRS. Moulis.

STREIT, R., 1968.- Untersuchungsmethoden an Höhlensedimenten. *Actes du Quatrième Congrès int. de Spéléol.*, Postojna, 3 : 219-225.

SWEETING, M.M., 1972.- *Karst Landforms*. London (McMillan), 362 p.

WHITE, E.L. & WHITE, W.B., 1968.- Dynamics of sediment transport in limestone caves. *Bull. Nat. Speleol. Soc.*, 30 (4) : 115-129.