
Les remplissages karstiques de la grotte Sous-les-Sangles:
Sédimentologie et évolution spéléomorphologique d'une grotte du
Jura méridional (France) [The karstic deposits of the cave Sous-
les-Sangles : Sedimentology and speleomorphological evolution of
a cave of southern Jura (France)]

Abdelkader Sbai, Camille Ek, Philippe Drouin, Bernard Chirol, Jean-Claude Ariagno,
Arthur Pelisson, Yves Quinif

Résumé

La grotte Sous-les-Sangles se développe dans les calcaires compacts à grains fins du Kimméridgien dans la cluse des Hôpitaux, côté Bas-Bugey. Sa morphologie actuelle, essentiellement due à l'eau courante, est cependant influencée par endroits par des effondrements de plafond. La galerie principale est une conduite forcée suivant les joints de stratification. Dans cette galerie, des dépôts morainiques comportant des cailloux alpins sont surmontés de dépôts varvés d'une épaisseur de 5-6 m; ces varves sont uniques pour le moment, dans l'Ain, de par leur volume.

Abstract

The cave Sous-les-Sangles develops in compact limestones of Kimmeridgian ages in the Hôpitaux cluse in the side of Bas-Bugey. Its present morphology, essentially due to flowing water, is influenced however by collapse features. The principal passage is a pressure pipe following the bedding plane. In this gallery, morainic deposits containing alpin clasts are overlain by varved deposits 5-6 m thick; these deposits are unique at present in the Ain, by their volume.

Citer ce document / Cite this document :

Sbai Abdelkader, Ek Camille, Drouin Philippe, Chirol Bernard, Ariagno Jean-Claude, Pelisson Arthur, Quinif Yves. Les remplissages karstiques de la grotte Sous-les-Sangles: Sédimentologie et évolution spéléomorphologique d'une grotte du Jura méridional (France) [The karstic deposits of the cave Sous-les-Sangles : Sedimentology and speleomorphological evolution of a cave of southern Jura (France)]. In: Quaternaire, vol. 6, n°1, 1995. pp. 35-45;

doi : <https://doi.org/10.3406/quate.1995.2035>

https://www.persee.fr/doc/quate_1142-2904_1995_num_6_1_2035

Fichier pdf généré le 19/04/2018

LES REMPLISSAGES KARSTIQUES DE LA GROTTE SOUS-LES-SANGLES: SEDIMENTOLOGIE ET EVOLUTION SPELEOMORPHOLOGIQUE D'UNE GROTTE DU JURA MERIDIONAL (France)



Abdelkader SBAI*, Camille EK**, Philippe DROUIN***,
Bernard CHIROL****, Jean-Claude ARIAGNO***,
Arthur PELISSON***** et Yves QUINIF*****

RESUME

La grotte Sous-les-Sangles se développe dans les calcaires compacts à grains fins du Kimméridgien dans la cluse des Hôpitaux, côté Bas-Bugey. Sa morphologie actuelle, essentiellement due à l'eau courante, est cependant influencée par endroits par des effondrements de plafond. La galerie principale est une conduite forcée suivant les joints de stratification. Dans cette galerie, des dépôts morainiques comportant des cailloux alpins sont surmontés de dépôts varvés d'une épaisseur de 5-6 m; ces varves sont uniques pour le moment, dans l'Ain, de par leur volume.

Mots-clés: Remplissages karstiques, géomorphologie, grotte Sous-les-Sangles, Jura méridional.

ABSTRACT

THE KARSTIC DEPOSITS OF THE CAVE SOUS-LES-SANGLES: SEDIMENTOLOGY AND SPELEOMORPHOLOGICAL EVOLUTION OF A CAVE OF SOUTHERN JURA (France)

The cave Sous-les-Sangles develops in compact limestones of Kimmeridgian ages in the Hôpitaux cluse in the side of Bas-Bugey. Its present morphology, essentially due to flowing water, is influenced however by collapse features. The principal passage is a pressure pipe following the bedding plane. In this gallery, morainic deposits containing alpin clasts are overlain by varved deposits 5-6 m thick; these deposits are unique at present in the Ain, by their volume.

Key-words: Karstic deposits, geomorphology, cave of Sous-les-Sangles, south Jura.

INTRODUCTION

Nouvelle cavité du Bas-Bugey (Ain, Jura méridional), découverte en septembre 1990 par A. Pélisson (groupe spéléologique d'Hauteville-Lompnès), la grotte Sous-les-Sangles s'ouvre sur le flanc sud-ouest de la cluse des Hôpitaux (commune de la Burbanche), canton de Virieu-le-Grand (Belley) à 21 km à vol d'oiseau (28 km par route) d'Ambérieu-en-Bugey (fig. 1). Ses coordonnées

sont: $x = 849,09$, $y = 99,5$, $z = 473$ m (carte de l'Institut géographique national: Montalieu-Vercieu 3231 ouest).

Cette grotte fait partie de tout un ensemble karstique souterrain dans la cluse des Hôpitaux. Elle a spécialement retenu notre attention à cause de son remplissage sédimentaire. C'est une grotte qui est, dans sa partie actuellement accessible, parcourue par un cours d'eau temporaire lors de très fortes pluies comme celles du 22 décembre 1991. Sa partie amont n'est au contraire

* Laboratoire de Géomorphologie et d'étude du Quaternaire, Université des Sciences et Technologies de Lille, 59655 VILLENEUVE-D'ASQ (France) et Département de Géographie physique et de Géologie du Quaternaire, Place du 20 août, 7, 4000 LIEGE (Belgique).

** Département de Géographie physique et de Géologie du Quaternaire, Place du 20 août, 7, 4000 LIEGE (Belgique).

*** Groupe Ulysse spéléo: Comité départemental de spéléologie du Rhône, 28 quai Saint-Vincent, 69001 LYON (France).

**** Groupe spéléologique d'Hauteville-Lompnès, 01110 HAUTEVILLE (France).

***** Centre d'études et de recherches appliquées au karst (C.E.R.A.K.), Faculté polytechnique de Mons, rue de Houdain, 9, 7000 MONS (Belgique).

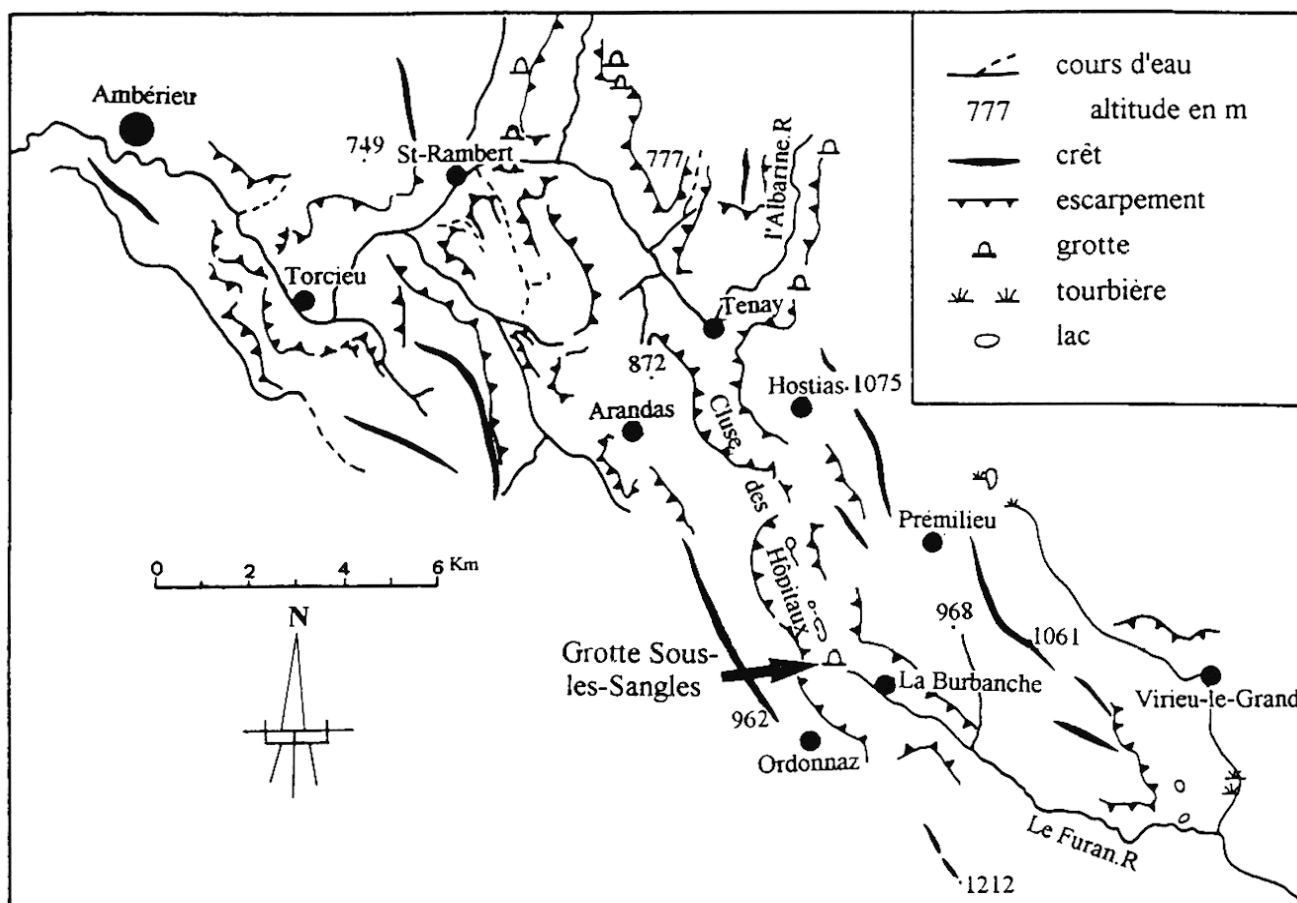


Fig. 1: Situation de la grotte Sous-les-Sangles dans la cluse des Hôpitaux.
 Fig. 1: Location of Sous-les-Sangles cave in the transverse valley of «Les Hôpitaux».
 1 - stream, 2 - altitude in m, 3 - crest, 4 - scarp, 5 - cave, 6 - peat-bog, 7 - lake.

parcourue par aucune circulation. On peut également observer quelques traces de ruissellement au sol (gravier) surgissant à travers des galets à 15 m avant le fond à gauche.

L'étude de ce réseau souterrain et de ses remplissages nous permet de reconstituer partiellement cette ancienne «page» de l'évolution spéléogénique et de la resituer dans le contexte hydrogéomorphologique régional.

I - CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE DE LA GROTTES SOUS-LES-SANGLES

Le bassin d'alimentation du système de la grotte Sous-les-Sangles correspond aux calcaires du Jurassique supérieur qui affleurent sur le plateau d'Arandas-Ordonnaz. Cette cavité (473 m d'altitude), par sa position perchée par rapport au fond de la cluse des Hôpitaux (360 m), par l'organisation et la direction de ses conduits, semble appartenir à une organisation du drainage endokarstique bien différente de l'actuel.

Cette cavité se situe à peine un kilomètre au nord-ouest de la grotte de la Burbanche, une des plus importantes exurgences du Bugey méridional, mais ne semble pas appartenir au même système karstique (Drouin, 1986). Cette grotte de la Burbanche s'ouvre à 385 m d'altitude, soit quelque 25 m plus haut que le fond actuel de la cluse des Hôpitaux; c'est donc un système karstique plus jeune, se rapprochant plus de l'actuel niveau de base du karst. Il est sans doute lié à un niveau lithologique responsable de ce «perchement» de l'exutoire. L'amont de ce système karstique correspond aux pertes

de la plaine du Bief (sur le plateau d'Innimont). En effet, en avril 1980, l'Association sport nature éducation (Lyon) a réalisé le traçage de ces pertes, situées 4 km plus au sud vers 900 m d'altitude. Seuls les fluocapteurs placés à la grotte de la Burbanche furent positifs, révélant une percée hydrogéologique de 4200 m pour 510 m de dénivelé, avec une vitesse de propagation du traceur de 65 m/h. L'absence de traceurs aux exurgences de la Tuffière, très proches de la grotte Sous-les-Sangles et sensiblement à la même altitude, semble montrer que ce système est différent et semble drainer le plateau entre les villages d'Ordonnaz et d'Arandas.

La découverte de la grotte Sous-les-Sangles relance donc les recherches sur ce système d'exurgences de la Tuffière. Il semble en effet qu'il s'agisse du même réseau. L'absence de pertes actives sur le plateau ne permet pas d'envisager un traçage qui nous permettrait de progresser dans notre connaissance de la genèse des cavités sur cette bordure sud de la cluse des Hôpitaux. On peut imaginer que les exurgences de la Tuffière constituent le drain pérenne de ce système, sur un niveau de base perché dans la cluse des Hôpitaux, ceci étant dû aux conditions lithologiques et structurales de l'encaissant. La grotte Sous-les-Sangles constituerait un regard fossile sur ce système, fonctionnant parfois comme exutoire de crues au travers du remplissage morainique. Quelques hypothèses peuvent donc être proposées:

- les exurgences de la Tuffière et la grotte Sous-les-Sangles appartiennent au même système hydrogéologique,
- la diffluence des eaux de la grotte Sous-les-Sangles et des exurgences de la Tuffière est liée à la géologie du

secteur (pendage) et aussi au colmatage des conduits par des remplissages, qu'ils soient de nature morainique (grotte Sous-les-Sangles) ou carbonatée (cascade de tufs de la Tuffière).

II - MORPHOLOGIE DE LA GROTTÉ

II.1 - LES GRANDS TRAITS DE LA TOPOGRAPHIE (fig. 2)

Connue sur une longueur de 484 m, comportant une dénivellée de 25 m entre son point le plus haut et son point le plus bas par rapport à l'entrée (+16, -9), la grotte Sous-les-Sangles comporte une seule entrée perchée à plus de 100 m au-dessus de la cluse des Hôpitaux. C'est essentiellement une belle galerie, basse mais large sur les 150 premiers mètres. Ensuite, elle se rehausse pour atteindre près de 10 m dans le passage des varves (Le Boulevard). Les cloches de plafond, les cheminées-diaclasses d'équilibre creusées depuis le bas et le profil du plafond en « montagnes russes » témoignent d'un creusement en régime noyé. A plus de 300 m de l'entrée, le profil de la galerie s'abaisse fréquemment, obligeant même à de bons « rampings », pendant quelques dizaines de mètres, puis on arrive dans une grande salle d'environ 10 m de haut où on peut observer de belles coulées et draperies. Plus loin, un passage bas sur gours secs mène à une « chatière » désobstruée à la broche, suivi d'une galerie toujours basse débouchant dans la salle finale où des désobstructions systématiques sont actuellement tentées. Avant d'atteindre la zone de barrage naturel par des gros éléments morainiques, il y a un entonnoir qui a été approfondi par désobstruction dans les galets. Par cet entonnoir remontent les eaux des crues les plus récentes, la rivière semblant avoir abandonné depuis longtemps l'amont. Les dépôts varvés se trouvent dans cette partie amont à l'abri du cours d'eau temporaire (Chirol, 1991).

II. 2 - LES AGENTS DU MODELE

Les deux agents principaux du modèle actuel de la grotte sont, d'une part l'eau, et d'autre part, la gravité, à l'origine d'éboulis d'effondrement, parfois aidée par la

gélifraction dans les galeries durant les périodes de glaciation. A ces deux agents s'ajoute l'action du glacier qui a colmaté le réseau initial par des moraines.

III- SEDIMENTOLOGIE

III.1 - LES REMPLISSAGES DE LA GROTTÉ SOUS-LES-SANGLES

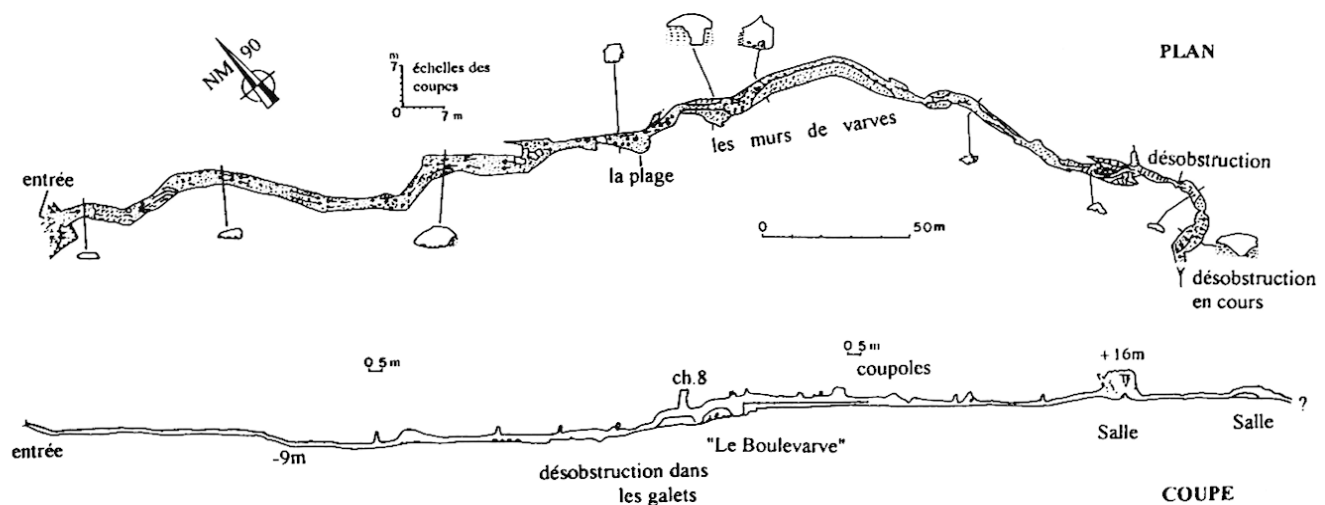
III.1.1 - Les sédiments détritiques

Tous les secteurs de la grotte comportent un important remplissage sédimentaire. Ce remplissage fut jadis encore plus imposant car la cavité a été notablement déblayée par les eaux courantes ainsi qu'en témoignent les traces d'anciens comblements qui allaient par endroits jusqu'au toit des galeries: les chenaux de plafond en sont un témoignage. C'est du reste le cas dans beaucoup de grottes en général: là réside une des causes de l'intérêt des études spéléologiques en géologie du Quaternaire.

On peut diviser la grotte en deux secteurs quant aux types de remplissage prédominant. De l'entrée jusqu'à la plage, on rencontre un matériel détritique allant des éléments plus grossiers aux plus fins (blocs, cailloux, sables). Ces dépôts témoignent du passage de glaciers (éléments de moraines remaniés) et d'eaux courantes. Derrière la plage, des dépôts fins (varves) de 4-5 m d'épaisseur surmontent des matériaux grossiers. Ces dépôts fins témoignent d'une stagnation des eaux.

III.1.2 - Les dépôts de précipitation

Les concrétions sont assez nombreuses et généralement de dimensions modestes. Elles se distribuent sur l'ensemble de la cavité, mais elles sont, cependant, présentes surtout dans la salle d'environ 10 m de haut après les murs de varves sous forme de stalactites, stalagmites, colonnes, coulées, draperies, fistuleuses, etc. Les planchers stalagmitiques reposent directement sur les dépôts détritiques ou sur le bed-rock.



Topographie: Groupe Spéleo d'Hauteville-Lompnès

Plan: Bruno HUGON

Coupe: Bernard CHIROL, Arthur PELISSON, Alexandra CHIROL, 1990

Fig. 2: Grotte Sous-les-Sangles (La Burbanche).
Fig. 2: Sous-les-Sangles cave (La Burbanche).

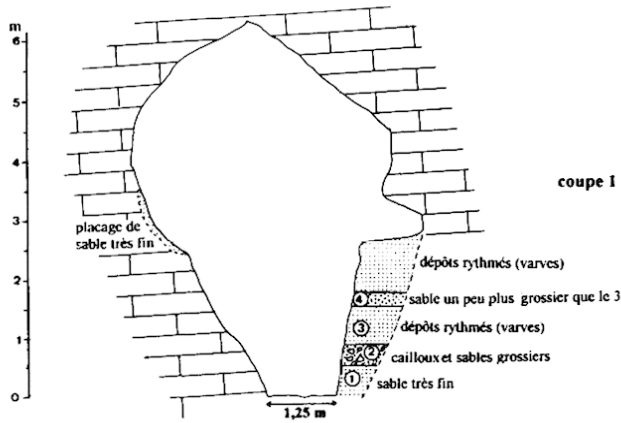


Fig. 3: Coupe transversale dans «Le Boulevardre».
Fig. 3: Transverse section in «Le Boulevardre».

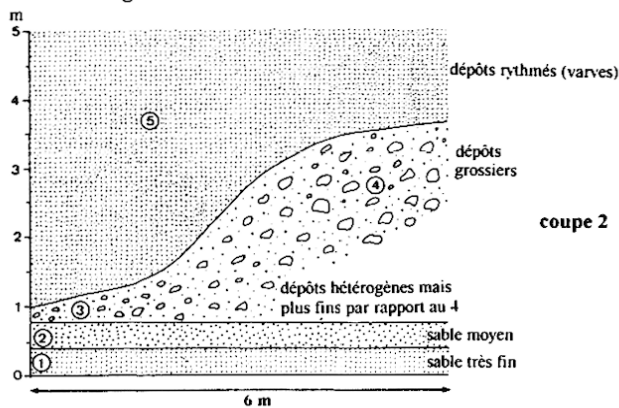


Fig. 4: Coupe latérale dans «Le Boulevardre».
Fig. 4: Lateral section in «Le Boulevardre».

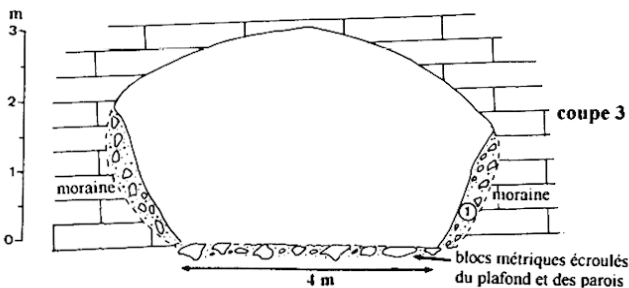


Fig. 5: Coupe transversale à une centaine de mètres de l'entrée.
Fig. 5: Transverse section at a hundred meters from the entrance.

III.2 - LES COUPES ETUDIÉES: DESCRIPTION DES PROFILS

La coupe n° 1 (fig. 3) a été levée dans «le Boulevardre» à 300 m de l'entrée,

la coupe n° 2 (fig. 4) se trouve à quelques mètres de la coupe n° 1 sur la paroi ouest,

une troisième coupe est sise à une centaine de mètres de l'entrée (fig. 5).

Les trois coupes présentent plusieurs particularités. La coupe n° 1 est constituée essentiellement d'un matériel fin avec un niveau de cailloux et des sables grossiers: 28 cm d'épaisseur (fig. 3); les deux autres coupes sont constituées d'un matériel hétérométrique bien stratifié avec beaucoup de sables très fins: varves (fig. 4) et d'un matériel grossier en vrac (fig. 5).

On voit que ces coupes témoignent de plusieurs processus de remplissage de la galerie.

III.3 - ANALYSES SEDIMENTOLOGIQUES

Une dizaine d'échantillons de sédiments ont été prélevés. On a soumis chacun d'entre eux à certaines des analyses suivantes: granulométrie, morphoscopie, composition pétrographique.

III.3.1 - Fraction grossière (> 2 mm)

L'investigation dans ce domaine a porté sur les cailloux des couches 2 (coupe 1), 3 et 4 (coupe 2) et de la coupe 3.

L'étude pétrographique met en valeur la présence, entre autres, d'éléments cristallins, quartzites chloriteux, amphiboles, granites, protogine, gneiss... soit un matériel allochtone au massif calcaire et représentatif des Alpes cristallines. L'origine de ce matériel est à rechercher dans les dépôts morainiques mis en place par les glaciers alpins.

Le matériel de l'entonnoir à galets est bien émoussé. L'histogramme d'émoussés des calcaires de 5-7 cm présente une classe modale très nette (300-350) et le groupement des classes est très marqué; la médiane des indices d'émoussés est de 325 ce qui dénote une action importante des eaux courantes (fig. 6). On peut penser que cet émoussé était peut-être déjà acquis avant d'être piégé sous terre. En tout cas, il est largement supérieur à celui des dépôts morainiques.

L'histogramme d'aplatissement est également unimodal (1,25-1,5) et la médiane est de 1,45 (fig. 7). La proportion des galets peu aplatis (<1,5) s'élève à 60 % et celle des galets très aplatis (>2) ne dépasse pas 8 % (calcaire de nature différente).

III.3.2 - Fraction fine (<2 mm)

Dans la fraction fine ont été considérées la granulométrie, la morphoscopie et la calcimétrie.

* *Granulométrie* (fig. 8 - 11)

Coupe 1 (fig. 3, 8)

Des sables très fins et laminés (éch. 3 et 4, coupe 1) surmontent des graviers et des galets (éch. 2) et des sables fins (éch. 1). Les dépôts grossiers (éch. 2) contiennent des éléments plus ou moins émoussés. Leur courbe granulométrique présente au moins 3 modes, le dépôt est très mal trié: $So = 1,93$. Les couches 3 et 4 ont des courbes unimodales indicatrices d'un milieu calme. Le matériel est très bien trié: $So = 1,13; 1,10$ (tab. I).

Les vitesses de courant sur le fond de la galerie devaient par conséquent (Hjulström, 1939) varier entre 50 cm/s pour le niveau à galet, 4 cm/s pour les niveaux sableux et une vitesse pratiquement nulle pour les dépôts très fins. C'est-à-dire que les débits variaient au moins d'un facteur 1 à 12 ou même 50.

Les dépôts les plus grossiers doivent correspondre à des grosses crues et les sables fins au régime «normal» entre les crues ou même à un milieu calme (lac ou mise en charge totale du réseau).

Coupe 2 (fig. 4, 9)

A la base de la coupe se trouvent des sables très fins et moyens (éch. 1 et 2). Cette unité est surmontée d'un matériel hétérométrique et plus grossier (éch. 3 et 4). Le tout est surmonté d'un sable fin laminé (éch. 5). Ce sable est discordant sur l'ensemble sous-jacent et le contact

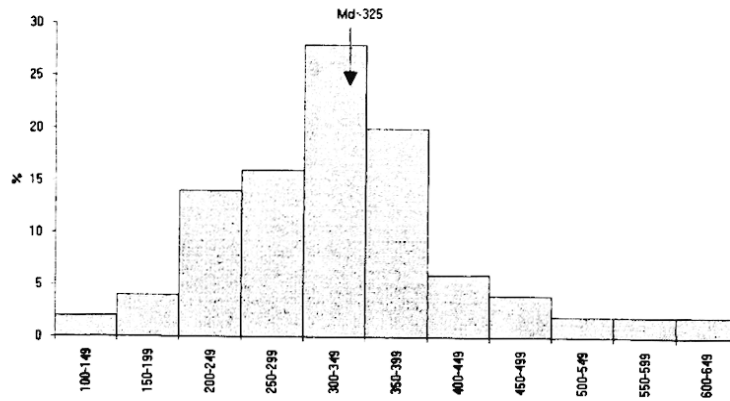


Fig. 6: L'entonnoir à galets: valeurs de l'indice d'émoussé.
Fig. 6: Pebble's funnel: index of roundness.

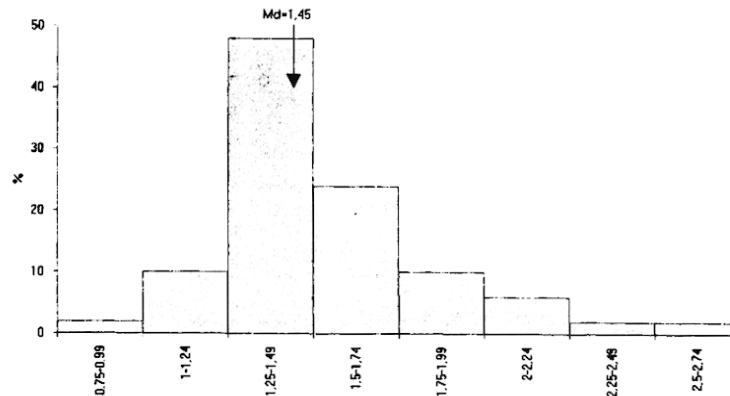


Fig. 7: L'entonnoir à galets: valeurs de l'indice d'aplatissement.
Fig. 7: Pebble's funnel: index of flatness.

Ech.	Coupe 1				Coupe 2					Moraine	Sable actuel
	1	2	3	4	1	2	3	4	5		
Q5	0,64	2,20	0,09	0,10	0,30	2,05	1,90	2,35	0,16	1,70	2,50
Q16	0,47	1,72	0,08	0,09	0,19	1,38	1,48	2,00	0,13	1,27	1,49
Q25	0,40	1,42	0,07	0,08	0,16	1,10	1,20	1,69	0,11	0,97	1,05
Q50	0,27	0,78	0,06	0,71	0,10	0,67	0,68	1,08	0,08	0,58	0,65
Q75	0,15	0,38	0,06	0,06	0,07	0,45	0,28	0,52	0,07	0,32	0,48
Q84	0,13	0,26	0,05	0,06	0,07	0,20	0,16	0,30	0,07	0,22	0,41
Q95	0,08	0,10	0,05	0,05	0,06	0,11	0,09	0,08	0,06	0,11	0,31
Mz	1,99	0,51	4,03	2,70	3,22	0,81	0,88	0,21	3,51	0,88	0,44
σ_i	0,94	1,37	0,26	0,25	0,75	1,35	1,48	1,42	0,47	1,23	0,92
So	1,63	1,93	1,13	1,10	1,48	1,56	2,09	1,80	1,24	1,74	1,48
Qd phi	0,71	0,95	0,17	0,14	0,57	0,64	1,06	0,85	0,31	0,80	0,56
Ski	0,17	0,25	-0,25	10,58	-0,25	0,25	0,32	0,45	-0,37	0,16	-0,29
Kg	0,88	0,98	0,94	1,28	0,88	1,36	0,86	1,18	0,99	1,01	1,09

Tab. 1: Grotte Sous-les-Sangles: paramètres granulométriques. Les nombres en gras indiquent des valeurs exprimées en unité phi.
Tab. 1: Grain-size parameters.

est érosif.

La couche 1 présente la granulométrie d'un sable très fin (éch. 1) avec un maximum entre 0,125 et 0,050 mm, les grains les plus grossiers ne dépassent pas 1,25 mm de diamètre.

La couche 2 présente un sable moyen; sa distribution granulométrique a 4 modes (0,8; 0,315; 0,125; 0,063).

Les courbes granulométriques des couches 3 et 4 présentent au moins 3 modes. Elles doivent représenter le dépôt d'une crue pendant laquelle la vitesse de l'eau a certainement dépassé 50 cm/s. La majorité des gros galets a été transportée par cette crue. Le dépôt est très

mal trié: So = 2,09 (éch. 3) et 1,8 (éch. 4).

La couche 5 est formée d'un dépôt bien trié (So = 1,24) avec 2 modes (0,125 et 0,063). Le matériel est très fin ce qui indique des conditions hydrologiques très calmes.

Coupe 3 (fig. 5, 10)

Les placages de la coupe 3 montrent un matériel très hétérogène, anguleux, en vrac et mal trié (So = 1,74). Il fait nettement penser à des éléments issus d'une moraine. La pétrographie des galets et des graviers montre

que la majorité d'entre eux est formée de calcaire mais des cailloux d'origine alpine y sont également présents.

Le sable «actuel» (sable repris par les fortes crues) présente une courbe granulométrique moins étalée que celle de la moraine par exemple (fig. 11) et un dépôt mal trié ($So = 1,48$).

** Conditions de dépôt*

Nous avons calculé plusieurs indices (tab. I) et les avons pris deux à deux pour permettre une expression quantitative des différents dépôts et esquisser les conditions de milieu de dépôt (Schlüchter, 1977; Campy, 1982; Sbai, 1986). L'utilisation de l'échelle phi a été adoptée pour le calcul des paramètres obtenus par les formules proposées par Folk, R.L. et Ward, W.C. (1957). Les figures n° 12 à 15 présentent des nuages bien définis par chaque échantillon:

- la moyenne graphique (Mz) à l'encontre de l'écart-type (σ) (fig. 12) montre des milieux de dépôt variés. Les variations de Mz dans la coupe traduisent des conditions de sédimentation instables. Néanmoins, on peut observer une certaine parenté de milieu de sédimentation des échantillons 3, 4 (coupe 1) et 1, 5 (coupe 2) et des échantillons 2, 3, 4 (coupe 2), 2 (coupe 1) et le sable «actuel» et la moraine. Ces groupes ont des valeurs de Mz voisines. Les valeurs de σ varient aussi et montrent un mauvais classement surtout dans les échantillons 2 (coupe 1) et 2, 3, 4 (coupe 2) et la moraine.

- la déviation standard (σ) à l'encontre de l'asymétrie (SKi) illustre encore de manière plus évidente l'instabilité du milieu de dépôt. Cet environnement sédimentaire est caractérisé par de brusques variations de la compétence hydrodynamique marquée par l'hétérométrie du matériel et les structures ouvertes. La répartition horizontale des points est très nette; trois phases s'individualisent (fig. 13):

- vers la droite, éch. 3, 4, 2, coupe 2; éch. 2, coupe 1; éch. de la moraine, coupe 3 (dépôts grossiers, milieu instable);

- vers la gauche, éch. 3, coupe 1; éch. 5, coupe 2 (dépôts de varves, milieu stable);

- au milieu, éch. 1, coupe 1; éch. 1, coupe 2; sable «actuel» (sables fins, milieu à instabilité moins forte); l'échantillon 4, coupe 1 a un écart-type faible mais une valeur de SKi très élevée;

- l'indice du mauvais classement «sorting» (So) et l'asymétrie (SKi): Quelques échantillons tendent à être coupés au début (grains grossiers) de leurs courbes granulométriques. Cela donne des signes positifs de l'asymétrie comme on l'observe sur la figure 14; toutes les valeurs de SKi sont au-dessus de la ligne 0 sauf les échantillons 3 (coupe 1), 1, 5 (coupe 2) et le sable «actuel». On peut observer un nuage de points formé par les sables grossiers, les valeurs de So et de SKi sont très proches sauf pour l'échantillon 4 (coupe 1). Les sables grossiers ont des valeurs de So voisines et des valeurs de SKi également voisines. Il en est de même des sables fins ou des varves.

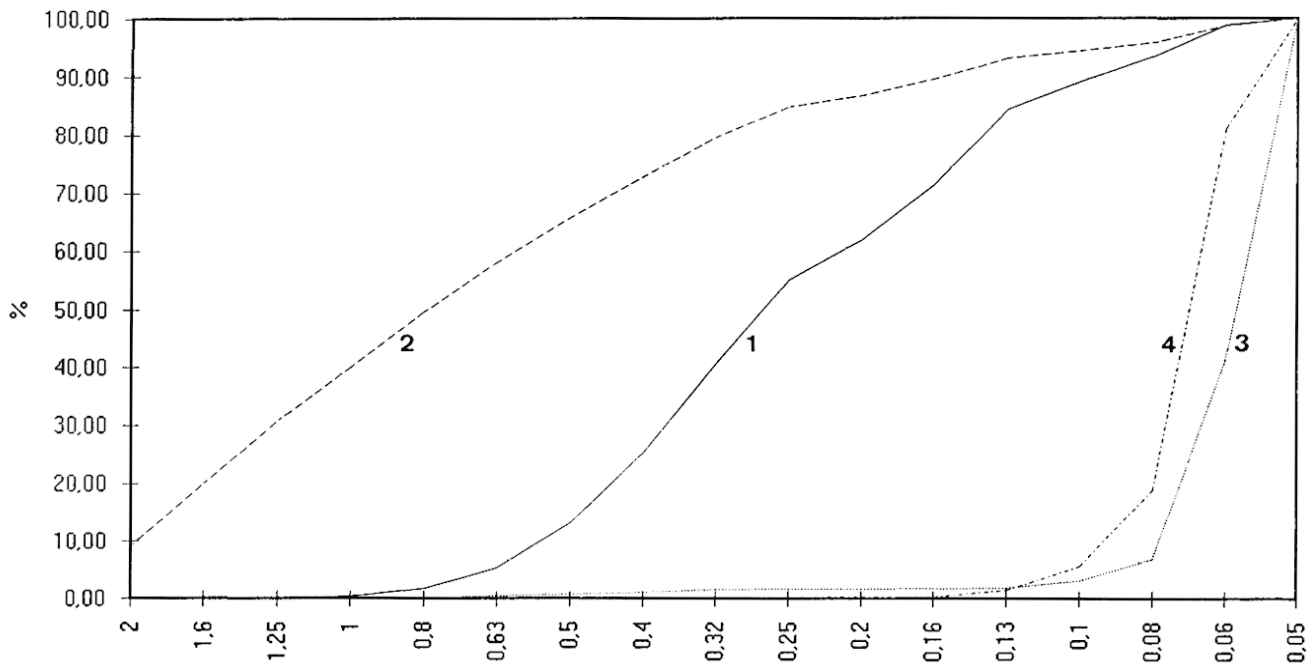


Fig. 8: Courbes granulométriques de la fraction sableuse, coupe 1.

On peut distinguer 3 groupes:

- groupe 1, échantillons 3 et 4: matériel fin issu de dépôts détritiques non évolués ou très peu évolués, dépôt primaire à la suite d'un état très érosif.
- groupe 2, échantillon 1: dépôts lessivés, plurimodaux, triages différentiels (surtout sable moyen); courants. Etat de matrice sableuse décantée, percolation entre le filtre des cailloutis?

- groupe 3, échantillon 2: dépôt plus grossier globalement, réalisé par excès de charge, le plus évolué de la séquence. Variations dans la vitesse du flux énergétique; sable morainique évolué.

Il y a une séparation hydraulique très nette entre ces trois groupes.

(Interprétation uniquement valable pour la fraction sableuse).

Fig. 8: Grain-size curves of sand fraction, section 1.

We can distinguish 3 groups:

- group 1, samples 3 and 4: fine material stemming from detrital deposits not evolved or not very evolved, primary deposit after an erosive state.

- group 2, sample 1: leached deposits, plurimodal, differential sorting (especially median sand), currents. Decanted sandy matrix, percolation among gravel's filter?

- group 3, coarse deposit globally, realized by excess of load, the most evolved of the sequence. Variations in the speed of energetic flow; evolved morainic sand.

There is a very clean hydraulic separation between these three groups.

(This interpretation is valid only for the sandy fraction).

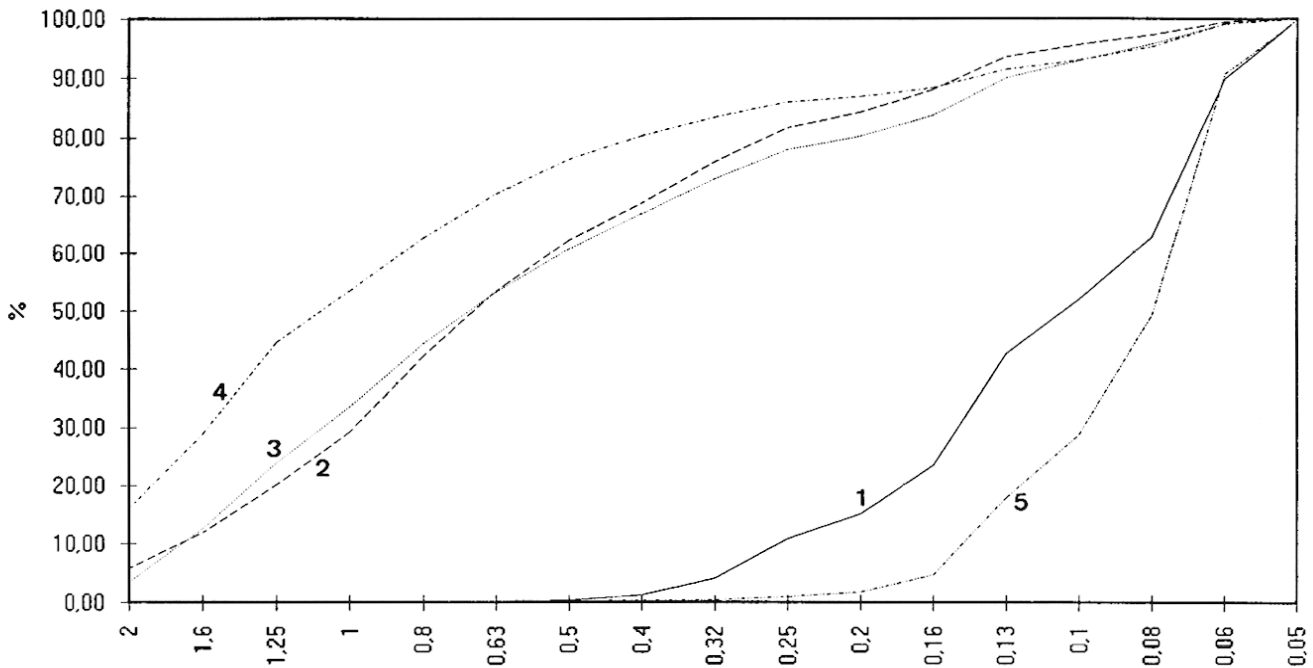


Fig. 9: Courbes granulométriques de la fraction sableuse, coupe 1.

On peut distinguer 3 groupes:

- groupe 1, échantillons 1 et 5: sables assez fins peu évolués plurimodaux; probablement en relation avec les flux saisonniers.

- groupe 2, échantillons 3, 2 et 4: sédiments évolués, triages et modes plus évolués. Courants puis dépôts par excès de charge de sables grossiers tendant vers la décantation. 2 et 3: issus de l'évolution d'un sable morainique mal trié.

Changement du régime hydraulique manifeste entre les deux groupes.

(Interprétation uniquement valable pour la fraction sableuse).

Fig. 9: Grain-size curves of sand fraction, section 1.

We can distinguish 3 groups:

- group 1, samples 1 and 5: sands fine enough, not very evolved, plurimodal, probably in relation with seasonal flow.

- group 2, samples 3, 2 and 4: evolved sediments, sorting and modes very evolved. Currents and deposit by excess of load of coarse sands tending to decantation. 2 and 3: stemming from evolution of a morainic sand.

Evident changement in hydraulic regime between the two groups.

(This interpretation is valid only for the sandy fraction).

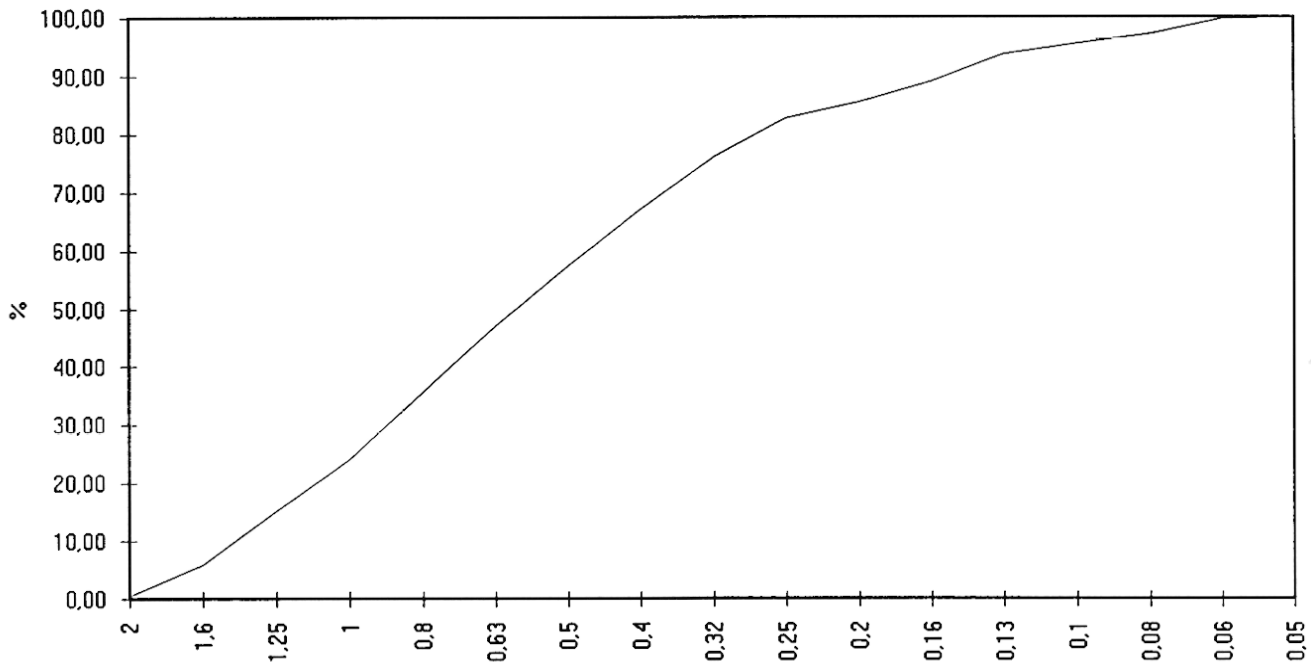


Fig. 10: Courbe granulométrique de la fraction sableuse de la moraine.

Fig. 10: Grain-size curve of sand fraction of morainic deposit.

- l'asymétrie (SKI) et la kurtosis (Kg): la kurtosis a été déterminée à l'encontre de l'asymétrie (fig. 15). On constate une certaine parenté dans la répartition des points avec la figure 14, mais leur dispersion est très nette dans la direction horizontale sur la figure 14 et le diagramme prouve clairement la différence locale entre les plages des points définis par les deux groupes d'échan-

tillons.

Les paramètres granulométriques peuvent être concluants pour l'interprétation des conditions de dépôt surtout quand ils sont envisagés deux à deux (Koldijk, 1968; Schlüchter, 1977; Campy, 1982; Sbai, 1986). Le coefficient d'asymétrie et l'écart-type illustrent de façon évidente les différents types de sédimentation.

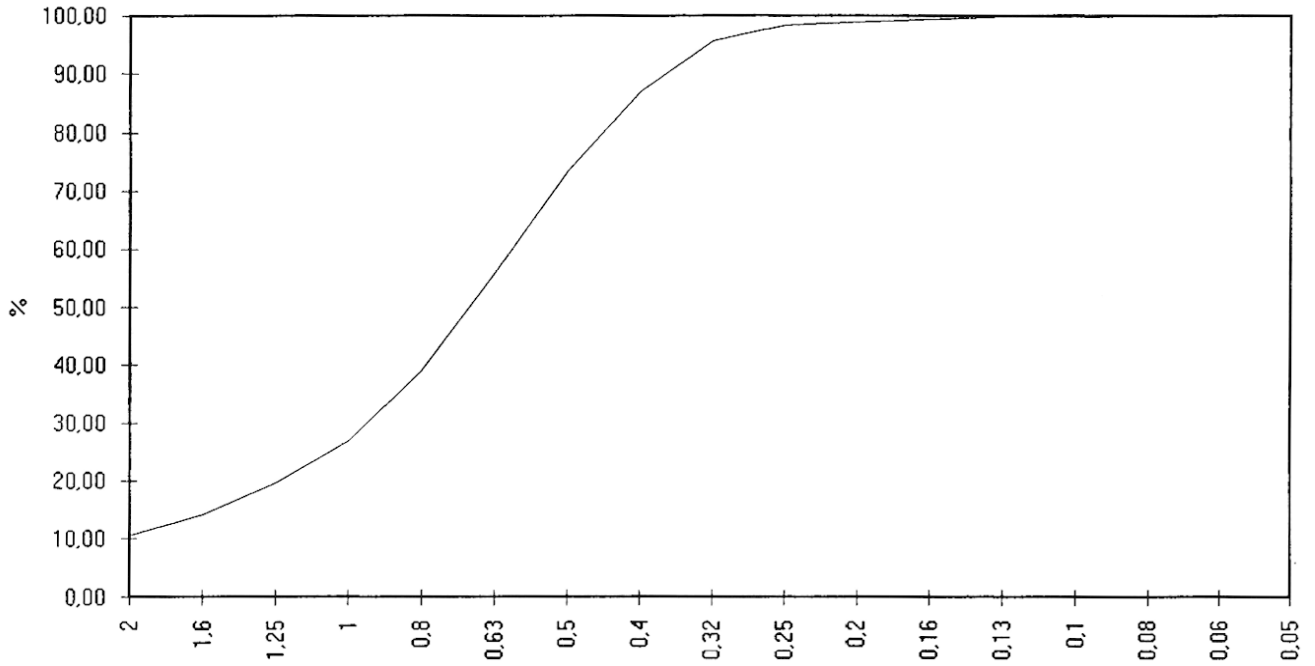


Fig. 11: Courbe granulométrique de la fraction sableuse du sable «actuel».
Fig. 11: Grain-size curve of sand fraction of the recent sand.

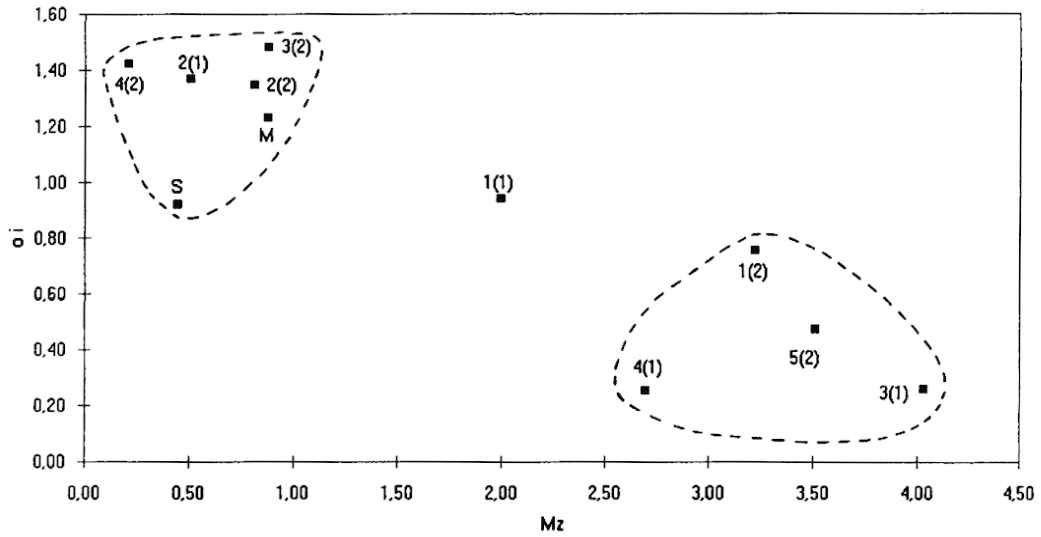


Fig. 12: La moyenne graphique (Mz) à l'encontre de l'écart-type (σ_i); les numéros entre parenthèses indiquent le numéro des coupes.
Fig. 12: Mean size and inclusive graphic standard deviation.

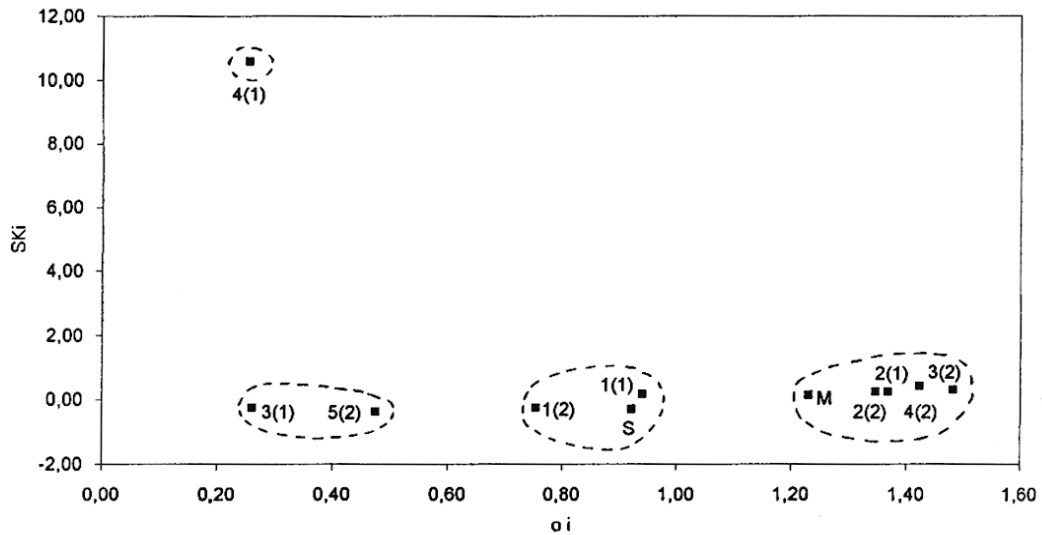


Fig. 13: L'écart-type (σ_i) à l'encontre de l'asymétrie (SKi).
Fig. 13: Inclusive graphic standard deviation and inclusive graphic skewness.

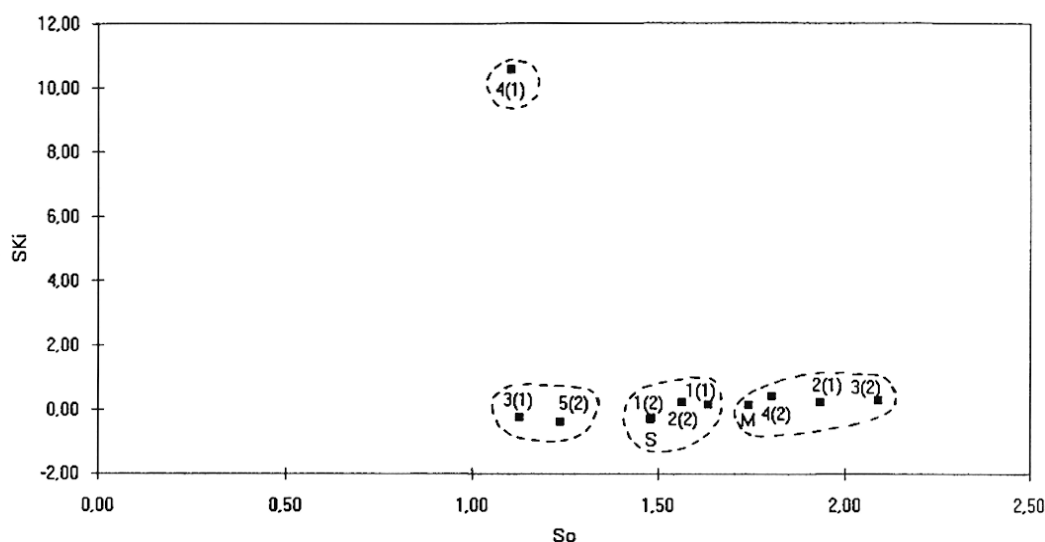


Fig. 14: L'indice du mauvais classement (S_o) à l'encontre de l'asymétrie (SK_i).
Fig. 14: Sorting and inclusive graphic skewness.

* Morphoscopie des quartz (tab. II)

Environ 20 % des grains de sable sont constitués de quartz; cette proportion est assez faible pour une interprétation précise. Ces grains de quartz sont en grande partie non usés ce qui est normal pour un matériel d'origine glaciaire. Il s'agit là de grains dont l'histoire sédimentologique est complexe. Ils proviennent des roches alpines qui ont été transportées par les glaciers, puis reprises par des écoulements fluvio-glaciaires. Les quartz émoussés ont atteint l'aspect luisant. On trouve jusqu'à 25 voire 30 % d'émoussé luisant dans la moraine et les dépôts grossiers de la coupe 2. Il y a parmi ces derniers 1 ou 2 % de ronds mats, certainement hérités.

* Calcimétrie de la fraction fine (tab. III)

Dans toutes les couches, la teneur en calcaire est très forte: 43 à 83 % (tab. III). Le sédiment le moins calcaire est le sable «actuel»: sable repris par les fortes crues (43,54 %). Le sédiment le plus calcaire est celui des varves: 82,81 % (éch. 5, coupe 2) et 75,13 % (éch. 3, coupe 1). Les onze calcimétries effectuées montrent donc qu'une fraction importante du matériel fin provient en grande partie des régions calcaires environnantes et n'a pas été dissoute lors de son transport. Les sédiments fins représentent le résultat d'une désagrégation mécanique rapide des calcaires jurassiques dans une situation sous-glaciaire où les distances de transport sont courtes et où le matériel est rapidement soustrait à l'action de l'eau courante.

En résumé, l'analyse sédimentologique nous montre un remplissage de matériel en majorité d'origine locale avec des éléments allochtones effectué par des eaux courantes et calmes, dans un environnement proglaciaire.

IV - INTERPRETATION MORPHOGENIQUE DES FORMATIONS DETRITIQUES DE LA GROTTE SOUS-LES-SANGLES

A partir des observations concernant les formes et les formations sédimentaires de la grotte, on peut saisir les fonctionnements de cette cavité et par là-même aborder son évolution. Pour ce, il est nécessaire de fixer la signification morphogénique de chacune des formes et

	échantillon	dimensions	émoussé luisant	non usé	% quartz
Coupe 1	1	0,630	10	90	11
		0,315	5	95	20
		0,160	5	95	34
	2	0,630	4	96	10
		0,315	15	85	11
		0,160	15	85	11
	3	0,630	-	-	-
		0,315	-	-	-
		0,160	-	-	-
	4	0,630	-	-	-
		0,315	21	79	37
		0,160	-	-	-
Coupe 2	1	0,630	0	100	8
		0,315	3	97	20
		0,160	3	97	23
	2	0,630	5	95	15
		0,315	10	90	15
		0,160	7	93	14
	3	0,630	25	75	11
		0,315	17	83	12
		0,160	12	88	20
	4	0,630	30	70	8
		0,315	18	82	12
		0,160	24	76	23
	5	0,630	-	-	-
		0,315	20	80	15
		0,160	10	90	15
Moraine	1	0,630	20	80	13
		0,315	30	70	16
		0,160	28	72	22
Sable actuel	1	0,630	25	75	17
		0,315	20	80	28
		0,160	17	83	30

Tab. 2: Morphoscopie des quartz de la grotte Sous-les-Sangles.
Tab. 2: Quartz morphoscopy of Sous-les-Sangles cave.

formations observées et d'étudier les relations existant entre elles.

Trois grandes familles de réseaux caractérisent la grotte Sous-les-Sangles et son évolution spéléologique.

1) Le façonnement en conduite forcée et le développement subhorizontal de la galerie principale se rapportent à une période où la cavité appartenait à la zone noyée du karst; signalons que la zone noyée la plus proche du système karstique actuel se situe environ une centaine de mètres en contrebas de la grotte Sous-les-Sangles. Les tronçons en conduite forcée sont donc les

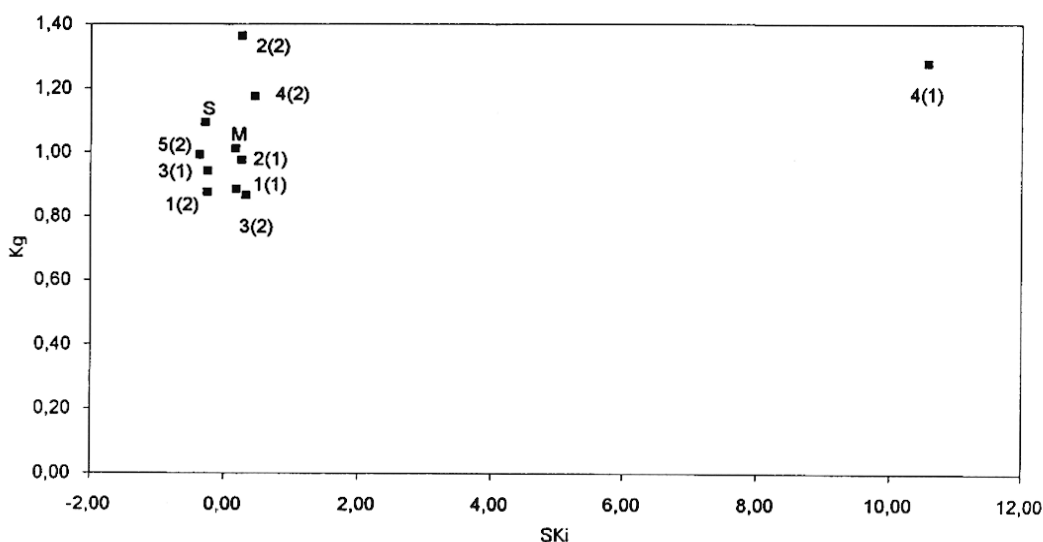


Fig. 15: L'asymétrie (SKi) à l'encontre de la kurtosis (Kg).
Fig. 15: Inclusive graphic skewness and graphic kurtosis.

témoins du conduit initial de la grotte; conduit qui correspond à un des drains d'une ancienne zone saturée du karst.

2) Les galeries chaotiques résultent de phénomènes de détente mécanique et d'écroulement de pans de plafond et/ou de paroi: présence d'un «anneau de décompression» autour de l'axe de la conduite. Cette évolution se fait aux dépens de la morphologie initiale en conduite forcée.

3) Les puits tels l'entonnoir de cailloux peuvent être considérés comme un réseau inférieur mis à jour à l'occasion d'un point bas du réseau; ce peut être à l'origine un surcreusement du réseau.

Par la simple observation et reconnaissance des types de réseaux, on peut distinguer deux étapes fondamentales dans l'évolution de la grotte.

1: une première phase durant laquelle la galerie principale fonctionnait comme drain de la zone noyée du karst.

2: une étape postérieure où la galerie appartient à la zone non saturée (zone de transfert des infiltrations), ce qui sous-entend une réorganisation de la structure du drainage karstique.

La morphologie de la grotte (creusement en régime noyé) et sa direction impliquent un creusement antérieur à la formation de la cluse des Hôpitaux donc fin Tertiaire-début Quaternaire. C'était un collecteur qui drainait une unité synclinale NW-SE, probablement vers le SE, avec des affluents de part et d'autre. La formation de la cluse l'a décapité à l'amont et à l'aval stoppant toute évolution; les affluents venant de l'ouest ont continué à s'enfoncer suivant le niveau de base et ne communiquent plus aujourd'hui qu'à l'occasion de crues exceptionnelles (et du fait du colmatage de leur débouché (moraine, éboulis, tuf...)).

Les remplissages souterrains sont également riches en informations sur le fonctionnement de la cavité.

Dans des dépôts détritiques, on a distingué trois grandes familles:

1 - les dépôts hétérométriques en vrac (éléments de moraines);

2 - les dépôts d'eau courante (éch. 2, 4, coupe 1; éch. 3, 4, coupe 2);

3 - les sables fins triés et lités (varves, phase de décantation ou de délestage).

A ces trois familles, on peut ajouter les débris angu-

	échantillon	calcimétrie (%)
Coupe 1	1	70,01
	2	64,03
	3	75,13
	4	72,57
Coupe 2	1	52,93
	2	70,86
	3	58,05
	4	61,47
	5	82,81
Moraine	1	63,60
Sable actuel	1	43,54

Tab. 3: Calcimétrie des échantillons étudiés.
Tab. 3: Calcimetry of the study samples.

leurs (éboulis) et le sable actuel.

Tous ces dépôts sont dus à des agents de transport et à des conditions de dépôt différents.

L'examen de la répartition spatiale des remplissages permet de dégager plusieurs phases de sédimentation:

1) des dépôts liés à des glaciers ont colmaté le réseau initial. Lors de la dernière glaciation (au moins), la grotte subit comme beaucoup de réseaux un bourrage morainique.

2) une phase de stagnation des eaux: le verrou d'éléments conglomératiques carbonatés semble responsable de l'établissement d'un lac souterrain alimenté périodiquement par les eaux de fonte des glaciers déposant leur farine glaciaire en feuillets périodiques appelés varves. Leur origine peut être glacio-lacustre et leur épaisseur peut dépendre de la proximité du front glaciaire générant cet alluvionnement.

On pourrait également penser que ces varves se sont déposées dans un karst recouvert par les glaciers. Au Würm, la grotte était sous 300-330 m de glace. Le glacier était alors ici bien en-dessous de la limite des neiges éternelles d'où l'abondance des eaux de fonte; le karst était entièrement noyé et le niveau de base inexistant au sens strict. Les circulations étaient donc très lentes: plus fortes en été et plus faibles en hiver avec le regel du glacier (elles se ralentissaient ou s'arrêtaient en hiver) d'où le dépôt rythmé en varves.

3) ce colmatage a été postérieurement recréusé par

des eaux courantes lors d'un stade régressif;

4) les éboulis correspondent à du matériel qui s'est écroulé du plafond ou des parois lors d'une dernière phase de décompression.

C'est à la suite du décolmatage de l'ancien drain que se sont manifestés les phénomènes de détente mécanique-écroulement. En effet, les blocs écroulés reposent clairement soit sur le colmatage recreusé, soit sur le bed-rock.

La dernière famille de dépôts qui caractérise la grotte correspond au concrétionnement de type stalactite-stalagmite. Celui-ci a pu être effectif dès le débouillage de la galerie et demeure toujours fonctionnel. L'environnement montagnard forestier est particulièrement favorable à la migration des carbonates (dissolution, transport en solution, précipitation).

CONCLUSION

Grâce à la seule observation des formes et formations souterraines et de l'organisation des réseaux, il a été possible de restituer quelques-unes des phases de l'évolution de la grotte Sous-les-Sangles. Ces dernières sont les suivantes:

- Agencement d'un système karstique dont le niveau de base se situait au-dessus du fond actuel de la cluse des Hôpitaux.

- La grotte est un drain transmissif de la zone noyée de ce système. C'est durant cette phase (fin Tertiaire-début Quaternaire) que la galerie acquiert sa morphologie de conduite forcée.

- Postérieurement, suite à l'enfoncement du réseau hydrographique, notamment de la cluse des Hôpitaux, de nouvelles structures de drainage se sont mises en place.

- Les remplissages glaciaires ont colmaté la grotte, le verrou d'éléments conglomératiques carbonatés semble responsable de l'établissement d'un lac souterrain alimenté périodiquement par les eaux de fonte des glaciers déposant ainsi les sédiments varvés.

- Les eaux d'infiltration ont contribué au décolmatage secondaire de la grotte.

- Suite à ce décolmatage, la grotte a connu une nouvelle évolution marquée par des écoulements et des dépôts concrétionnés.

L'interprétation chronologique absolue de ces remplissages est délicate; une datation sur des échantillons de planchers stalagmitiques s'avérerait sûrement intéressante.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier M. Sommé, J., professeur à l'Université des Sciences et Technologies de Lille, et M. Campy, M., professeur à l'Université de Bourgogne (Dijon), qui ont bien voulu lire le texte et apporter les remarques nécessaires.

BIBLIOGRAPHIE

- BERTHOIS, L., 1968 - *Analyse microgranulométrique des sédiments*. Centre de Documentation Universitaire, Paris V - Sorbonne, 168p.
- BILLY, G., 1954 - *Etude des courbes normales de dispersion, éléments de statistique à l'usage des naturalistes*. Centre de Documentation universitaire, Paris V - Sorbonne, 211 p.
- CAMPY, M., 1982 - *Le Quaternaire franc-comtois, essai chronologique et paléoclimatique*. Thèse doct. état, Univ. Besançon, 575 p.
- CHIROL, B., 1991 - La grotte Sous-les-Sangles à la Burbanche. *Spéleo 01*, 14, 65-68 et 15, 1992, p. 52.
- DROUIN, Ph., 1986 - La grotte de la Burbanche et l'origine des eaux du Furans (La Burbanche, Ain). *Le Bugey* (Belley), 73, 71-81.
- FOLK, R.L. and WARD, W.C., 1957 - Brazos River Bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journ. of Sedim. Petrol.*, Los Angeles, 27, (1), 3-26.
- HJULSTROM, F., 1939 - Transportation of detritus by moving water. In: *Recent marine sediments*, Trask, P.D., ed. *Amer. Ass. Petrol Geol.*, 5-31.
- KOLDIJK, W.S., 1968 - On environment-densitive grain-size parameters. *Sedimentology*, 10, 57-69.
- RIVIERE, A., 1977 - *Méthodes granulométriques, techniques et interprétations*. Paris, Masson, 170 p.
- SBAI, A., 1986 - *Contribution à l'étude géomorphologique de la région d'Oyonnax (Ain, Jura méridional)*. Thèse, Univ. Lille I, 474 p.
- SCHLUCHTER, Ch., 1977 - Grund moräne versus schlam moräne, two types of logement till in the alpine forland of Switzerland. *Boreas*, 6, 181-188.
- TRICART, J. et CAILLEUX, A., 1959 - Initiation à l'étude des sables et des galets. *C.D.U.*, I, 191 p.
- VERGER, F., 1963 - Les techniques d'analyse granulométrique. *Mém. et doc.*, IX, (1), 64 p.