

LES MODES DE SÉDIMENTATION DÉTRITIQUE : NOUVELLE MÉTHODE DE DÉTERMINATION APPLIQUÉE À DES REMPLISSAGES ENDOKARSTIQUES

Benoît LOSSON & Jeannine CORBONNOIS

*Centre d'Etudes Géographiques de l'Université de Metz (CEGUM), Ile du Saulcy, 57045 Metz Cedex 1, France.
E-mail : losson@club-internet.fr et jcorbonnois@wanadoo.fr*

(6 figures)

RÉSUMÉ. Les grottes de Pierre-la-Treiche (Lorraine, France) sont fortement encombrées d'alluvions, apportées par la Moselle dans le passé. Des études sédimentologiques y ont été réalisées, afin, notamment, de définir les caractéristiques hydrodynamiques de mise en place de ces remplissages endokarstiques. Ainsi, des analyses granulométriques ont permis d'identifier différents paramètres des paléocéoulements, du transport et de la sédimentation des matériaux détritiques, à la fois par l'application de schémas interprétatifs préalablement connus et par la recherche de nouvelles représentations. Les résultats sont souvent exprimés sous la forme de courbes de fréquences cumulées, qui livrent une image granulométrique complète. Cependant, un nombre élevé d'analyses rend les comparaisons difficiles entre échantillons et l'utilisation de coefficients synthétiques devient préférable. Les quantiles et indices dérivés, tels que taille moyenne, classement, asymétrie, ont déjà montré leur intérêt, pour déterminer la compétence, la puissance moyenne, la régularité des circulations, la dynamique fluviale, etc. Certaines corrélations d'indices peuvent s'avérer également expressives. Ainsi, le classique diagramme de Passega (ou image CM) est révélateur du mode de transport des particules, c'est-à-dire de la dynamique hydrologique. De la même manière, il est possible d'obtenir une bonne représentation granulométrique d'un échantillon, en corrélant sa taille moyenne et son coefficient de classement, qui traduisent respectivement la position en abscisse et la pente de la courbe cumulative. Le graphique des « distributions » qui en résulte, permet de définir le mode de sédimentation, et complète utilement les interprétations de l'image CM.

Mots-clés: Sédimentologie, analyses granulométriques, remplissages endokarstiques.

ABSTRACT. Detrital deposition processes: a new method of determination applied on cave fillings. Pierre-la-Treiche caves (Lorraine, France) are largely filled with alluvial deposits, carried by the Moselle river in the past. Some sedimentological studies have been carried out, with the aim of defining the hydrodynamic features of the deposition of these cave fillings. Thus, some grain analyses have allowed to identify different parameters of palaeoflows and of transport and deposition of detrital sediments, both by applying former interpretative patterns and by studying new representations. Results are often given as frequencies cumulative curves, that deliver a complete grain-size picture. However, a high number of analyses makes comparisons difficult between samples and the use of synthetic coefficients should be preferred. Quantiles and derived indices, such as mean size, standard deviation, asymmetry, are classical approaches to determine competence, average power, flow regularity, fluvial dynamics, etc. Some correlations of indices may turn out to be interesting too. Thus, the classic Passega's diagram (or CM picture) reveals the mode of transport of particles, that is the hydrological dynamics. In the same way, it is possible to obtain a good grain-size representation of a sample, by correlating its mean size and its standard deviation coefficient, that respectively convey the position in abscissa and the slope of the cumulative curve. The resulting "distribution" graph allows to define the deposition process, and usefully completes the CM picture interpretations.

Key words: Sedimentology, grain-size analyses, cave fillings.

1. Introduction

Au sein de la sédimentologie, les analyses granulométriques tiennent une place particulière, liée à leur développement dans différentes disciplines des sciences de la terre (géologie, géomorphologie, géoarchéologie, pédologie ; par exemple : Perriaux, 1972, Tricart, 1965,

Miskovsky, 1974). Dans les recherches paléoenvironnementales, ces études statistiques de la dimension des particules (Foucault & Raoult, 2000) constituent une étape complémentaire des observations et interprétations structurales et texturales réalisées dans une formation sédimentaire. En effet, elles permettent de déterminer les processus de transport et de sédimentation hérités :

puissance et dynamique des écoulements passés, mode de transport (fluvial, marin, éolien, solifluidal, gravitaire, etc.), modes d'accumulation et remaniements synsédimentaires.

Dans cet article, on se propose de présenter une méthode d'interprétation des analyses granulométriques, en terme de sédimentation détritique, en se basant sur l'étude de quatre coupes sédimentaires dégagées dans des remplissages endokarstiques d'une même grotte. On ne s'intéressera qu'à des sédiments fluviaux, mis en place par des circulations souterraines concentrées. Cette méthode, nouvelle dans sa conception, s'appuiera, pour l'aspect interprétatif, sur des travaux antérieurs menés sur ce sujet, avec comme objectif de compléter et de synthétiser l'information.

2. Présentation du site d'étude et des remplissages considérés

Le réseau karstique concerné par cette étude se trouve dans la vallée de la Moselle, en Lorraine centrale (Fig. 1). Il s'agit de la Grotte Sainte-Reine, caractérisée par d'importants remplissages alluviaux. Ces comblements sont liés à des flux liquides et sédimentaires en provenance de la Moselle, de manière sous-fluviale (pour les modalités spéléogénétiques, cf. Losson, 2003 ; Losson *et al.*, à paraître).

Les quatre coupes prises en considération se répartissent dans plusieurs secteurs spéléomorphologiques du réseau (Fig. 2) :

(1) Le sondage de l'Entrée E se situe vraisemblablement à proximité d'une ancienne zone d'introduction souterraine des alluvions mosellanes, qui sont de bonne dimension dans certains dépôts (galets jusqu'à 20 cm de grand axe dans la série E).

(2) La coupe de l'Entrée B se trouve dans une galerie plus petite, avec un éloignement un peu plus marqué par rapport aux anciennes zones d'introduction des matériaux. Les alluvions y sont donc de plus faible dimension globalement.

(3) L'excavation de la Salle des Draperies est localisée au-delà d'un boyau étroit, ce qui explique ses caractéristiques sédimentologiques très différentes des deux précédentes coupes, avec un épais remblaiement limono-argileux (série D).

(4) La fosse creusée dans la Galerie du Calvaire est la plus éloignée des entrées actuelles de la grotte. Pour l'atteindre, on passe par des conduits bas à l'allure de « siphons », qui ont eu une influence sur les caractéristiques sédimentologiques des dépôts (granularité générale plus faible, bien marquée dans le cas de la série E, dont on présume une contemporanéité chronostratigraphique avec celle des Entrées E et B).

Avec les analyses granulométriques qui vont suivre, on ne cherchera pas à déterminer les conditions de mise en place des sédiments détritiques, spécifiquement pour chacune des coupes. Autrement dit, les remplissages seront pris en considération dans leur globalité, avec un total de 135 échantillons analysés.

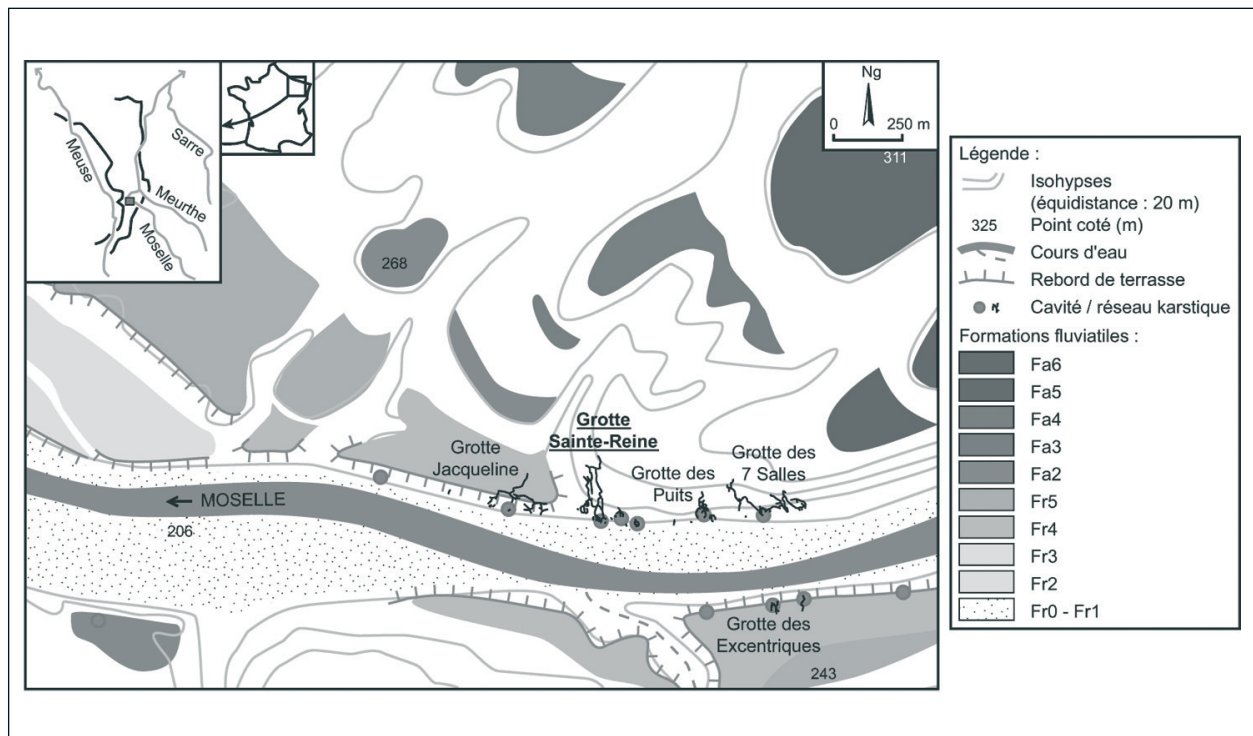


Figure 1. Carte morphosédimentaire du secteur de Pierre-la-Treiche. *Morphosedimentary map of Pierre-la-Treiche area.*

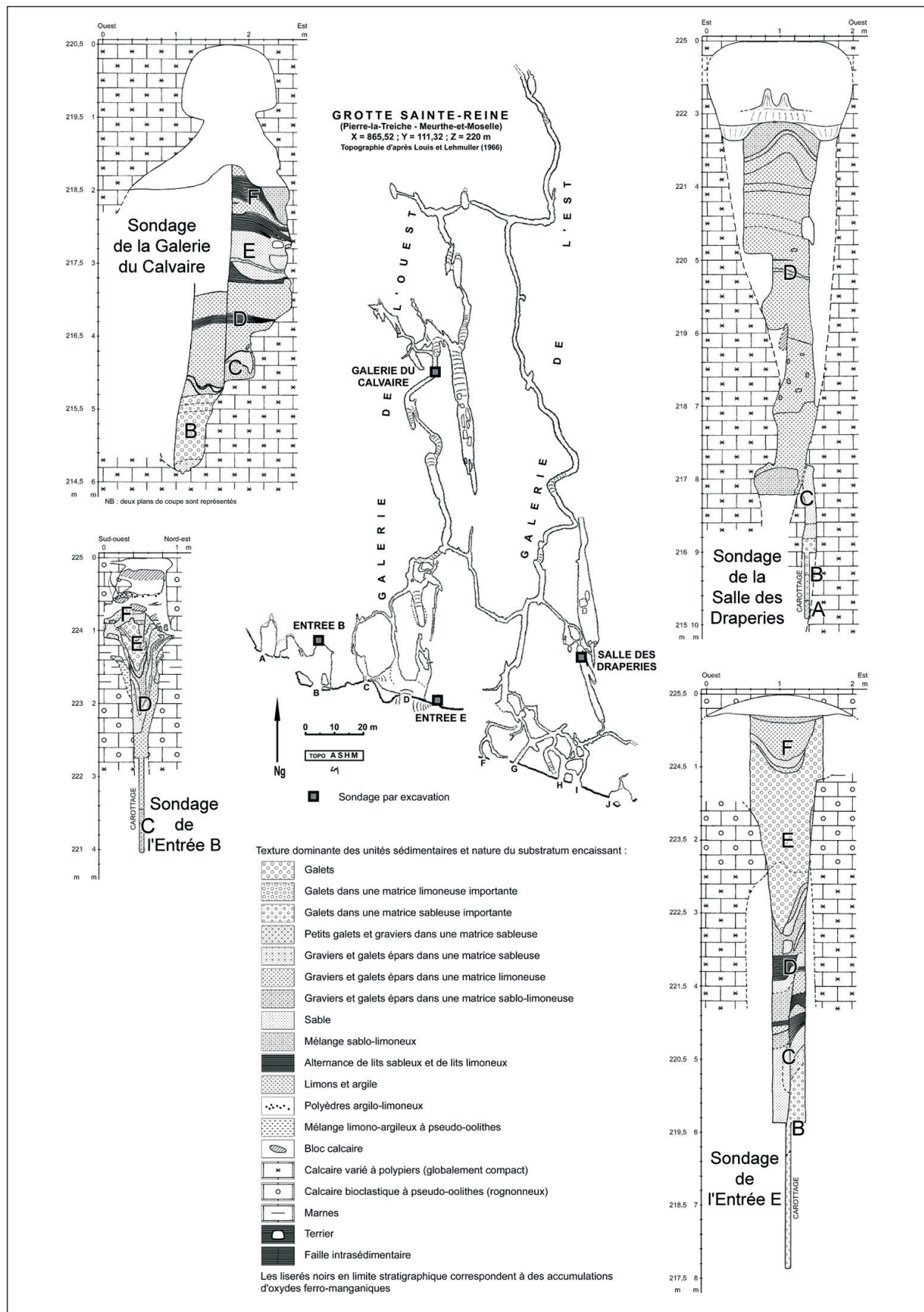


Figure 2. La Grotte Sainte-Reine et ses quatre sondages principaux. *Sainte-Reine cave and its four main boreholes.*

3. Les paramètres statistiques utilisés : présentation et significations hydrodynamiques

Compte tenu des nombreuses techniques et représentations granulométriques existantes, il importe de préciser un minimum les conditions d'analyses. Seules les données utiles dans la suite de cet article seront exposées.

A partir des données granulométriques chiffrées, obtenues par tamisage pour les particules sablo-graveleuses et densimétrie pour les particules limono-argileuses, il existe plusieurs façons de représenter les résultats, sous forme graphique et/ou d'indices (cf. Perriaux, 1972 ; Hadjouis, 1987 ; Chamley, 2000). Les graphiques les plus représentatifs, en terme d'image granulométrique de l'échantillon analysé, sont l'histogramme de fractions (pourcentages par classes granulométriques) et la courbe fréquentielle (pourcentages cumulés). Nous ne nous intéresserons qu'à ce deuxième type de graphique, avec des ordonnées en échelle arithmétique, et une figuration de la granulométrie intégrale de l'échantillon. Les indices ne retiennent que certaines informations de la granulométrie d'un dépôt, mais ils facilitent les comparaisons entre échantillons. Les plus connus sont les fractiles, appelés aussi quantiles ou percentiles P_n , qui correspondent aux valeurs telles que 100n % du matériel soit d'une taille inférieure à celui de la taille considérée. Hormis la médiane (ou percentile P_{50}), valeur particulière qui divise la distribution en deux parties égales contenant chacune 50 % des effectifs, les percentiles P_1 , P_5 , P_{16} , P_{25} , P_{75} , P_{84} et P_{95}

sont les plus utilisés. Ils peuvent être lus directement sur les courbes de fréquence (mais avec une faible précision) ou calculés à partir des données chiffrées.

Il faut noter que l'examen de la granulométrie globale de l'échantillon génère parfois une légère incrémentation des indices obtenus pour les courbes « incomplètes », au niveau des limons dans le cas des tamisages, ou des argiles dans le cas des densimétries. Cela est surtout vrai dans le cas d'une utilisation des percentiles les plus élevés (P_{84} et P_{95}). Néanmoins, les résultats, qui restent synthétiques, ne souffrent pas fondamentalement de ces « extrapolations ».

D'autres indices sont calculés à partir des fractiles. Trois d'entre eux, proposés par Folk et Ward (1957, cités par Lang, 1968, Hadjouis, 1987 et Chamley, 2000), ont retenu notre intérêt. Précisons que leurs calculs se font en unités ϕ , dont l'échelle arithmétique correspond à une progression géométrique de raison 2 et de premier terme 1 mm (système américain; cf. Chamley, 2000). La conversion s'effectue par la formule logarithmique $\log_2 d = (\ln d / \ln 2)$, où d correspond à une dimension donnée en mm.

La taille moyenne de l'échantillon répond à la formule suivante :

$$T_m = (P_{16} + P_{50} + P_{84}) / 3$$

On note que seule la partie centrale de la courbe granulométrique est prise en considération. A partir du résultat en unité ϕ , une conversion en mm est effectuée, pour obtenir une signification physique. Cet indice traduit la puissance moyenne des paléocourants.

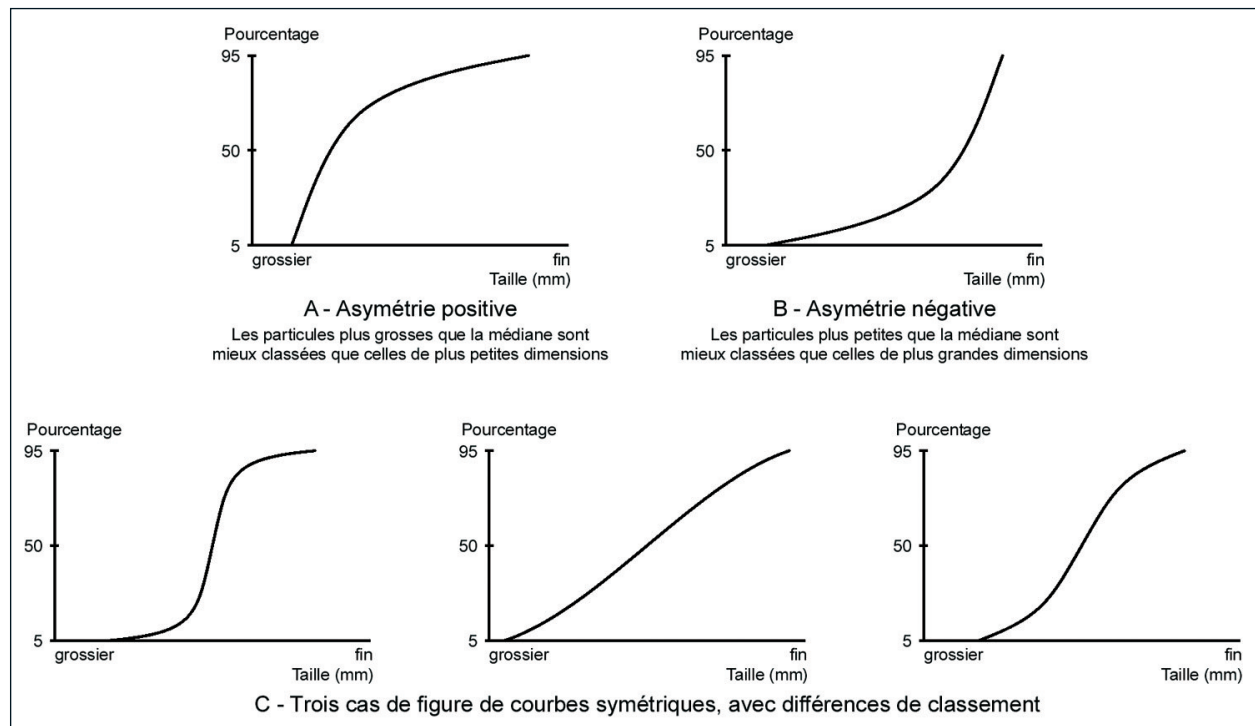


Figure 3. Indice d'asymétrie SK et allure des courbes de fréquences cumulées : exemples démonstratifs. *SK asymmetry index and feature of the frequencies cumulative curves: demonstrative examples.*

Le classement (appelé aussi écart-type ou déviation standard) se calcule ainsi :

$$\sigma_i = (P_{84} - P_{16})/4 + (P_{95} - P_5)/6,6$$

Cet indice, qui met de côté la population de fréquences extrêmes (particules représentant les 5 premiers et les 5 derniers pour cent), donne une idée du tri des sédiments. Il renseigne sur la régularité des flux au moment de la sédimentation. On soulignera que les catégories de classement fixées par les auteurs de la formule, ont été adaptées aux résultats obtenus (*cf. infra*).

La formule de l'asymétrie utilise les mêmes fractiles :

$$SK = (P_{84} + P_{16} - 2 \times P_{50}) / (2(P_{84} - P_{16})) + (P_{95} + P_5 - 2 \times P_{50}) / (2(P_{95} - P_5))$$

Elle opère une comparaison de la pente de la courbe cumulative entre les particules plus grosses que la médiane et celles de plus petites dimensions. Une asymétrie positive se rapporte à un meilleur classement des sédiments les plus grossiers (Fig. 3A), à l'inverse d'une asymétrie négative (Fig. 3B), tandis que le dernier cas de figure correspond à une courbe symétrique, dont le tri global peut varier fortement (Fig. 3C). On peut rapprocher ces trois types, des courbes dites paraboliques, hyperboliques, et sigmoïdes ou logarithmiques, respectivement (*cf. Rivière, 1953, 1977; Tricart, 1965*).

Diverses interprétations existent à propos de la valeur de cet indice. Selon H. Chamley (2000), il exprime le milieu de dépôt, plutôt que les conditions de transport. Ainsi, les fortes asymétries positives se rencontrent essentiellement dans les sédiments fluviaux enrichis en fines décantées en fin de crue (augmentation de l'hétérométrie de cette catégorie de sédiments par rapport aux particules plus grossières), tandis que les asymétries négatives s'observent davantage dans les sables littoraux où les fines sont éliminées par vannage. Pour G. Arnaud-Fassetta (1998, 2000), qui a étudié des matériaux fluviaux uniquement, SK traduit le fonctionnement du milieu de sédimentation et la dynamique de fin d'accumulation : enrichissement en particules « grossières » (asymétrie négative ; exemple d'une injection de sables lors d'une crue dans un milieu peu énergétique, tel qu'un marécage) ou de particules « fines » (asymétrie positive). Il peut également indiquer une évolution postsédimentaire ; par exemple, un lessivage donnera au dépôt concerné une asymétrie négative.

Dans les remplissages étudiés, d'origine fluviale également, il semble que l'indice d'asymétrie exprime effectivement la dynamique fluviale, ou plus exactement les caractéristiques hydrologiques ayant influencé l'accumulation des sédiments :

- SK tend vers 1 pour des dépôts mis en place lors d'afflux d'eau soutenus (apport en masse des particules « grossières »), suivis de décroissances régulières des écoulements (arrivée de sédiments de plus en plus fins, donc mal triés) ;
- SK tend vers -1 lorsqu'une partie minoritaire des dépôts est due à des afflux d'eau brefs, au sein de phases hydrologiques relativement constantes (quelques particules grossières viennent alors se mêler aux particules fines mieux classées) ;

- SK est proche de 0 dans trois situations hydrodynamiques : des courants réguliers (qui donnent des sédiments bien triés), des décroissances de circulations brutales faisant suite à des afflux d'eau plus ou moins soutenus (qui génèrent des dépôts très mal classés, éventuellement dus à des blocages spéléomorphologiques), et des afflux peu marqués par rapport aux longues phases de diminution hydrologique (qui fournissent un mélange de matériaux grossiers et fins, englobés dans des sédiments de taille moyenne légèrement majoritaires).

On peut superposer à ces trois cas, des puissances de courants variables, qui joueront uniquement sur la grossièreté ou la finesse globale des échantillons. Ainsi, les afflux d'eau peuvent correspondre à de véritables crues lorsque l'on s'intéresse à un dépôt à galets, ou à une faible intumescence hydrologique dans des écoulements lents, si l'on prend en considération une proportion minoritaire de limons grossiers au sein de particules décantées.

Il est bien sûr possible de mettre en relation des indices sur un même graphique, pour permettre des interprétations plus complètes des caractéristiques granulométriques. C'est un cas de figure classique (*cf. Koldijk, 1968 ; Sbai, 1995*), l'exemple le plus connu étant sans doute le diagramme de Passega (ou image CM), qui corréle le premier percentile en fonction de la médiane (*cf. Berthois, 1975*). Ce graphique, qui permet la lecture des conditions hydrodynamiques, a été largement utilisé (*cf. Quinif et al., 1979 ; Maire & Quinif, 1988 ; Peiry, 1990 ; Blockmans et al., 1999*), et parfois modifié (Arnaud-Fassetta, 1998 ; Maleval & Jigorel, 2002).

L'objet de cet article est la présentation d'un nouveau diagramme interprété, complémentaire de l'image CM, portant sur les modes de sédimentation.

4. Réalisation et interprétation du « graphique des distributions granulométriques »

Sur un graphique bilogarithmique est corrélé l'indice de classement σ_i en fonction de la taille moyenne T_m (Fig. 4). En surcharge, des groupes sont définis, avec pour chacun d'eux une nomenclature significative d'un type de « distribution » granulométrique. Les lettres représentent la fraction prédominante (G = galets-graviers au-delà de 2 mm ; Sg, Sm, Sf = sables grossiers, moyens et fins, pour les classes respectives de 20,63, 0,630, 16 et 0,160, 05 mm ; Lg, Lm, Lf = limons grossiers, moyens et fins, qui correspondent respectivement aux classes 5020, 206,3 et 6,32 μm) et le chiffre indique la qualité du tri sédimentaire (1 = bien classé, 2 = moyennement classé, 3 = mal classé et 4 = très mal classé). Quelle est la signification de ce graphique des distributions granulométriques ?

La variation des valeurs de la taille moyenne T_m correspond à un déplacement de la courbe cumulative selon l'axe des abscisses, c'est-à-dire la dimension des particules. Les variations de σ_i selon l'axe des ordonnées se rapportent,

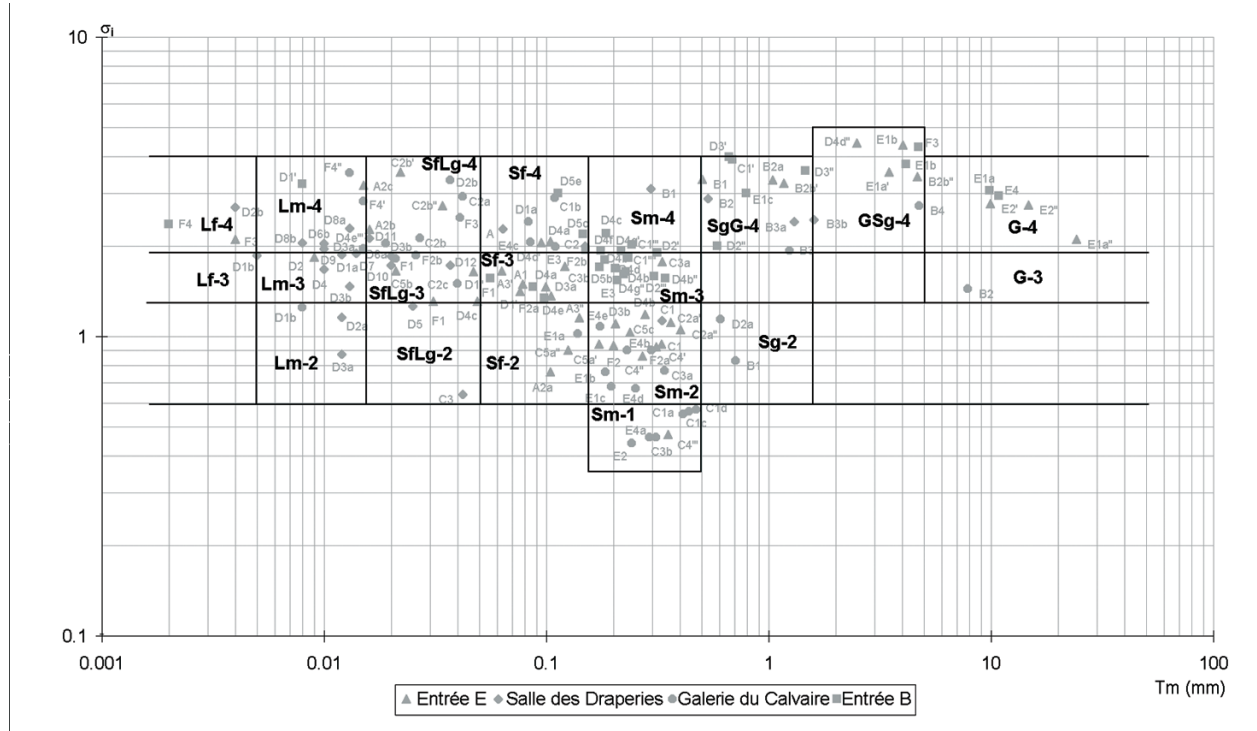


Figure 4. Diagramme des distributions granulométriques : $\sigma_i = f(Tm)$ et typologie adoptée. *Grain-size distributions graph: $\sigma_i = f(Tm)$ and adopted typology.*

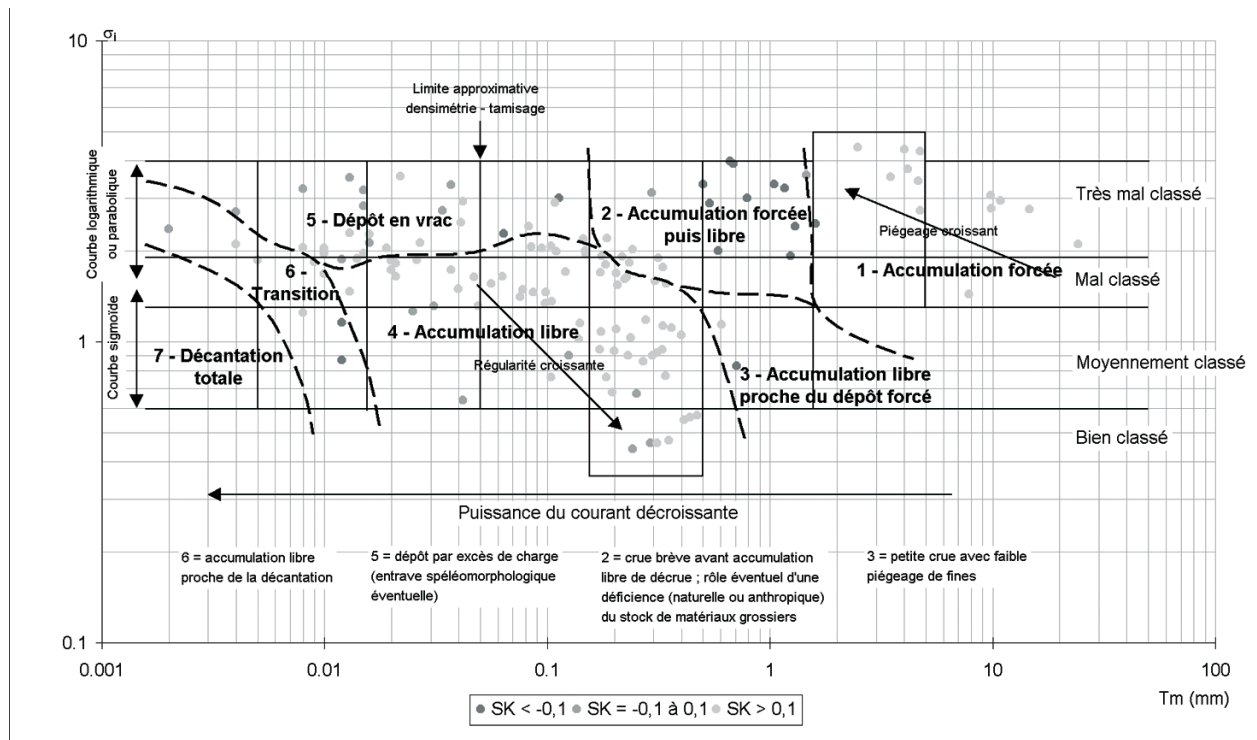


Figure 5. Interprétation du diagramme des distributions granulométriques, avec indice d'asymétrie des échantillons endokarstiques. *Interpretation of the grain-size distributions graph, with asymmetry index of the cave samples.*

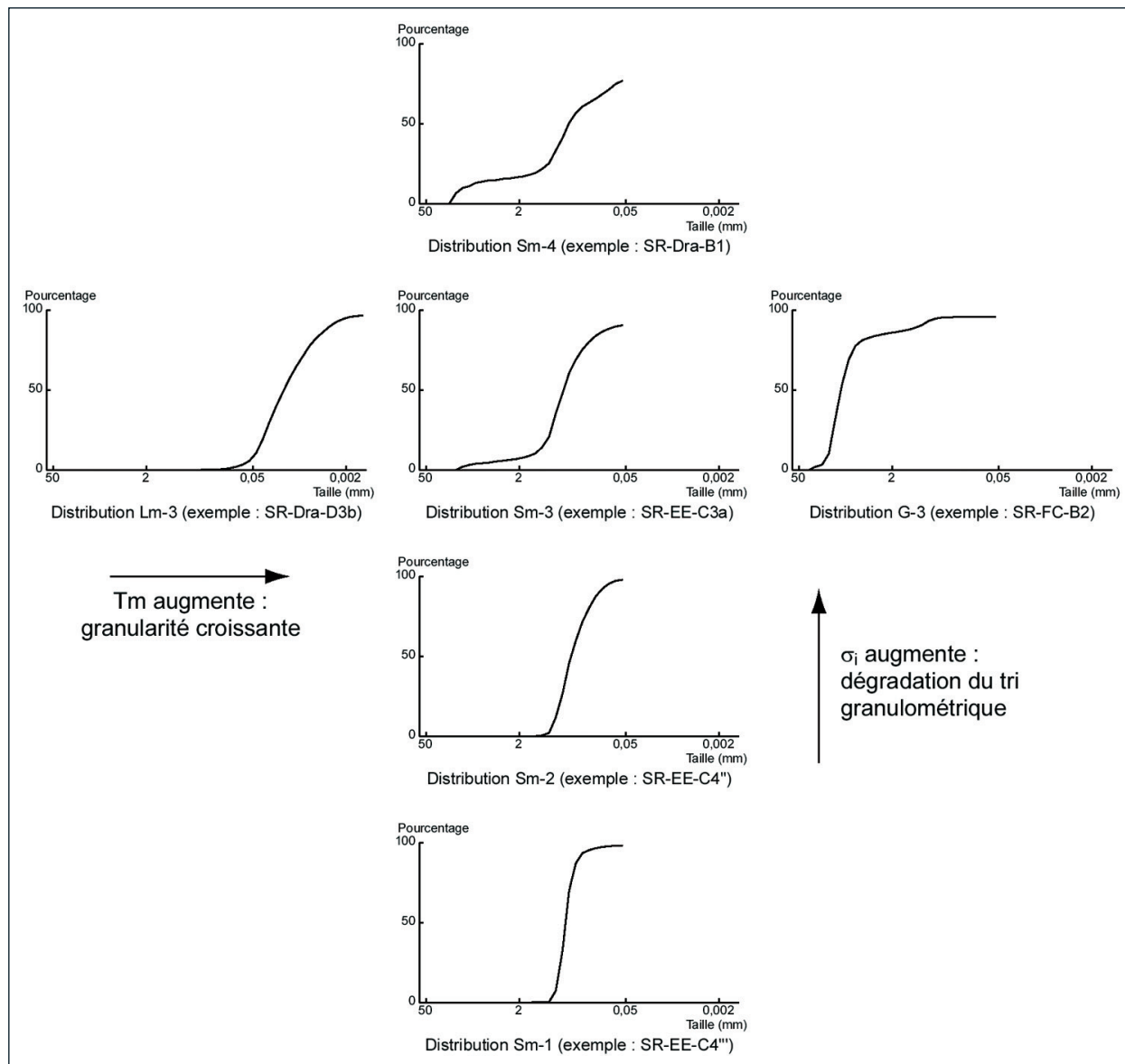


Figure 6. Signification du diagramme des distributions granulométriques : quelques exemples de courbes de fréquences typologiques. *Meaning of the grain-size distributions graph: some examples of typological frequencies curves.*

quant à elles, à la pente de la courbe cumulative, qui est plus ou moins redressée (Fig. 6).

Par conséquent, chacun des groupes donne une image de courbe cumulative. Bien entendu, les limites typologiques sont artificielles (à proximité d'une limite, deux échantillons situés dans deux groupes différents auront des courbes semblables). Mais l'intérêt de ce graphique est la comparaison aisée de nombreux échantillons, pour lesquels il serait compliqué d'obtenir une vue globale avec la représentation de toutes les courbes granulométriques.

A partir de là, il est possible d'interpréter les distributions, en terme de processus hérités de la sédimentation. L'analyse des principaux types de courbes granulométriques (parabolique, sigmoïde, hyperbolique et loga-

rithmique) a été notamment réalisée par J. Tricart (1962, 1965), qui a expliqué ces différentes formes de courbes par les conditions hydrodynamiques d'accumulation (forcée, libre, en vrac). Ces interprétations majeures ont été reprises, et les secteurs intermédiaires du diagramme ont ensuite été complétés en fonction des paramètres texturaux dominants des échantillons concernés (Fig. 5).

En surcroît, il est possible de figurer, par des classes de couleurs, les principales valeurs d'asymétrie de chaque échantillon. Ceci fournit des indications supplémentaires, relatives aux caractéristiques paléohydrologiques (*cf. supra*). On obtient ainsi un graphique relativement complet, pour ce qui est de la signification hydrosédimentaire des dépôts étudiés (Fig. 5).

5. Conclusion

Au final, trois éléments semblent devoir retenir notre attention :

(i) les distributions granulométriques définissent le mode de sédimentation ; elles s'avèrent complémentaires des interprétations issues du diagramme de Passega, à propos du mode de transport des particules sédimentaires ;

(ii) des ajustements des interprétations proposés sont prévisibles et souhaitables, dans la mesure où la méthode a été mise au point sur la base d'un matériel sédimentologique totalement déconnecté de tout système actif. L'apport fourni par les travaux antérieurs pour la création de la « grille de lecture » du diagramme, ne peut exclure une vérification ultérieure en conditions hydrodynamiques actuelles ;

(iii) plus généralement, on rappellera que les analyses et interprétations ont été réalisées pour des dépôts fluviaux et endokarstiques uniquement. Il faudra vérifier les applications, et compléter les interprétations, pour d'autres types de dépôts et d'autres milieux de sédimentation.

À la suite de cette étude sédimentologique, on soulèvera également une réflexion générale sur sa pertinence. Les analyses granulométriques sont en effet longues à réaliser, alors que les simples observations des structures et textures sédimentaires donnent déjà une idée des variations d'écoulements au cours du temps. Mais on constate que les analyses fournissent une vision plus dynamique de la mise en place des dépôts. Pour s'en convaincre, on peut indiquer que les vitesses des paléocéoulements ne peuvent être obtenues qu'avec des analyses granulométriques. Tout dépend donc des objectifs et de la précision que l'on recherche dans les travaux sédimentologiques.

Références

- ARNAUD-FASSETTA, G., 1998. *Dynamiques fluviales holocènes dans le delta du Rhône*. PU Septentrion, Villeneuve d'Ascq, thèse doctorat, Université de Provence (Aix-Marseille I), 329 p.
- ARNAUD-FASSETTA, G., DE BEAULIEU, J.-L., SUC, J.-P., PROVANSAL, M., WILLIAMSON, D., LEVEAU, P., ALOÏSI, J.-C., GADEL, F., GIRESSSE, P., OBERLIN, C., DUZER, D., 2000. Evidence for an early land use in the Rhône delta (Mediterranean France) as recorded by late Holocene fluvial paleoenvironments (1640-100 BC). *Geodinamica Acta*, Elsevier, Paris, 13, 6 : 377-389.
- BERTHOIS, L., 1975. *Les roches sédimentaires*. Doin, Paris, 1 : étude sédimentologique des roches meubles (techniques et méthodes), 278 p.
- BLOCKMANS, S., QUINIF, Y., BINI, A., ZUCCOLI, L., 1999. Dynamique sédimentaire et paléoenvironnements durant la transition Weichsélien-Holocène à partir des dépôts endokarstiques de la grotte de Han-sur-Lesse (Belgique). *Bulletin de la Société géologique de France*, 170, 6 : 841-852.
- CHAMLEY, H., 2000. *Bases de sédimentologie*. Dunod, Paris, 2ème édition, 178 p.
- FOUCAULT, A., RAOULT, J.-F., 2000. *Dictionnaire de géologie*. Dunod, Masson Sciences, Paris, 5ème éd., 380 p.
- HADJOUIS, A., 1987. Granulométrie des fractions sableuses. In : Miskovsky J.-C. (ed.) - *Géologie de la pré-histoire*. Géopré, Paris, 413-426.
- KOLDIJK, W.S., 1968. On environment-sensitive grain-size parameters. *Sedimentology*, Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 10 : 57-69.
- LANG, J., 1968. *Petit guide pratique pour l'étude des sédiments meubles*. CDU (collection « Les cours de Sorbonne »), Paris, 85 p.
- LOSSON, B., 2003. *Karstification et capture de la Moselle (Lorraine, France) : vers une identification des interactions*. Thèse doctorat, Université de Metz, 3 volumes, 825 p. [éditée dans *Mosella*, Université Paul Verlaine - Metz, XXIX, 12 : 492 p. (+ 1 cd-rom)].
- LOSSON, B., CORBONNOIS, J., ARGANT, J., AUDRA, P., QUINIF, Y., ROCHETTE, P., à paraître. Données spéléochronologiques et paléoclimatiques issues des remplissages de la Grotte Sainte-Reine (Pierre-la-Treiche, Lorraine, France). *Comunità Montana - Valsassina, Valvarrone, Val d'Esino e Riviera* [actes de la table ronde franco-italienne en Lombardie (journées de l'Association Française de Karstologie), 2-5 sept. 2004].
- LOUIS, M., LEHMULLER, D., 1966. *Contribution à l'avancement du catalogue des cavités de Meurthe-et-Moselle*. Association Spéléologique de la Haute-Marne et Union Spéléologique Autonome de Nancy, 2 volumes, 133 p. (+ 34 planches).
- MAIRE, R., QUINIF, Y., 1988. Chronostratigraphie et évolution sédimentaire en milieu alpin dans la Galerie Aranzadi (Gouffre de la Pierre Saint Martin, Pyrénées, France). *Annales de la Société géologique de Belgique*, SGB, Liège [actes colloque international de sédimentologie karstique, Han/Lesse, 18-22 mai 1987], 111 : 61-77.
- MALEVAL, V., JIGOREL, A., 2002. La sédimentation dans un lac artificiel. Exemple du lac de Saint-Pardoux, massif d'Ambazac, Limousin, France. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, GFG, Paris, 4 : 307-320.
- MISKOVSKY, J.-C., 1974. *Le Quaternaire du Midi méditerranéen (stratigraphie et paléoclimatologie)*. Laboratoire de paléontologie humaine et de préhistoire (collection « Etudes quaternaires : géologie, paléontologie, préhistoire »), Université de Provence, Marseille, 3 (remplissage des grottes) : 331 p.
- PEIRY, J.-L., 1990. Paléodynamique fluviale et chronologie de l'incision holocène de la basse vallée de l'Arve (Haute-Savoie). *Revue géographique de l'Est*, PUN, Nancy, XXX, 1 : 77-92.
- PERRIAUX, J., 1972. Dynamique des roches sédimentaires : la sédimentologie. In : Goguel J. (ed.) - *Géologie 1. La composition de la Terre*. Gallimard (collection « Encyclopédie de la Pléiade »), 721-757.
- QUINIF, Y., DUPUIS, C., BASTIN, B., JUVIGNÉ, E., 1979. Etude d'une coupe dans les sédiments quaternaires

res de la Grotte de la Vilaine Source (Arbre, Belgique). *Annales de la Société géologique de Belgique*, SGB, Liège, 102, 1 : 229-241.

RIVIÈRE, A., 1953. Méthode d'interprétation de la granulométrie des sédiments meubles. *Revue de l'Institut français du Pétrole*, numéro spécial : 102-107.

RIVIÈRE, A., 1977. *Méthodes granulométriques ; techniques et interprétations*. Masson (collection « Techniques et méthodes sédimentologiques »), Paris, 170 p.

SBAI, A., EK, C., DROUIN, P., CHIROL, B., ARAGNO, J.-C., PELISSON, A., QUINIF, Y., 1995. Les remplissages karstiques de la grotte Sous-les-Sangles :

sédimentologie et évolution spéléomorphologique d'une grotte du Jura méridional (France). *Quaternaire*, AFEQ - Maison de la Géologie, Paris, 6, 1 : 35-45.

TRICART, J., 1962. *Les transports solides du Vidourle lors de la crue de l'automne 1958*. Actes du 86ème congrès national des Sociétés savantes, Montpellier, 1961 (section Géographie), Imprimerie nationale, Paris, 453-535.

TRICART, J., 1965. *Principes et méthodes de la géomorphologie*. Masson, Paris, 496 p.

Manuscrit reçu le 31.03.2005 et accepté pour publication le 15.09.2005.