

Structures cylindriques verticales dans un dépôt meuble Quaternaire, en Galice (Espagne)
Observations of vertical cylindrical structures in an unconsolidated Quaternary deposit, in Spain

Jean-Claude DionneI et Augusto Pérez Alberti

Volume 54, numéro 3, 2000

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/005640ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/005640ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Les Presses de l'Université de Montréal

ISSN

0705-7199 (imprimé)

1492-143X (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

DionneI, J.-C. & Pérez Alberti, A. (2000). Structures cylindriques verticales dans un dépôt meuble Quaternaire, en Galice (Espagne). *Géographie physique et Quaternaire*, 54(3), 343-349. <https://doi.org/10.7202/005640ar>

Résumé de l'article

Cette note signale pour la première fois l'existence de structures cylindriques verticales dans un dépôt quaternaire, en Espagne. Les deux structures observées se trouvent dans un dépôt limonosableux dans une vallée près de la frontière entre la Galice et la Castille-León, au NO de la péninsule ibérique. La structure principale mesure plus de 225 cm de hauteur, 15 cm de largeur à la base, 20-25 cm à la partie centrale et une quarantaine de centimètres au sommet. Le tiers inférieur est essentiellement sableux et caractérisé par des couches circulaires. La section centrale comprend deux cônes superposés et partiellement emboîtés, remplis de petit gravier sableux, alors que le tiers supérieur de la structure verticale, qui pénètre dans un dépôt de rudites, est essentiellement grossier. Les deux structures cylindriques verticales sont attribuées à des sources ascendantes créées par la pression hydrologique dans le dépôt glacio-lacustre lors de la mise en place de la nappe alluviale d'origine fluvio-glaciaire. Les structures sont vraisemblablement contemporaines de la formation de la nappe alluviale.

Note

STRUCTURES CYLINDRIQUES VERTICALES DANS UN DÉPÔT MEUBLE QUATERNAIRE, EN GALICE (ESPAGNE)

Jean-Claude DIONNE et Augusto PÉREZ ALBERTI, respectivement Département de géographie, Université Laval, Sainte-Foy, Québec G1K 7P4 et Departamento de Xeografía, Universidade de Santiago de Compostela, Campus Universitario Norte, 15 703 Santiago de Compostela, España.

RÉSUMÉ Cette note signale pour la première fois l'existence de structures cylindriques verticales dans un dépôt quaternaire, en Espagne. Les deux structures observées se trouvent dans un dépôt limoneux-sableux dans une vallée près de la frontière entre la Galice et la Castille-León, au NO de la péninsule ibérique. La structure principale mesure plus de 225 cm de hauteur, 15 cm de largeur à la base, 20-25 cm à la partie centrale et une quarantaine de centimètres au sommet. Le tiers inférieur est essentiellement sableux et caractérisé par des couches circulaires. La section centrale comprend deux cônes superposés et partiellement emboîtés, remplis de petit gravier sableux, alors que le tiers supérieur de la structure verticale, qui pénètre dans un dépôt de rudites, est essentiellement grossier. Les deux structures cylindriques verticales sont attribuées à des sources ascendantes créées par la pression hydrologique dans le dépôt glacio-lacustre lors de la mise en place de la nappe alluviale d'origine fluvio-glaciaire. Les structures sont vraisemblablement contemporaines de la formation de la nappe alluviale.

ABSTRACT *Observations of vertical cylindrical structures in an unconsolidated Quaternary deposit, in Spain.* This note reports for the first time the occurrence of vertical cylindrical structures in a Quaternary deposit, in Spain. The two structures were observed in a silty sand glacio-lacustrine deposit in a valley near the frontier between Galicia and Castille-León provinces, in the NW of the Iberic Peninsula. The main structure is at least 225 cm long and 15 cm at its base, 20-25 cm in the central section, and about 40 cm in the upper section. The lower section is essentially sandy and characterized by circular layers. The central section is made of two superposed cones of small sandy gravel, whereas the upper section, which is intruding through a coarse-grained deposit, is filled with medium size gravel. The two vertical cylindrical structures observed in Galicia most likely result from ascending springs related to hydrologic pressures in the glacio-lacustrine deposit caused by the overlying outwash deposit. The structures are probably contemporaneous of the outwash deposit.

INTRODUCTION

Les structures cylindriques verticales dans les formations meubles quaternaires ont rarement été signalées et décrites (Dionne et Laverdière, 1972 ; Dionne, 1973 ; Gangloff, 1974 ; Curran et Frey, 1975) (tabl. I). On connaît donc peu ou mal ce type particulier de structures sédimentaires d'autant plus qu'elles sont rarement évoquées dans les ouvrages généraux de sédimentologie (mentionnons entre autres Twenhofel, 1932 ; Krumbein et Pettijohn, 1938 ; Shrock, 1948 ; Kukal, 1971 ; Freidman et Sanders, 1978 ; Reineck et Singh, 1980 ; Leeder, 1982 ; Chamley, 1987 ; Cojan et Renard, 1997) et dans les atlas illustrés des figures et des structures sédimentaires (Potter et Pettijohn, 1963 ; Pettijohn et Potter, 1964 ; Gubler, 1966 ; Conybeare et Crook, 1968 ; Picard et High, 1973 ; Collison et Thompson, 1982 ; Allen, 1984 ; Ricci Lucchi, 1995).

Ces structures remarquables ont toutefois été observées et décrites à plusieurs reprises dans les formations détritiques cohérentes d'âge varié allant du Précambrien au Tertiaire (tabl. II). Elles ont été apparemment signalées pour la première fois dans la littérature scientifique, il y a une centaine d'années (Kavanagh, 1888-1889).

Bien que diverses hypothèses aient été avancées pour les expliquer (McDonald, 1978), la plupart des auteurs les

relient à des sources ascendantes dans lesquelles l'eau sous pression monte vers la surface à travers des sédiments détritiques non consolidés. Selon la pression et le débit, l'eau peut évacuer une cavité cylindrique qui se comble au fur et à mesure de la diminution de la pression suite au « tarisage » de la source ; si la pression n'est pas assez forte les sédiments sableux liquéfiés demeurent dans la colonne et perdent leur structure originelle.

Ces structures sédimentaires caractérisent divers environnements en milieu peu profond ou émergés (tabl. III). Divers facteurs peuvent intervenir pour créer dans le dépôt meuble la pression nécessaire. Mentionnons entre autres les séismes, les pressions cryogéniques (accroissement du pergélisol), la surcharge, la déshydratation (*dewatering*) de dépôts saturés ; la pression exercée par les inondations, etc.

Plusieurs vocables (tabl. IV) ont été utilisés pour signaler ou décrire les structures cylindriques verticales. En anglais, le terme *pipe* est probablement le plus fréquemment employé en raison de son analogie avec un tuyau (Bates et Jackson, 1987). En français, ce terme signifie autre chose (Gulinck, 1949 ; Foucault et Raoult, 1984) et devrait être évité. La variété des vocables en usage ne permet pas toujours de savoir rapidement et exactement de quel type de structure il s'agit réellement. Les *sand columns* (colonnes de sable) de Gees et Lyall (1969), par exemple, ont peu en

TABLEAU I
*Structures cylindriques verticales
dans les roches meubles*

Âge	Pays	Référence
Type A : formes liées à des sources ascendantes		
Holocène	Québec (St-Jérôme)	Dionne et Laverdière, 1972 ; Gangloff, 1974 ; Dionne et Gangloff, 1975 ; Gangloff et Cailleux, 1976
	Québec (Arthabasca)	Dionne, 1973
Pléistocène	États-Unis (Caroline du Nord)	Curran et Frey, 1975
	Japon	Murakoshi et Masuda, 1991
Type B : formes d'origine diverses		
Récents	France (Bretagne)	Berthois, 1958
Pléistocène	Danemark	Baerman <i>et al.</i> , 1983
Miocène supérieur	Pologne	Czapouski, 1976
Trias	Belgique	Gulincx, 1949

TABLEAU II
*Structures cylindriques verticales
dans des roches consolidées*

Âge	Pays	Référence
Précambrien		
Protérozoïque	Afrique (Mali)	Deynoux <i>et al.</i> , 1990
Protérozoïque	Canada (Territoires du Nord-Ouest)	Young, 1977
Protérozoïque	États-Unis (Massachusetts)	Bailey et Newman, 1978
Paléozoïque		
Cambrien inférieur	Australie du Sud	Mount, 1993
Cambrien	Canada (Ontario)	Kavanagh, 1888-89 ; Weston, 1891-92 ; Todd, 1896 ; Hawley et Hart, 1934 ; Dionne, 1960 ; Grabs, 1978
Cambrien supérieur	États-Unis	Dietrich, 1953
Ordovicien	États-Unis (Arkansas et Illinois)	Miser, 1935
Ordovicien	Sahara	Allen, 1975
Dévonien	Angleterre	Allen, 1961
Pennsylvanien	États-Unis (Oklahoma)	Lowe et LoPiccolo, 1974 ; Lowe, 1975
Permien	États-Unis (Colorado)	Gabelman, 1955
Mésozoïque		
Jurassique	États-Unis (Arizona)	Quirke, 1938 ; Phoenix, 1958
Jurassique	New Mexico	Schlee, 1963
Tertiaire		
Éocène	Angleterre (Dorset)	Plint, 1983
Miocène	États-Unis (Washington)	Johnson, 1986
Miocène inférieur	Japon	Arai, 1959

commun avec les colonnes de sable ou de grès recoupant des couches horizontales évoquées ici. Il conviendrait donc de mettre de l'ordre dans la terminologie afin d'éviter les méprises.

La présente note a pour but de signaler un nouveau site où deux structures cylindriques verticales ont été observées récemment dans un dépôt meuble quaternaire, en Espagne (Pérez Alberti et Covelo Abeleira, 1996).

OBSERVATIONS

Le site espagnol se trouve dans la vallée du rio Bibei, à la limite entre les régions d'Orense (Galice) et de Zamora (Castille-León), au NO de la péninsule ibérique (fig. 1) (coordonnées géographiques : 06° 59' 20" O, 42° 06' 15" N). Trois types de dépôts caractérisent le secteur : un dépôt glacio-lacustre limono-sableux de type rythmites d'environ 2 m d'épaisseur, qui est surmonté par un dépôt fluvio-glaciaire grossier (sable et gravier) atteignant 3 m d'épaisseur par endroits ; dans le secteur amont de la vallée existent aussi des dépôts de marge glaciaire d'une épaisseur maximale de 6 m (Pérez Alberti et Covelo Abeleira, 1996).

Dans une gravière en exploitation près de Pias, deux structures verticales ont été observées dans l'unité glacio-lacustre avec prolongement dans la partie inférieure de l'unité fluvio-glaciaire sus-jacente (pour la structure principale) (fig. 2). La longueur totale de la structure principale n'est pas connue, car la base n'a pas été entièrement dégagée. La partie visible cependant mesure environ 225 cm de long (haut) ; la largeur est d'une quinzaine de centimètres à la base, de 20-25 cm vers le milieu et d'une quarantaine de centimètres dans la partie supérieure, plus évasée. Les deux tiers de la colonne recoupent verticalement un dépôt de sable fin à moyen limoneux, de couleur jaunâtre avec les lamines de couleur gris, à stratifications horizontales ou sub-horizontales ; ce dépôt, relativement homogène, de type rythmites, est surmonté d'une couche d'une trentaine de centimètres d'épaisseur de sable moyen à grossier, à stratifications obliques. Le tiers supérieur de la structure traverse un dépôt de rudites (gravier petit à moyen), à matrice sableuse, interprété comme une nappe alluviale d'origine fluvio-glaciaire (Pérez Alberti et Covelo Abeleira, 1996).

Les parois de la structure verticale sont grossièrement rectilignes. Dans le détail, on peut observer de légères ondulations, notamment sur la paroi gauche de la photographie (fig. 2). Le tiers inférieur de la structure est fortement oxydé et partiellement induré. Une deuxième structure verticale plus petite, à une quarantaine de centimètres à droite de la première, présente les mêmes caractéristiques.

Les deux structures verticales sont en effet caractérisées par une disposition circulaire des couches facilement observable dans la moitié inférieure de la structure principale (fig. 3 et 4).

Le remplissage de la structure principale est mixte. La partie inférieure (environ 80 cm visibles) est essentiellement sableuse, alors que la section médiane et la section supérieure sont remplies de gravier à matrice sableuse. Le

TABLEAU III
Milieu sédimentaire (environnement)
des structures cylindriques verticales

Éolien :	(Deynoux <i>et al.</i> , 1990)
Fluvial :	(Simpson, 1935 ; Friend, 1965 ; Plint, 1983 ; Johnson, 1986)
Deltaïque :	(Swarbrick, 1968; Dionne et Laverdière, 1972 ; Dionne, 1973)
Fluvio-lacustre :	(Gabelman, 1955)
Estuarien :	(Berthois, 1958 ; Plint, 1983)
Littoral :	(Dietrich, 1953)
Marin (peu profond) :	(Hawley et Hart, 1934; Arai, 1959 ; Gangloff, 1974 ; Broomley <i>et al.</i> , 1975 ; Murakoshi et Musuda, 1991)
Marin (relativement profond) :	(Gill et Kuonen, 1958)

TABLEAU IV
Liste des vocables et expressions utilisées
en anglais pour les structures cylindriques

Sand column	Collapsed-plug pipe
Sandstone column	Pipe-shape structure
Clastic plug	Pipy structures
Columnar structure	Pipy concretion
Cylindrical structure	Tubular fluidization pipe
Vertical cylindrical structure	Tubular structure
Cylinder-shape structure	Tubular concretion
Cylinder-shape body	Log-like concretion
Sand cylinder	Pillar
Sandstone cylinder	Pillar-like structure
Breccia pipe	Tree-like structure
Dewatering pipe	Injection structure
Sand pipe	Escape burrow
Sandstone pipe	Escape-water structure
Silt pipe	Vertical fluid escape channel
Plugged pipe	Sand volcano vent

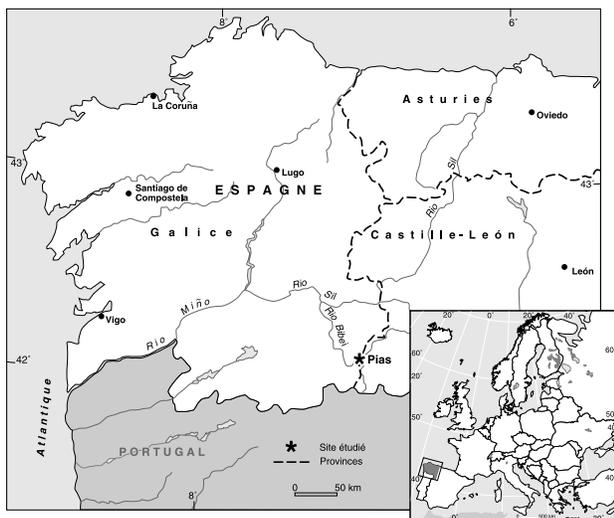


FIGURE 1. Carte de localisation.
Location map.

matériel de remplissage est plus grossier dans la partie supérieure recoupant le dépôt de rudites, alors que la partie médiane recoupant le dépôt de sable comprend deux cônes à fond arrondi, superposés et partiellement emboîtés, de petits graviers sableux. Dans cette section, les parois de la structure principale sont caractérisées par une mince couche de sable fin limoneux gris. La section pénétrant dans les graviers est toutefois moins nette. On observe aussi un recourbement de certaines couches vers le bas et quelques galets sont fortement inclinés. Aucune micro-faille n'est observable au voisinage des deux structures cylindriques dans le dépôt sableux encaissant. En plan, la base dégagée de la structure principale montre des lits de sable fin limoneux circulaires et ondulés (fig. 4).

INTERPRÉTATION

La structure verticale principale a d'abord été interprétée comme une fente en coin (*cuña de hielo fósil*) (Pérez Alberti et Covelo Abeleira, 1996, p. 122-123). Un examen détaillé permet d'affirmer qu'il s'agit plutôt d'une forme cylindrique que d'une fissure linéaire avec remplissage par le haut, même si la partie sommitale de la structure ressemble à une fente en coin relique (Dionne, 1966, 1971).

Les deux structures cylindriques de Galice s'apparentent sur plusieurs aspects à celles observées antérieurement en matériel meuble, au Québec (Dionne et Laverdière, 1972 ; Dionne, 1973 ; Gangloff, 1974) et en Caroline du Nord (Curran et Frey, 1975). Compte tenu de leur taille et du milieu de sédimentation, il ne s'agit certainement pas de formes d'origine biologique (*escape structures*) (Niino, 1933, 1955 ; Berthois, 1958 ; Curran et Frey, 1975), mais bien d'un phénomène physique.

Les caractéristiques des structures observées en Galice permettent aussi de rejeter l'hypothèse d'une cavité cylindrique évidée par le haut par un courant tourbillonnaire avec remplissage subséquent. Bien que théoriquement ce mode de formation soit possible, on ne connaît aucun exemple incontestable. C'est pourquoi la première explication proposée pour la structure cylindrique de Saint-Jérôme a été modifiée par suite de la découverte de plusieurs autres formes similaires dans le même site (Gangloff, 1974 ; Dionne et Gangloff, 1975).

L'hypothèse la plus plausible demeure celle d'une source ascendante (Quirke, 1938) liée aux conditions hydrologiques ayant prévalu lors de la mise en place de la nappe alluviale fluvio-glaciaire. À ce moment, le dépôt glacio-lacustre sableux sous-jacent, qui était vraisemblablement saturé, a subi de fortes pressions hydrologiques qui ont créé, ici et là, des sources ascendantes. Sous pression, l'eau montait alors à la surface et s'infiltrait dans la couche de gravier sus-jacente. Il s'agit donc de structures dites de *dewatering* ou *water-escape structures* (Friend, 1965 ; Lowe, 1975 ; Cheel et Rust, 1986 ; Johnson, 1986) liées à des pressions hydrologiques engendrées par la formation d'une plaine fluvio-glaciaire sur un substrat meuble de sable fin limoneux.

Il n'est pas exclu qu'en plus du contexte géomorphologique local, les conditions climatiques aient joué un rôle dans

la formation des structures cylindriques verticales de Galice. Pérez Alberti et Covelo Abeleira (1996) parlent de l'existence probable d'un pergélisol dans le secteur. L'agradation du pergélisol peut, en effet, créer des pressions considérables dans un dépôt meuble saturé et expulser alors une partie de l'eau en surface dans les zones non encore gelées (Gangloff, 1974 ; Gangloff et Cailleux, 1976 ; Lea, 1996). Le gel annuel pourrait aussi être impliqué. Toutefois, les belles structures sédimentaires cylindriques verticales de la Caroline du Nord, apparemment d'âge holocène (Curran et Frey, 1975), permettent de croire que ce type de structures sédimentaires peut se former en dehors des régions froides.

L'épandage de la nappe alluviale grossière en surface par les eaux de fonte a sans doute créé une surcharge suffisante pour donner naissance à des sources ascendantes dans la partie aval de la cuvette sédimentaire (Maltman, 1994, p. 112). Le contexte s'apparente sous certains aspects à celui des sites d'Arthabasca et de Saint-Jérôme, au Québec (Dionne et Laverdière, 1972 ; Dionne, 1973 ; Gangloff, 1974).

À première vue, on peut penser que la structure principale de Galice s'est formée peu de temps après le début de la mise en place de la nappe alluviale d'origine fluvio-glaciaire, puisque le tiers supérieur de la structure touche la base de cette unité. Par ailleurs, la section médiane recoupant l'unité sableuse est remblayée de petit gravier sableux, ce qui implique un évidement partiel à un moment donné. Une certaine quantité de sable a dû être expulsée vers le haut créant ainsi un vide temporaire, qui a ensuite été rapidement remblayé de petit gravier sableux lors d'une chute de pression. Toutefois, les traces du sable expulsé ne sont guère visibles aux abords immédiats de la structure. Une diffusion à travers le gravier reste alors possible.

L'absence de micro-failles dans l'unité limono-sableuse indique vraisemblablement l'absence de tassement différentiel par suite de l'évidement de la moitié supérieure de la structure. Par ailleurs, la formation de couches circulaires formant des enveloppes implique la destruction de la stratification originelle par liquéfaction du matériel et un certain mouvement circulaire ou tourbillonnaire à l'intérieur de la cavité.

La forme évasée et arrondie de la base des deux cônes de petit gravier sableux superposés dans la section médiane de la structure rappelle les schémas interprétatifs proposés par Plint (1983) et par Deynoux *et al.* (1990). Si la partie supérieure à remplissage très grossier demeure problématique, elle ressemble néanmoins à certaines structures à remplissage grossier signalées par Johnson (1986, fig. 5) et interprétées comme des *water-escape structures*.

Les structures cylindriques sont souvent apparentées aux volcans sableux (*sand volcanoes* ou *sand boils*) des formations consolidées maintes fois décrits dans la littérature scientifique (Gill et Kuenen, 1958; Burne, 1970; Dionne, 1976). Ces formes sédimentaires résultent de la liquéfaction du sable ou du limon à la suite de séismes (Hobbs, 1907 ; Morse, 1941), à des glissements massifs sous-aquatiques ou terrestres (Nevill,

1957 ; Gill et Kuenen, 1958 ; Kojan et Hutchinson, 1978), à la surcharge (Rust, 1965) ou encore à des inondations (Holzer et Clark, 1993 ; Li *et al.*, 1996). Toutefois, de rares auteurs ont décrit les cheminées associées à des petits volcans sédimentaires, en particulier dans les formations meubles, de sorte qu'il est difficile de faire des comparaisons avec les structures cylindriques verticales décrites dans la littérature scientifique, d'autant plus que plusieurs *sand pipes* sont des structures formées dans des puits ou des entonnoirs de dissolution dans des roches carbonatées (Morel et Hilly, 1956).

CONCLUSION

Les structures cylindriques verticales résultent d'un phénomène sédimentaire original qui touche les roches meubles, mais qu'on observe aussi dans les roches consolidées. On connaît cependant encore mal leur fréquence, la répartition géographique et les milieux de sédimentation. Très peu de sites ont été signalés dans les roches meubles du Quaternaire, d'où l'intérêt de cette note et l'importance de rapporter tout nouveau site.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les lecteurs de leur manuscrit, MM. Max Deynoux et Camille Laverdière, pour leurs conseils judicieux.

FIGURE 3. Vue détaillée d'une partie des deux structures cylindriques de Galice, montrant la disposition circulaire des couches de sable et l'oxydation de la section inférieure exposée à la base de la coupe. Dans la section supérieure de la structure principale visible sur la photographie, le remplissage est grossier et comprend deux cônes concaves superposés ; les matériaux sont plus grossiers dans le deuxième cône (teinte pâle). À remarquer un léger rétrécissement de la paroi gauche, au niveau entre les deux cônes, et la couche grise de limon sableux formant l'enveloppe extérieure de la structure circulaire.

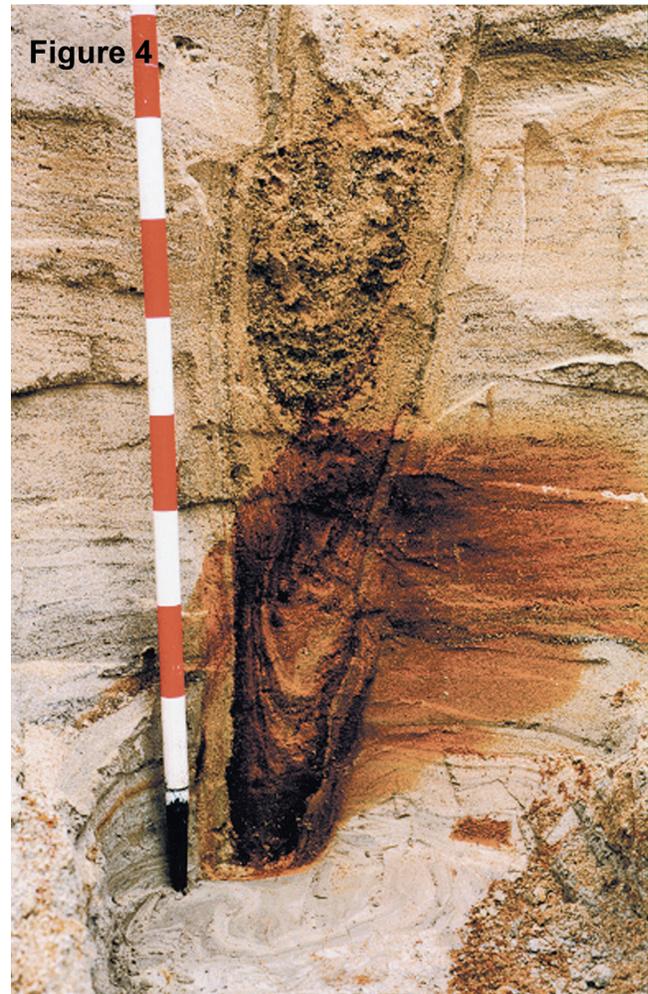
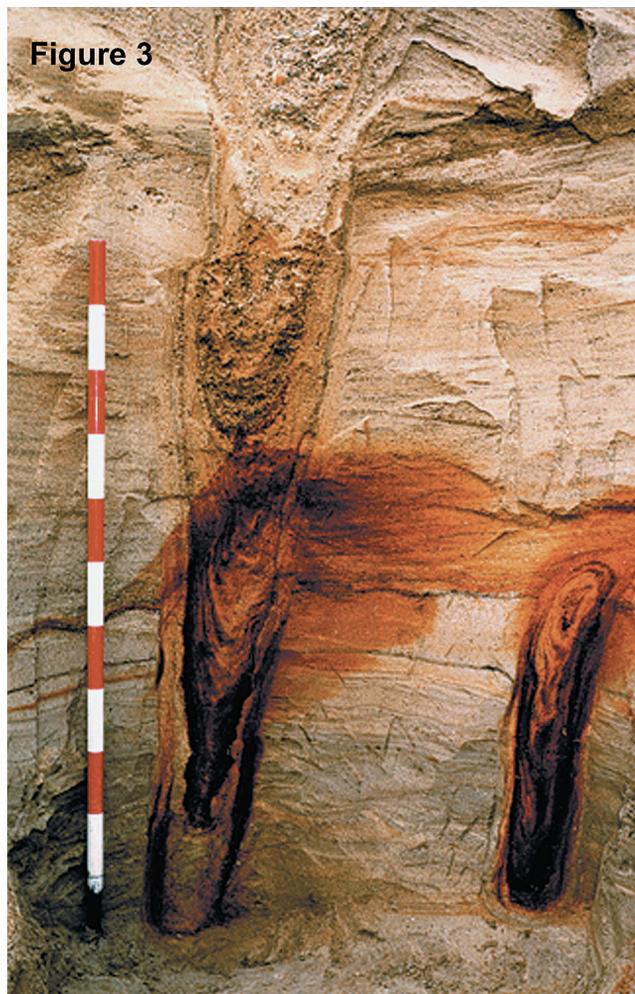
A detailed view of the lower section of the two vertical cylindrical structures observed in Galicia, showing the circular layering of partly oxidized sand. The upper section of the main structure is infilled with coarse-grained sediments; there are two bowl-shaped superposed bodies. The lower one is mainly filled with coarse sand small gravel, the other is filled with sand and medium-sized gravel. Note the slight narrowing of the wall to the left at the level between the two superposed bowl-shaped structures, and also the thin grey layer forming the external envelope of the pipe.

FIGURE 4. Vue détaillée d'une partie de la principale structure cylindrique verticale montrant la disposition circulaire des couches sableuses oxydées et l'emboîtement d'un cône à fond arrondi rempli de matériel grossier. À remarquer, à la base de la colonne dégagée, les couches circulaires de sable limoneux légèrement déformées, indice de la liquéfaction du sable lors de la formation de la structure.

A close-up view of the lower section of the main vertical cylindrical structure, showing the circular disposition of the sandy layers cutting through the horizontal bedding of the glacio-lacustrine deposit. The sandy portion of the columnar structure is highly oxidized. Note the coarse-grained bowl-shaped cone in the visible upper section, and also the circular slightly deformed layers at the base of the excavated structure providing evidence that the sand was liquefied when the ascending spring was active.

FIGURE 2. Vue générale des deux structures cylindriques verticales observées en Galice. La structure principale recoupe une unité limono-sableuse d'origine glacio-lacustre et un dépôt de gravier fluvio-glaciaire. De la structure secondaire, à une quarantaine de centimètres de distance, il ne subsiste que la section inférieure oxydée et la partie sommitale formant un petit cône concave à la base du dépôt de rudites.

A general view of the two vertical cylindrical structures observed in Galicia. The main structure is mainly in a glacio lacustrine silty-sand unit while the upper section is in a coarse-grained fluvio-glacial deposit. Remains of the secondary structure, about 40 cm to the right, is still visible.



RÉFÉRENCES

- Allen, J.R.L., 1961. Sandstone-plugged pipes in the Lower Old Red sandstone of Shropshire, England. *Journal of Sedimentary Petrology*, 3 : 325-335.
- _____, 1984. Sedimentary structures. Their characteristics and physical basis. Elsevier, New York et Amsterdam, 663 p.
- Allen, P., 1975. Ordovician glacials of the central Sahara, p. 275-286. *In* A.E. Wright et F. Moseley, édit., *Ice Ages : Ancient and Modern*, Geological Society of London, Special Publication 6, 320 p.
- Arai, J., 1959. Cylindrical structures in the Tertiary sediments of the Chichibu Basin, Saitama Prefecture, Japan. *Bulletin of Chichibu Museum of Natural History*, 9 : 61-68.
- Baermann, A., Iwanoff, A. et Wilke, H., 1983. The calcium carbonate content of North German tills, p. 259-262. *In* J. Ehlers, édit., *Glacial Deposits in Northwest Europe*, Balkema, Rotterdam, 470 p.
- Bailey, R.H. et Newman, W.A., 1978. Origin and significance of cylindrical sedimentary structures from the Boston Bay Group, Massachusetts. *American Journal of Science*, 278 : 703-714.
- Bates, R.L. et Jackson, J.A., édit., 1987. *Glossary of Geology*. American Geological Institute, Alexandria (Virginie), 788 p.
- Berthois, L., 1958. Note sur la formation de structures cylindriques dans les grès. *Bulletin de la Société géologique de France*, 6 : 315-324.
- Bromley, R.G., Curran, H.A., Frey, R.W., Gutschick, R.C. et Suttner, L.J., 1975. Problems in interpreting unusual large burrows, p. 351-376. *In* R.W. Frey, édit., *The Study of Trace Fossils*, Springer-Verlag, New York, 562 p.
- Burne, R.V., 1970. The origin and significance of sand volcanoes in the Bude Formation (Cornwall). *Sedimentology*, 15 : 211-228.
- Chamley, H., 1987. *Les milieux de sédimentation*, Éditions BRGM, Orléans, 173 p.
- Cheel, R.J. et Rust, B.R., 1986. A sequence of soft sediment deformation (dewatering) structures in Late Quaternary Subaqueous outwash near Ottawa, Canada. *Sedimentary Geology*, 47 : 77-93.
- Cojan, I. et Renard, M., 1997. *Sédimentologie*. Masson, Paris, 418 p.
- Collinson, J.D. et Thompson, B., 1982. *Sedimentary Structures*. Unwin Hyman, London, 194 p. (2^e édition, 1989, 207 p.).
- Conybeare, C.E.B. et Crook, K.A.W., 1968. *Manual of Sedimentary Structures*. Bureau of Mineral Resources, Geology and Geophysics (Canberra), Bulletin 102, 327 p.
- Curran, H.A. et Frey, R.W., 1975. Pleistocene structures, p. 365-376. *In* R.W. Frey, édit., *The Study of Trace Fossils*, Springer-Verlag, New York, 562 p.
- Czapowski, G., 1976. Several kinds of carbonate cementation in Miocene sediments in the vicinity of Sandomierz (Holy Cross Mountains, Central Poland). *Bulletin de l'Académie polonaise des Sciences de la Terre*, 24 : 83-92.
- Deynoux, M., Proust, J.N., Durand, J. et Merino, E., 1990. Water-transfer cylindrical structures in the Late Proterozoic eolian sandstone in the Touadeni Basin, West Africa. *Sedimentary Geology*, 66 : 227-242.
- Dietrich, R.V., 1953. Conical and cylindrical structures in the Postdam sandstone. *New York State Museum of Science (Albany), Museum Circular* 34 : 5-19.
- Dionne, J.-C., 1960. Observations sur les colonnes de grès de la région de Kingston, Ontario. *Revue canadienne de Géographie*, 14 : 59-61.
- _____, 1966. Formes de cryoturbation fossiles dans le sud-est du Québec. *Cahiers de Géographie du Québec*, 10 (19) : 89-100.
- _____, 1971. Fentes de cryoturbation dans la région de Québec. *Revue de Géographie de Montréal*, 25 : 245-264.
- _____, 1973. Structures cylindriques verticales dans du Quaternaire à Arthabasca, Québec. *Sedimentary Geology*, 9 : 53-63.
- _____, 1976. Miniature mud volcanoes and other injection features in tidal flats, James Bay, Québec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 13 : 422-428.
- Dionne, J.-C. et Gangloff, P., 1975. Vertical cylindrical structures in Quaternary deposits, southern Québec. *Geological Society of America, Northeast Section Annual Meeting, Abstracts with Programs* 7 (1) : 49.
- Dionne, J.-C. et Laverdière, C., 1972. Structure cylindrique verticale dans un dépôt meuble quaternaire, au nord de Montréal, Québec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 9 : 528-543.
- Foucault, A. et Raoult, J.F., 1984. *Dictionnaire de géologie*. Masson, Paris, 347 p.
- Freidman, G.M. et Sanders, J.E., 1978. *Principles of Sedimentology*. John Wiley, New York, 792 p.
- Friend, P.F., 1965. Fluvial structures in the Wood Bay Series (Devonian) of Spitsbergen. *Sedimentology*, 5 : 39-68.
- Gabelman, J.W., 1955. Cylindrical structures in Permian (?) siltstone, Eagle County, Colorado. *Journal of Geology*, 63 : 214-227.
- Gangloff, P., 1974. Les structures cylindriques et l'évolution géomorphologiques d'une plage tardiglaciaire à Saint-Jérôme, Québec. *Revue de Géographie de Montréal*, 28 : 357-373.
- Gangloff, P. et Cailleux, A., 1976. Indices possibles de pergélisol discontinu. *Biuletin Peryglacjalny*, 26 : 223-235.
- Gees, R.A. et Lyall, A.K., 1969. Erosional sand columns in dune sands, Cape Sable Island, Nova Scotia, Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 6 : 344-347.
- Gill, W.D. et Kuenen, P.H., 1958. Sand volcanoes on slumps in the Carboniferous of County Clare, Ireland. *Geological Society of London Quarterly Journal*, 113 : 441-460.
- Grabs, S., 1978. Pillars in the Postdam. *In* *Geology of the Postdam Group in southeastern Ontario, Appendice A*. Thèse de M.Sc., Department of Geology, Queen's University, Kingston, 28 p.
- Gubler, Y. édit., 1966. *Essai de nomenclature et caractérisation des principales structures sédimentaires*. Technip, Paris, 291 p.
- Gulincx, M., 1949. Poches et pipes de sable dans le Landénien, près de Havay. *Bulletin de la Société belge de Géologie*, 58 (3) : 403-413.
- Hawley, J.E. et Hart, R.C., 1934. Cylindrical structures in sandstones. *Geological Society of America Bulletin*, 45 : 1017-1034.
- Hobbs, W.H., 1907. *Earthquakes. An Introduction to Seismic Geology*. Appleton-Century, New York, 336 p.
- Holzer, T. et Clark, M.M., 1993. Sand boils without earthquakes. *Geology*, 21 : 873-876.
- Johnson, S.Y., 1986. Water-escape structures in coarse-grained volcanoclastic, fluvial deposits of the Ellensburg Formation, south-central Washington. *Journal of Sedimentary Petrology*, 56 : 905-910.
- Kavanagh, S.J., 1888-1889. On modern concretions from the St. Lawrence; with remarks (by J.W. Dawson) on cylinders found in the Postdam sandstone. *Canadian Record of Science*, 3 : 292-294.
- Kojan, E. et Hutchinson, J.N., 1978. Mayunmarca rockslide and debris flow, Peru, p. 315-361. *In* B. Voight, édit., *Rockslides and Avalanches, vol. 1, Natural Phenomena*, Elsevier, Amsterdam, 833 p.
- Krumbein, W.C. et Pettijohn, F.J., 1938. *Manual of Sedimentary Petrology*. Appleton-Century-Crofts, New York, 549 p.
- Kukul, Z., 1971. *Geology of Recent Sediments*. Academic Press, New York, 490 p.
- Lawler, T.B., 1923. On the occurrence of sandstone dykes and chalcedony vein in the White River, Oligocene. *American Journal of Science*, 5 : 150-172.
- Lea, P.D., 1996. Vertebrate tracks in Pleistocene eolian sand-sheet deposits of Alaska. *Quaternary Research*, 45 : 226-240.
- Leeder, M.R., 1982. *Sedimentology. Process and Product*. Allen & Unwin, Boston, 344 p.
- Li, Y., Craven, J., Schweig, E.S. et Obermeier, S.F., 1996. Sand boils induced by the 1993 Mississippi River flood: could they one day be interpreted as earthquake-induced liquefaction? *Geology*, 24 : 171-174.
- Lowe, D.R., 1975. Water escape structures in coarse-grained sediments. *Sedimentology*, 22 : 157-204.
- Lowe, D.R. et LoPiccolo, R.D., 1974. The characteristics and origins of dish and pillar structures. *Journal of Sedimentary Petrology*, 44 : 484-501.

- Maltman, A., éd., 1994. *The Geological Deformation of Sediments*. Chapman & Hall, London, 362 p.
- McDonald, S., 1978. A compilation on cylindrical structures : Their distribution and proposed theories of origin. Thèse de B.Sc., Department of Geology, Queen's University, Kingston, 38 p.
- Miser, H.D., 1935. Cylindrical structures in sandstone (Discussion). *Geological Society of America Bulletin*, 46 : 2008-2011.
- Morel, J. et Hilly, J., 1956. Nouvelles observations sur les formations quaternaires dans le département de Bône et particulièrement dans le massif du Cap de Fer de l'Edough. *Quaternaria*, 3 : 179-201.
- Morse, W.C., 1941. New Madrid earthquake craters. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 31 : 309-319.
- Mount, J.F., 1993. Formation of fluidization pipes during liquefaction examples from the Uratanna Formation (Lower Cambrian), South Australia. *Sedimentology*, 40 : 1027-1037.
- Murakoshi, N. et Masuda, F., 1991. A depositional model for a flood-tidal delta and washover sands in the Late Pleistocene Paleo-Tokyo Bay, Japan, p. 219-226. *In* D.G. Smith *et al.*, éd., *Clastic Tidal Sedimentology*, Canadian Society of Petroleum, Memoir 16, 387 p.
- Nevill, W.E., 1957. Sand volcanoes, sheet slumps and stratigraphy of part of the Slieveardagh coalfield, County Tipperary. *Science Proceedings of the Royal Society of Dublin*, 27 (14) : 313-324.
- Niino, H., 1933. On sand pipe dredged from the sea bottom around the Japanese Islands. *Journal of the Geographical Association of Tokyo*, 45 : 1-6.
- _____, 1955. Sand pipe from the sea floor of California. *Journal of Sedimentary Petrology*, 25 : 41-44.
- Pérez Alberti, A. et Covelo Abeleira, P., 1996. Reconstrucción de la dinámica glaciaria del Alto Bibei durante el Pleistoceno reciente a partir del estudio de los sedimentos acumulados en Pías (Noroeste de la Península Ibérica), p. 115-129. *In* A. Pérez Alberti *et al.*, *Dinámica y evolución de medios Cuaternarios*, éd., Xunta de Galicia, Santiago de Compostela, 440 p.
- Pettijohn, F.J. et Potter, P.E., 1964. *Atlas and Glossary of Primary Sedimentary Structures*. Springer-Verlag, Berlin et New York, 370 p.
- Phoenix, D.A., 1958. Sandstone cylinders as possible guides to paleomovement of ground water. *New Mexico Geological Society, Guidebook of 9th Field Trip Conference*, p. 194-196.
- Picard, M.D. et High, L.R., 1973. *Sedimentary Structures of Ephemeral Streams*. Elsevier, Amsterdam, 223 p.
- Plint, A.G., 1983. Liquefaction, fluidization and erosional structures associated with bituminous sands of the Bracklesham Formation (Middle Eocene) of Dorset, England. *Sedimentology*, 30 : 525-535.
- Potter, P.E. et Pettijohn, F.J., 1963. *Paleocurrents and Basin Analysis*. Academic Press, New York et Springer-Verlag, Berlin, 296 p.
- Quirke, T.T., 1938. Spring pits ; sedimentation phenomena. *Journal of Geology*, 38 : 88-91.
- Reineck, H.E. et Singh, I.B., 1980. *Depositional Sedimentary Environments*. Springer-Verlag, Berlin, 549 p.
- Ricci Lucchi, F.R., 1995. *Sedimentographica : A Photographic Atlas of Sedimentary Structures*. Columbia University Press, New York, 255 p.
- Rust, B.R., 1965. The sedimentology and diagenesis of Silurian turbidites in South-East Wigtownshire, Scotland. *Scottish Journal of Geology* 1 (3) : 231-246.
- Schlee, J.S., 1963. Sandstone pipe of the Laguna area, New Mexico. *Journal of Sedimentary Petrology*, 33 : 112-123.
- Shrock, R.R., 1948. *Sequence in Layered Rocks*. McGraw-Hill, New York, 507 p.
- Simpson, G.G., 1935. Cylindrical structures in sandstone (Discussion). *Geological Society of America Bulletin*, 46 : 2011-2014.
- Swarbrick, E.E., 1968. Physical diagenesis ; intrusive sediment and connate water. *Sedimentary Geology*, 2 : 161-175.
- Todd, J.E., 1896. Loglike concretions and fossil shores. *American Geologist*, 17 : 347-349.
- Twenhofel, W.H., éd., 1932. *Treatise on Sedimentation*, Williams & Wilkins Co., New York, 661 p. (reprint 1961 : Dover Publication, New York, 926 p.).
- Weston, T.C., 1891-92. Notes on concretionary structures in various rock formations in Canada. *Transactions of the Nova Scotia Institute of Science*, 8 : 137-142.
- Young, G.M., 1977. Stratigraphic correlation of Upper Proterozoic rocks of northwestern Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 14 : 1771-1787