



**HAL**  
open science

## Techniques de carottages sur calcite souterraine. Enjeux et méthodes

Gael Monvoisin, Arnaud Dapoigny, Eglantine Husson, Stéphane Jaillet, Emmanuel Malet, Alexandre Zappelli, Édouard Régnier, Julia Garagnon

### ► To cite this version:

Gael Monvoisin, Arnaud Dapoigny, Eglantine Husson, Stéphane Jaillet, Emmanuel Malet, et al.. Techniques de carottages sur calcite souterraine. Enjeux et méthodes. 18th International Congress of Speleology 2022, Jul 2022, Le Bourget du Lac, France. hal-03932691

**HAL Id: hal-03932691**

**<https://hal.science/hal-03932691>**

Submitted on 10 Jan 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Techniques de carottages sur calcite souterraine. Enjeux et méthodes.

Gaël MONVOISIN<sup>(1,6)</sup>, Arnaud DAPOIGNY<sup>(2,6)</sup>, Eglantine HUSSON<sup>(3,6)</sup>, Stéphane JAILLET<sup>(4,6)</sup>, Emmanuel MALET<sup>(4,6)</sup>, Alexandre ZAPPELLI<sup>(5,6)</sup>, Edouard REGNIER<sup>(2,6)</sup> & Julia GARAGNON<sup>(2,4,6)</sup>

(1) GEOPS, UMR 8148, Bâtiment 504, Rue du belvédère, Université Paris Saclay, 91405 Orsay, France

[gael.monvoisin@universite-paris-saclay.fr](mailto:gael.monvoisin@universite-paris-saclay.fr)

(2) LSCE, UMR 8212, Bâtiment 714, Orme des merisiers, Université Versailles St Quentin – Paris Saclay, 91190 St Aubin, France

(3) BRGM, 3 avenue Claude-Guillemin - BP 36009, 45060 Orléans Cedex 2, France

(4) EDYTEM, UMR 5204, Université Savoie Mont Blanc, Pôle Montagne, 73 376 Le Bourget du Lac, France

(5) CEREGE, UMR 7330, Université Aix Marseille, Technopôle de l'Arbois-Méditerranée, BP 80, 13545 Aix en Provence, France

(6) Réseau de métiers CNRS MSK « Milieux Souterrains et Karsts »

## Résumé

Le développement de techniques analytiques permettant d'étudier des échantillons de calcite souterraine (datations U/Th, U/Pb, analyses chimiques et isotopiques, morphoscopie...) amène à multiplier les prélèvements d'échantillons sous terre. Cependant le souci de conservation du milieu souterrain, les enjeux d'un impact paysager limité, la nécessité d'une documentation efficace du prélèvement sont autant d'éléments qui militent pour le développement de techniques de carottage adaptées. Ces techniques, présentées ici, couvrent trois types d'échantillonnage : (i) diamètre 4 à 10 mm, longueur 65/80 mm adapté aux bases de stalagmites ; (ii) diamètre 28 à 32 mm, longueur 30 cm à 1 m adapté aux petits planchers et bases de stalagmites ; (iii) diamètre 80 à 112 mm, longueur 0,3 à 2 m adapté aux planchers et coulées stalagmitiques. Un groupe d'études techniques du réseau de métiers CNRS « Milieux Souterrains et Karsts » propose ici une synthèse des retours d'expérience et de tests menés sur le terrain. Les contraintes du carottage (grotte protégée), d'accessibilité au site (karst profond), d'extraction (conditionnement) en fonction du type d'échantillonnage et de leur documentation sont discutées. L'objectif final est de proposer un guide méthodologique adapté aux différents enjeux et situations rencontrées sous terre.

## Abstract

**Core drilling techniques on subterranean calcite. Issues and methods.** Several analytical techniques are available to study underground calcite samples (U/Th, U/Pb dating, chemical and isotopic analyses, morphoscopy...). This leads to an increase of the number of samples taken from the caves. However, the conservation of the underground environment, a limited landscape impact and efficient documentation of the sampling are all elements that militate in favour of the development of adapted coring techniques. These techniques, presented here, cover three types of sampling: (i) diameter 4 to 10 mm, length 65/80 mm adapted to stalagmite bases; (ii) diameter 28 to 32 mm, length 0.3 to 1 m adapted to small floors and stalagmite bases; (iii) diameter 80 to 112 mm, length 0.3 to 2 m adapted to stalagmite floors and flowstones. A technical study group of the CNRS "Milieux Souterrains et Karsts" trade network offers here a synthesis of feedback and tests carried out in the field. The constraints of coring (protected cave), site accessibility (deep karst), extraction (conditioning) according to the type of sampling and their documentation are discussed. The final objective is to propose a methodological guide adapted to the different issues and situations encountered underground.

## 1. Introduction

Les analyses d'échantillons de calcite souterraine sont de plus en plus utilisées pour travailler sur des sujets majeurs comme les datations absolues (U/Th, U/Pb), les analyses chimiques fines de traces et ultra-traces et les analyses isotopiques permettant de discriminer les différentes sources d'éléments chimiques et leur histoire géologique ou climatique. Une partie de ces applications est tournée vers les grottes ornées à haute valeur patrimoniale ou vers les études paléoclimatologiques, mais également vers des études plus expérimentales sur l'histoire de ces cavités et de leur développement. Les carottages sont un moyen fiable de réaliser les échantillonnages. Il est possible de travailler avec de petits carottiers, légers et adaptés aux prélèvements de

parois sensibles (grottes ornées) ou en karst profond (portage important). Très peu d'articles et de documentations techniques traitent des carottages souterrains à part l'article de SPÖTL & MATTEY (2012).

Un groupe d'études techniques du réseau de métiers CNRS « Milieux Souterrains et Karsts » propose ici une première synthèse de retours d'expérience et de tests menés sur le terrain prenant en compte les contraintes du carottage (cavités sensibles), d'accessibilité au site (karst profond), d'extraction des carottes (conditionnement) en fonction du type d'échantillonnage et de leur documentation.

## 2. Des techniques adaptées à différents enjeux de conservation

Les contraintes d'accès aux sites de travail, l'image donnée par des scientifiques prélevant et cassant des concrétions, l'impact visuel des dégradations de concrétions et l'importance patrimoniale de parois ornées imposent une réflexion spécifique. Le groupe d'études techniques s'est donné pour objectif d'avoir cette approche globale incluant ces questions de conservation.



Figure 1 : Différents types de matériels utilisés (couronnes diamantées (4 à 112 mm), rallonges, têtes d'injection).

Parmi ces enjeux, la détermination de l'âge des voiles de calcite scellant l'art pariétal est sujet à discussions (PONSBRANCHU *et al.*, 2014 ; VALLADAS *et al.*, 2017 ; PONSBRANCHU *et al.*, 2020). Sur ces sites, il n'est souvent pas envisageable de prélever des échantillons complets de parois ou de concrétions. Il importe cependant de pouvoir prélever suffisamment profond pour recueillir toutes les couches de dépôts à étudier. L'utilisation de micro-carottiers est alors plus adaptée. Il est également possible de forer encore plus fin, avec un système de dremmell ou une perceuse avec une mèche de 1-2 mm, mais l'absence de système de carottage et la dureté de la calcite ne facilitent pas ces échantillonnages. On ne récupère alors que la poudre sans possibilité de distinction exacte de l'échantillon. Cette technique sera préférentiellement

utilisée pour micro-échantillonner les carottes de retour au laboratoire. Dans le domaine de la paléoclimatologie, les échantillons prélevés doivent recouvrir des périodes différentes et les analyses des isotopes de l'Oxygène et du Carbone permettent par exemple de reconstituer les conditions environnementales au moment de leurs dépôts.



Figure 2 : Mise en œuvre d'un perforateur sur accus avec carottier 32 mm (ici deux rallonges) et refroidissement à eau (grotte Pallas 3, Ardèche). Photo S. Jaillet.

## 3. Des techniques adaptées à différents usages

Le groupe d'études techniques du réseau de métiers CNRS « Milieux Souterrains et Karsts » travaille sur un large éventail de carottiers et de modèles de perforateurs adaptés aux carottiers (fig. 1). Les diamètres internes des carottiers vont de 4 mm à 112 mm, pour des longueurs entre 65 mm et 400 mm, avec parfois des rallonges permettant d'atteindre 1 m de profondeur. Tous les carottiers sont dotés de couronnes diamantées. Ils sont connectés à des perforateurs portatifs de tailles et de puissances variables et adaptés. Les perforateurs ne sont jamais utilisés en mode percussion. Pour les petits carottages (4 à 10 mm), un perforateur léger (ex : Bosch GBH 18V EC) ou une visseuse (ex : Makita DDF484 18V) sont utilisés. Un perforateur plus puissant (ex : Hilti TE-6A 36V ou Bosch GBH 18V) est mis en œuvre pour les carottages moyens (28 à 40 mm) (fig. 2) et un carotteur nécessitant une alimentation électrique

extérieure (ex : Hilti-DD100 220V) est nécessaire pour les plus gros diamètres (80 à 112 mm). Les contraintes majeures des carottages sont (i) ne pas casser ou bloquer le carottier pendant le forage, (ii) extraire la carotte de calcite en un minimum de morceaux, (iii) la sortir du carottier et (iv) parfois pouvoir l'orienter afin de retrouver sa position initiale une fois extraite. Tous les prélèvements par carottage se font nécessairement avec injection d'eau pour deux raisons : (i) évacuation des boues de forage, (ii) évitement de l'échauffement, pour éviter d'user prématurément ou de casser la couronne diamantée, voire d'avoir des conséquences importantes sur les échantillons (datations U/Th/He notamment). La tête de la couronne diamantée, d'un diamètre légèrement supérieur, permet de maintenir un espace entre carottier et paroi pour la remontée de l'eau et des boues. Un opérateur est dévolu

uniquement à cette gestion de l'eau. Dans certains sites, pour éviter des contaminations, des eaux du commerce sont utilisées. Souvent, utiliser l'eau de la grotte (rivière ou mieux piégée dans un gour) permet de résoudre le problème. Lors d'un atelier dédié à ces méthodes, nous avons testé 3 ensembles de matériels adaptés aux situations rencontrées.

Pour les prélèvements de petit diamètre (4 à 10 mm interne), la profondeur d'investigation permet d'atteindre 80 mm sans difficulté particulière (fig. 3). Les problèmes rencontrés sont l'amorce du forage (impliquant qu'un opérateur tienne la tête au début du travail). Sur les très petits diamètres, la carotte se fragmente et remonte dans la tête d'injection, gênant la possibilité de reconstituer correctement la carotte. Le dosage de l'injection d'eau (pouvant être réalisé avec un pulvérisateur ou une bouteille PET) doit être fait avec soin. La pression sur l'outil doit être adaptée. Ces éléments militent pour une formation de l'opérateur surtout pour des sites à forts enjeux patrimoniaux.

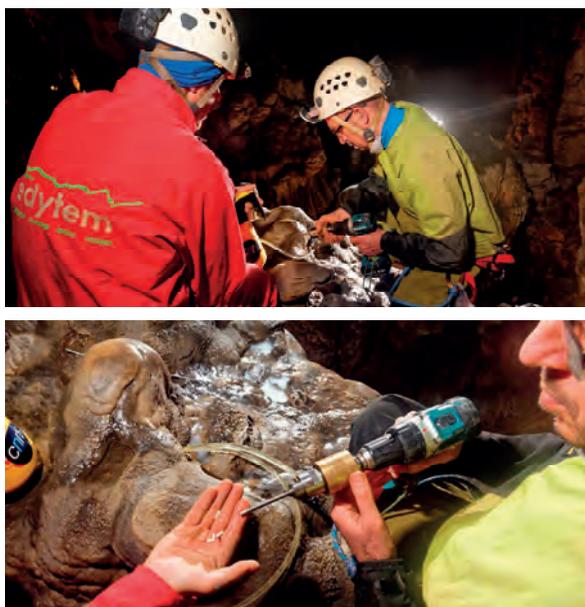


Figure 3 : Carottage de petit diamètre (ici 4 mm intérieur) mis en œuvre avec une visseuse et un pulvérisateur de jardin (Aven d'Orgnac, Ardèche). Photo S. Jaillet.

Les tests réalisés sur diamètre moyen (28 à 40 mm) se sont révélés concluants. Sans colonne de guidage et avec deux rallonges, en 32 mm, il est assez aisé d'atteindre 1 m de profondeur (fig. 2). Les principaux problèmes rencontrés sont de casser les tronçons de carottes à la base du carottage et d'extraire la carotte. Cette difficulté augmente à chaque ajout d'une rallonge. Une longue tige métallique

rigide peut être utile pour casser la carotte. Aspirer dans le tuyau d'injection d'eau peut parfois permettre de maintenir la carotte dans le carottier dans la phase d'extraction. Notons qu'à partir de ces diamètres, la consommation d'eau devient importante (au moins 10 litres pour 1 m de carotte).

L'utilisation de diamètres plus importants (80 mm ou plus) implique le recours à une colonne de guidage fixée au sol (gougeons ou scellement) (fig. 4). La méthode permet d'ajouter plusieurs rallonges et d'envisager des carottages de plus de 2 m (QUINIF, 1991). L'impact visuel et environnemental, le recours à un matériel plus lourd, la nécessité d'utiliser le 220 V, milite pour limiter ces opérations à des cas particuliers (analyse morphologique des lamines par exemple, demandant une largeur minimale de la carotte).



Figure 4 : Carottier 80 mm sur colonne de guidage et refroidissement à eau, ici mis en œuvre sur une grosse stalagmite couchée (Aven d'Orgnac, Ardèche). Photo P. Crochet.

#### 4. Prélever pour analyser, communiquer, échanger

La question de l'impact visuel est importante et suscite d'autres réflexions. En effet les spéléothèmes participent à l'esthétique de la grotte. Il est donc indispensable d'accompagner chaque prélèvement d'une réflexion préliminaire sur l'intérêt de l'échantillonnage, le choix de la

zone retenue et l'impact visuel final. En premier lieu, pourquoi prélever sur ce point ? Quelles analyses seront faites sur l'échantillon et à quelles questions scientifiques cela permettra de répondre ? Comment organiser la restitution des données et comment intégrer les résultats

dans les bases de données qui se mettent en place ? Ces questions sont de plus en plus d'actualité dans la communauté scientifique, à l'heure d'un développement croissant des échanges de données (CNRS, 2020).

L'impact visuel peut être limité avec plusieurs approches potentielles. Doit-on cacher le prélèvement ? Si oui, il n'est pas impossible de boucher le trou avec des matériaux inertes, le temps et les écoulements recouvriront la cicatrice rapidement si la concrétion est encore active. Il est également possible d'envisager de montrer explicitement le

trou en documentant le travail, par exemple avec une pancarte expliquant pourquoi, par qui et quand ce prélèvement a été réalisé. Ces messages peuvent avoir deux effets : (i) ne pas laisser les visiteurs devant un trou sans explication et (ii) sensibiliser aux questionnements scientifiques et aux modes de travail. Une troisième possibilité est de reproduire un fac-similé du prélèvement, lorsque la concrétion entière a été prélevée, mais cette possibilité n'est plus d'usage si l'on se limite à un carottage plutôt qu'un prélèvement de la concrétion complète.

## Conclusions

À travers cette note préliminaire, nous avons voulu présenter les premiers résultats de ce groupe de travail sur les carottages sur calcite au sein du réseau de métiers MSK du CNRS.

Ces premiers tests montrent que le diamètre 4 mm est délicat à mettre en œuvre et doit sans doute être réservé à des enjeux particuliers. Le diamètre 10 mm permet, avec une visseuse et une bouteille PET, d'avoir un matériel simple, polyvalent et efficace (poids total 3 kg), notamment pour des datations prospectives. L'utilisation de carottiers de 32 mm avec un perforateur 18, 24 ou 36 V permet d'atteindre aisément 1 m de profondeur dans des conditions satisfaisantes, là encore avec un encombrement raisonnable (poids total 7 kg). Il est toutefois important d'avoir un perforateur (ou une visseuse) avec un couple de serrage de bonne qualité (minimum 40 N/m) et des batteries de fort ampérage, pour l'autonomie. Parmi les différents modèles

de têtes diamantées que nous avons testés, la société ODS (Saint-Leu-la-Forêt, 95) a démontré la performance de ses couronnes diamantées sur mesure, notamment sur des forages avec rallonges.

Loin de limiter ces réflexions à des aspects techniques, nous souhaitons les élargir à des problématiques plus vastes qui sont celles des enjeux de conservations des milieux souterrains et à la question du partage des données. La seconde phase de ce travail sera donc de confronter, au cours d'un atelier thématique à venir, les différents utilisateurs de spéléothèmes. L'objectif sera de comparer les avantages et inconvénients des différentes techniques utilisées et utilisables, puis de former et sensibiliser les débutants aux questions posées. À plus long terme, l'objectif final de ce travail sera de proposer un guide méthodologique adapté aux différents enjeux et situations rencontrées sous terre.

## Remerciements

Nous remercions l'ANR HUNIWERS et le Réseau CNRS « Milieux Souterrains et Karsts » pour le support financier de ces travaux, le site d'Orgnac l'aven pour les tests réalisés et le comité départemental de Spéléologie de l'Ardèche pour l'accompagnement. Philippe Crochet et Annie Guiraud nous ont photographié sur le site de l'aven d'Orgnac. Les laboratoires impliqués dans ce travail sont : EDYTEM, LSCE, GEOPS, CEREGE et BRGM.

## Références

CNRS (2020). Plan Données de la Recherche du CNRS [https://www.science-ouverte.cnrs.fr/wp-content/uploads/2020/11/Plaque-Plan-Donnees-Recherche-CNRS\\_16112020.pdf](https://www.science-ouverte.cnrs.fr/wp-content/uploads/2020/11/Plaque-Plan-Donnees-Recherche-CNRS_16112020.pdf)

PONS-BRANCHU E., BOURRILLON R., CONKEY M., FONTUGNE M. and FRITZ C. (2014). Uranium-series dating of carbonate formations overlying Paleolithic art: interest and limitations. *Bull. Soc. Préhist. Franc.*, 111 (2), pp.211-224.

PONS-BRANCHU E., SANCHIDRIAN J.L., FONTUGNE M., MEDINA-ALCAIDE M.A., QUILES A., THIL F. and VALLADAS H. (2020). U-series dating at Nerja cave reveal open system. Questioning the Neanderthal

origin of Spanish rock art. *Journal of Archaeological Science*, 117.

QUINIF, Y. (1991) La série stalagmitique de la galerie des Vervietois (Han-sur-Lesse, Belgique). *Speleochronos* n°3, CERAK, Univ. Mons, pp. 29-44.

SPÖTL C. and MATTEY D. (2012). Scientific drilling of speleothems – a technical note. *International Journal of Speleology*, 41(1), 29-34.

VALLADAS H., PONS-BRANCHU E., DUMOULIN J.P., QUILES A., SANDRICHIAN J.L. and MEDINA-ALCAIDE M.A. (2017). U/TH and 14C cross dating of parietal calcite deposits: application to Nerja cave (Andalusia, Spain) and future perspectives. *Radiocarbon*, Vol 59 (6), p 1955–1967.