



La grotte de Cotencher (Rochefort, NE)

Évolution des relevés topographiques et stratigraphiques (1867-2019)

par François-Xavier Chauvière 1, Denis Blant 2, Michel Blant 2, Thierry Bohnenstengel 3,4, Frédéric Brenet 1, Judit Deák 1, Yves Delamadeleine 5, Philipp Häuselmann 2, Pierre-Yves Jeannin 2, Marc Juillard 1, Nicolas Menu 6, Julien Spielmann 1, Eric Weber 2, Rémy Wenger 2, Philippe Zuppinger 1

Commune : Rochefort

Coordonnées : CN 1163, 2 551 584 / 1 201 600, alt. 660 m

Développement : 25 x 11 x 5 m

Introduction

La grotte de Cotencher n'a jamais fait l'objet d'une publication dans *Cavernes*... Il s'agit là d'une situation doublement insolite, tant pour l'un des sites préhistoriques majeurs de Suisse et le plus ancien du canton de Neuchâtel, que pour une revue qui est la mémoire des lieux et des activités spéléologiques en Suisse !

Découverte en 1858 à l'occasion de la construction de la ligne de chemin de fer reliant la Suisse à la France (Berne – Paris), la grotte de Cotencher a été fouillée à plusieurs reprises au cours des XIXe, XXe et XXIe siècles (Fig. 1). Sa renommée initiale tient d'abord à la découverte d'ossements, principalement rapportables à l'ours des cavernes (Otz, 1867). La présence de galets alpins dans le remplissage de la grotte a permis à Edouard Desor

d'authentifier l'ancienneté de ces restes fauniques (Desor, 1867, 1868, 1871). Les fouilles du géologue Auguste Dubois et du paléontologue Hans-Georg Stehlin, entre 1916 et 1918, ont confirmé la grande richesse paléontologique des dépôts sédimentaires pléistocènes les plus profonds (« la couche à galets » et « la couche brune »), en identifiant, parmi les milliers de restes osseux, plus d'une soixantaine d'espèces animales, pour la plupart éteintes. En mettant par ailleurs au jour des restes de foyers ainsi que plusieurs centaines d'outils en pierre taillés par l'Homme de Néandertal, ces travaux d'envergure ont fait entrer Cotencher dans le cercle fermé des sites archéologiques suisses datés du Paléolithique moyen (Dubois & Stehlin, 1932-1933). En 1988, la stratigraphie générale du gisement a bénéficié d'une nouvelle lecture par Philippe Rentzel, à partir d'observations sédimentologiques et d'analyses minéralogiques (Rentzel, 1990, 1992 ; Adatte et al., 1991). Ces études ont permis, entre autres, de proposer une interprétation neuve de la dynamique sédimentaire de la grotte, renforçant son statut de stratigraphie de référence pour le Pléistocène jurassien et au-delà. En définitive, Cotencher aurait constitué, durant la préhistoire ancienne, l'habitat temporaire et saisonnier de groupes de Néandertaliens venus de zones localisées au nord du Jura ou entretenant des contacts avec cette région. La variété apparente des activités, pratiquées essentiellement sous le porche de la caverne, serait en lien avec l'exploitation de différents biotopes présents à proximité de la grotte (Le Tensorer, 1998 ; Bernard-Guelle, 2004).

De 2016 à 2019, la section Archéologie de l'Office du Patrimoine et de l'archéologie du canton de Neuchâtel (OPAN) a pratiqué, chaque année, un retour au terrain de Cotencher. Intégrées au programme défini depuis 2012 par la direction archéologique cantonale qui consiste à (ré)investir les Vallées et les Montagnes du Pays de Neuchâtel, les différentes interventions ont pris place au sein du Projet Cotencher (Wüthrich & Bujard 2018a et b). Programme de mise en valeur ambitieux de la grotte, ce projet concilie la sauvegarde du site et de la faune cavernicole actuelle (chauves-souris) et la fréquentation



Figure 1. Vue depuis le sud du porche de la grotte (cliché : M. Juillard)

humaine (travaux archéologiques, visites de la cavité de juin à septembre uniquement). La réhabilitation de la grotte a impliqué le remplacement des anciennes structures de protection du gisement – devenues totalement caduques – par de nouvelles installations mieux adaptées (escaliers et passerelle métalliques, panneau destiné à la protection de la stratigraphie centrale). Elle s'est accompagnée d'une actualisation des données scientifiques sur la cavité, toujours en cours (révision des contextes spéléologique, archéologique et sédimentaire, établissement d'un cadre radiochronométrique, révision des collections fauniques et lithiques et constitution de nouvelles séries, analyse du contenu biospéléologique actuel ; Chauvière et al., 2018 a, b, c et d ; Chauvière et al., 2019 ; Deák et al., 2019 ; Luret & Castel, 2019).

Dans le cadre de cet article, nous avons choisi de centrer notre propos sur les topographies de la grotte et les relevés stratigraphiques successifs réalisés de 1867 jusqu'à nos jours. Ces documents sensibles méritent plus que tout autre d'être stabilisés, dans la mesure où ils constituent simultanément des résultats et les cadres de réflexion dans lesquels sont injectées les données obtenues sur le terrain et en laboratoire. Après une

présentation générale du site, on exposera l'évolution des différents types de relevés topographiques et stratigraphiques de Cotencher, en distinguant trois périodes d'activité scientifique : de la découverte à 1932-1933, la fin des années 1980, puis de 2016 à nos jours.

Présentation générale du site

Description de la grotte

Morphologie

Cotencher s'ouvre dans les calcaires du Malm supérieur, dans les gorges de l'Areuse, à 660 mètres d'altitude. Constituée d'un porche et d'une courte galerie (25 x 11 x 5 m), elle renferme une importante séquence de dépôts sédimentaires holocènes et pléistocènes (Fig. 2).

La grotte a une morphologie arrondie, typique en principe d'une cavité phréatique, même s'il est impossible de l'affirmer complètement. En effet, la gélifraction des plafonds, visible par endroits, pourrait avoir masqué ou détruit en partie les formes de la genèse initiale. Dans l'état actuel des connaissances, il n'est même pas possible

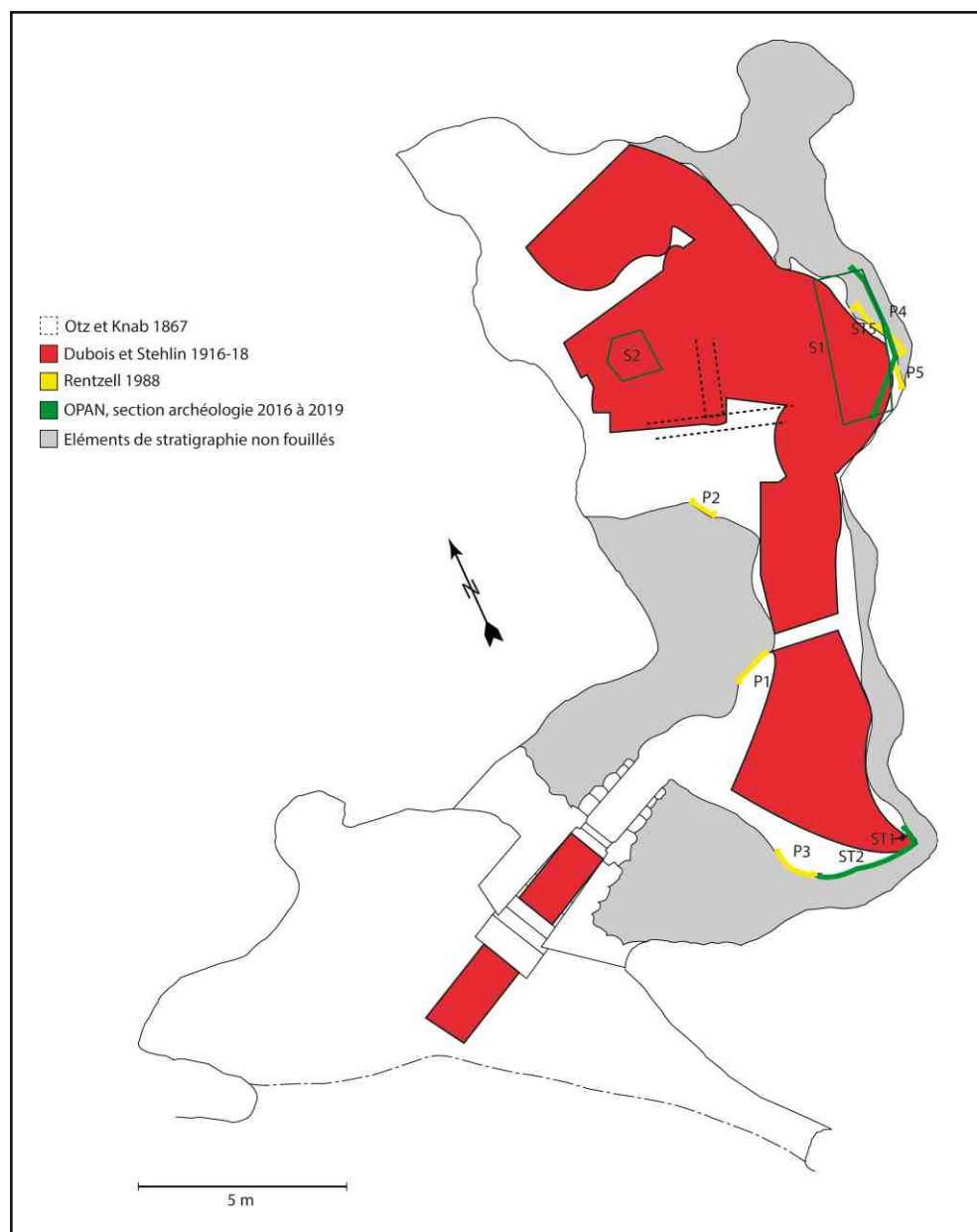


Figure 2. Plan synthétique de la grotte avec indication des principales interventions et coupes stratigraphiques

de dire si cette grotte possède une continuation, car on peut penser qu'elle a été creusée par l'influence de l'eau qui infiltrait la roche, en excavant une sorte d'abri-sous-roche sans suite apparente.

Hydrologie, climatologie

Mesure des goutte-à-goutte

Les seules apparitions d'eau dans la cavité sont formées par des goutte-à-goutte tombant du plafond. Ceux-ci étaient bien visibles lors d'une visite du 15 juin 2016, où la période était propice (précipitations abondantes ce jour-là et les jours précédents ; Fig. 3). Ces goutte-à-goutte étaient actifs dans quatre zones, pour un débit estimé de 4 à 5 l/heure. Le goutte-à-goutte le plus actif que nous ayons pu mesurer est situé proche de l'entrée. Il donne une conductivité électrique de 472 µS/cm et une température de 10,2°C (15.6.2016).

Par temps sec, toutes ces venues d'eau sont inactives. Une observation, en date du 19 avril 2017, a été faite en situation d'étiage. Ce jour-là, seules quelques gouttes et traces d'humidité étaient visibles, comme l'arrivée d'eau par le plancher stalagmitique (rond bleu Fig. 3). Une semaine plus tard, après l'arrivée des pluies, la coulée de calcite du fond était à nouveau alimentée.

Mesures de température en continu

Des capteurs de température en continu (une mesure toutes les deux heures) ont été installés depuis juin 2016. Les mesures sont données dans le graphique de la figure 4. Trois d'entre eux ont été mis à l'intérieur (points rouges Fig. 3).

Lors de la saison froide, lorsque la température extérieure descend en dessous de la température moyenne de la grotte, l'air froid extérieur y pénètre. La cavité fonctionne donc comme un piège à air froid en hiver (Fig. 5), un peu comme les glaciers du massif du Jura, telles celles de Monlési (NE), qui sont aussi monitorées pour la température (Luetscher, 2005 et rapports internes de l'ISSKA). Les mesures hivernales de température montrent que lors d'épisodes froids, la température des zones basses de la grotte s'abaisse rapidement et qu'il peut y geler. Une analyse détaillée de ces courbes de température (Jeannin in Blant et al., 2017) conclut que :

- Cotencher est intégralement située en zone hétérothermique, ce qui correspond à une zone d'entrée de cavité ;
- cette situation doit notablement assécher la cavité, particulièrement son sol ;
- le sol de Cotencher est en partie exposé au gel pendant l'hiver.

Mesure de flux d'air

Plusieurs mesures de courant d'air ont été prises avec un anémomètre. Elles donnent la plupart du temps 0 (flux nul ou <1 cm/s), à part un léger courant au point 3 en juin 2016 et un courant plus marqué lors des deux séries de mesure d'avril 2017 aux stations 3 et 5 (T_{ext} plus froide que la grotte).

Sédiments et chronologie

Perçue dès les écrits de Desor, confirmée par les travaux de A. Dubois & H.-G. Stehlin (1932-1933) et précisée par ceux de Ph. Rentzel et ses collaborateurs

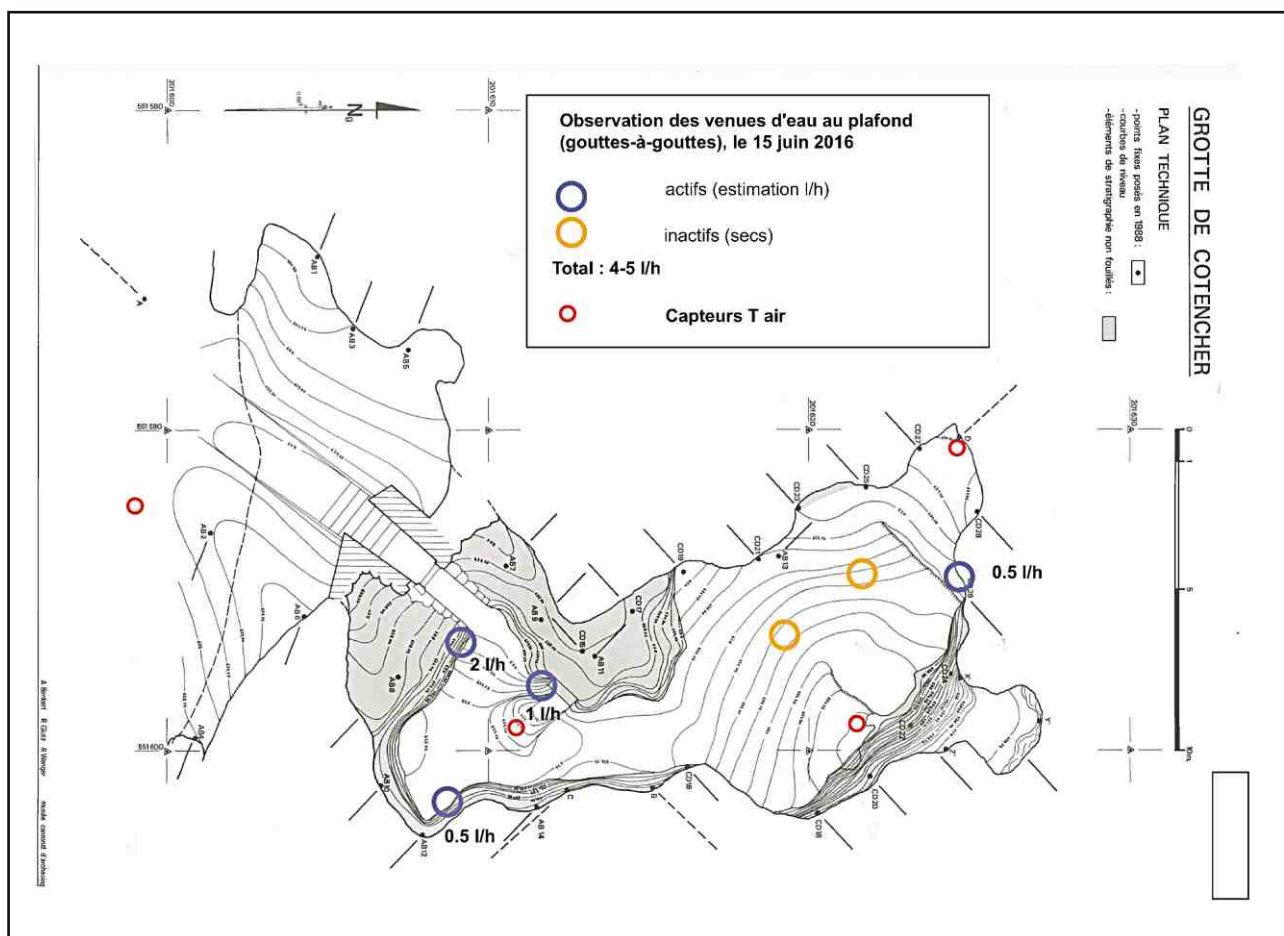


Figure 3. Carte des venues d'eau observées le 15 juin 2016

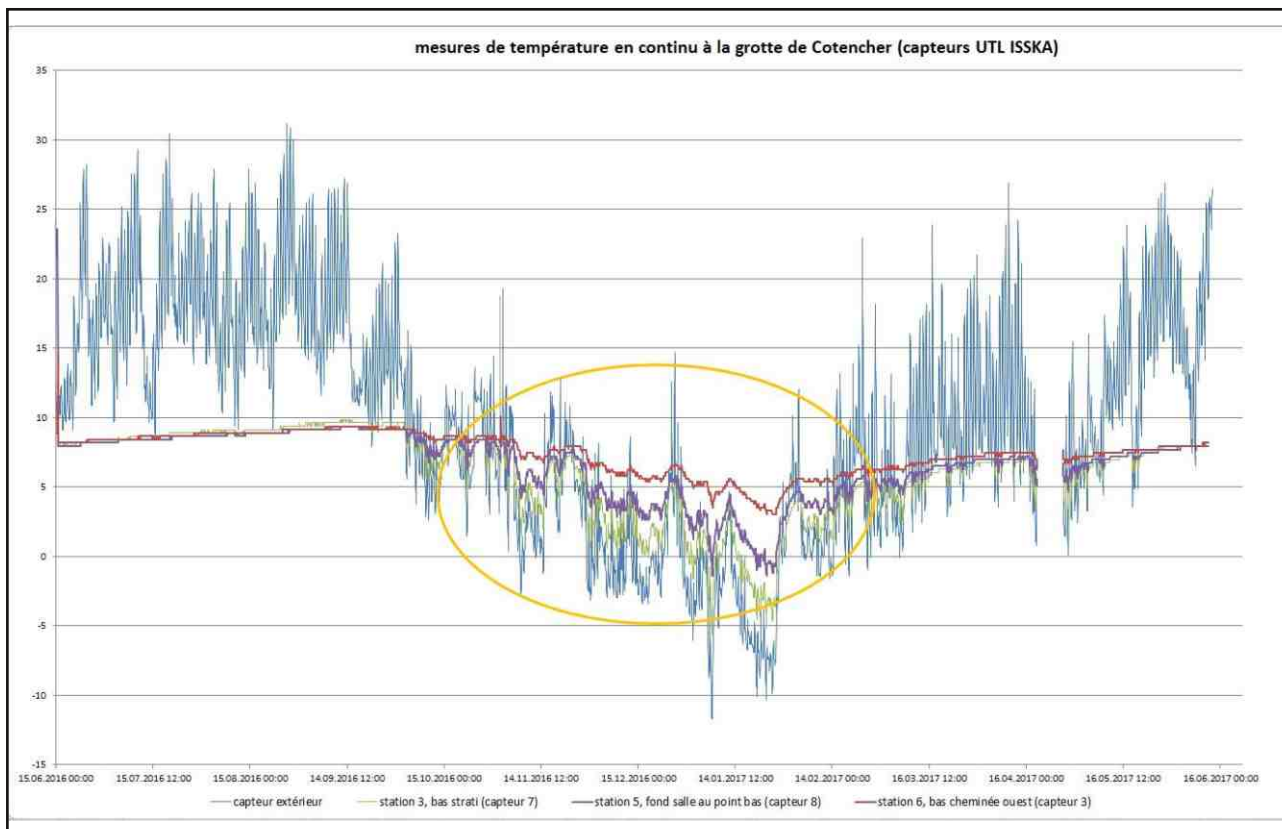


Figure 4. Mesures de température de juin 2016 à juin 2017. La période froide est entourée au centre du graphique

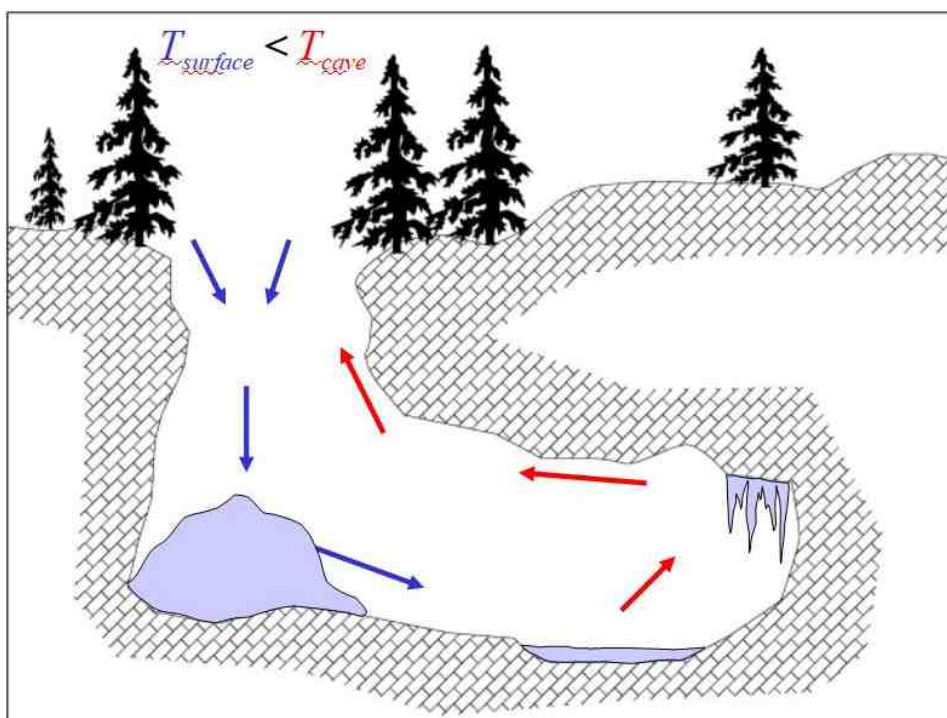


Figure 5. Fonctionnement d'un piège à air froid en hiver (cavité statique à une entrée, d'après Luetscher, 2005)

(Adatte et al., 1991 ; Rentzel, 1990 et 1992), l'importance du remplissage sédimentaire multicolore de la grotte pour les reconstitutions environnementales de Cotencher est réelle (Fig. 6A et B).

Entre 2016 et 2019, dans le cadre du Projet Cotencher, l'intervention de l'équipe interdisciplinaire de l'Office du Patrimoine de l'archéologie de Neuchâtel, section Archéologie, a permis de mettre en évidence de nouvelles

caractéristiques des sols et sédiments. L'ensemble de ces données ainsi que les datations liées à la mise en place de sédiments par la méthode IRSL (« Infrared stimulated Luminescence ») ont été publiées récemment (Deák et al., 2019). Ces données, complétées par celles issues de l'intervention de 2019, sont résumées ci-après. Le remplissage sédimentaire, qui peut localement atteindre 5,5 m (Fig. 7), est exceptionnel. Il a enregistré un grand



Figure 6. A.
Stratigraphie n° 2 (ST2),
réalisée en 2016



Figure 6. B.
Stratigraphie n° 5 (ST5),
réalisée en 2019
(clichés : M. Juillard). Se
référer à la figure 2 du
présent article pour la
localisation

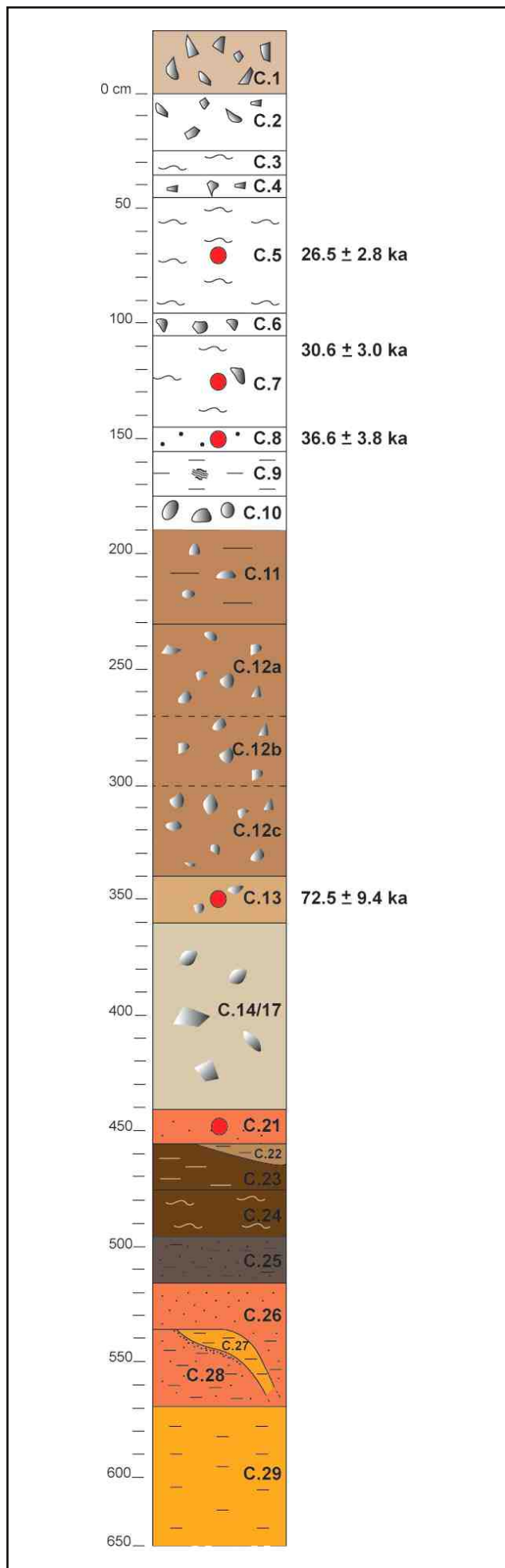
nombre de variations environnementales et climatiques, pas ou peu connues dans la région et au-delà, dans la mesure où, lors du Dernier Maximum Glaciaire (DMG), le glacier du Rhône a détruit la majorité des sols et sédiments qui existaient auparavant. De haut en bas on distingue :

- Des dépôts riches en éléments grossiers et en matière organique (couche 1), présents seulement vers l'entrée de la grotte. Ces éboulis, non encore étudiés en détail, contiennent des vestiges archéologiques datant du Moyen Age, de l'époque romaine, de l'âge du Bronze et du Néolithique.

- Un ensemble de sédiments d'une granulométrie plus ou moins fine témoignant de la complexité de l'évolution climatique lors de la dernière glaciation. Au sommet de la séquence, les couches 2 à 4 documentent la période de réchauffement après le DMG. La datation de ces niveaux est en cours. Les couches 5 à 11 ont été déposées lors du

DMG. Durant la période (+/-) 26 000 BP et 36 000 BP, le glacier a été proche de l'entrée de la grotte et l'a obstruée pendant un certain laps de temps. La granulométrie des sédiments et les caractéristiques de sols attestent d'un environnement périglaciaire. En outre, les couches 8 à 10 indiquent qu'un glacier d'origine locale a occupé le Val-de-Travers quelques milliers d'années avant que les glaciers alpins envahissent les plaines et remontent sur les flancs et dans les vallées du Massif Jurassien.

- La couche 12, soit la « couche à galets » de Dubois et Stehlin, est un dépôt contenant plusieurs strates. Ces dernières sont riches en galets calcaires très variés, en ossements d'animaux reflétant une grande variété de conditions écologiques, ainsi qu'en outils lithiques du Paléolithique moyen. Ces sédiments ont constitué des sols couverts par la végétation pendant plusieurs centaines, voire des milliers d'années en dehors de la grotte. Ils renvoient à des périodes climatiques relativement



clémentes avant le DMG. Ces sols et leur contenu archéologique ont été déplacés à l'intérieur de la grotte par des phénomènes de solifluxion survenus lors de plusieurs phases de déstabilisation du paysage.

- Les couches 14/17 attestent d'une période très froide, voire glaciaire, autour de 70 000 ans. Ces dépôts apportent des informations inédites quant à cette phase climatique froide, peu documentée en contexte terrestre à l'échelle régionale. Ils indiquent la présence d'un glacier d'origine locale au niveau de l'entrée de la grotte.

- Les couches 21 à 24, soit la « couche brune » de Dubois et Stehlin, sont des dépôts d'une granulométrie fine et sont riches en phosphore. Elles contiennent des nombreux restes de faune mais aussi quelques outils lithiques attestant de l'activité humaine avant 70 000 ans. Cette séquence est en cours de datation et d'étude (micromorphologie, palynologie, analyse des teneurs en phosphore). Elle a enregistré, au moins partiellement, les variations environnementales entre la dernière période interglaciaire (plus chaude qu'aujourd'hui et qui a eu lieu entre environ 127 000 et 110 000 BP) et le refroidissement majeur de 70 000 ans environ.

- La partie inférieure du remplissage est composée de dépôts sableux (couches 25, 26, 28) et argileux (couches 27, 29). Ceux-ci renvoient probablement à de très anciennes phases hydrodynamiques et à des phénomènes de dissolution karstique dans la grotte et ses alentours. Des analyses et des datations sont en cours pour confirmer ces hypothèses.

Le plancher stalagmitique présent au-dessus de la station 6 (voir Fig. 3) a l'air très ancien, compte tenu de son emplacement très élevé dans la galerie et de son épaisseur (Fig. 8). La croûte stalagmitique, indiquée par Gigon (1976) sur les argiles blanches (couches 2 à 10) à la base des éboulis, doit être une autre formation, beaucoup plus jeune. Le plancher ancien pourrait donc être lié à un paléoremplissage très antérieur au remplissage actuel.

La coulée de calcite pétrifiée au-dessus du mur à la station 6 est postérieure aux fouilles et à la vidange partielle de la cavité dès 1867 (Fig. 9). En attestent le haut du mur artificiel qui est aussi pétrifié ainsi que des insectes pris dans cette pétrification provoquée par une arrivée d'eau depuis des microfissures.

Biospéléologie

Faune actuelle

Les chiroptères ont été étudiés par le Centre de coordination ouest pour l'étude et la protection des chauves-souris (association Chiroptera Neuchâtel – CCO), par capture, détection acoustique et contrôles hivernaux. Les autres groupes (invertébrés, mammifères terrestres) ont fait l'objet d'investigations de l'ISSKA ainsi que d'un travail de maturité réalisé en 2015 au Lycée Denis-de-Rougemont par Leila Stutz.

L'étude a permis de documenter la présence de sept espèces de chauves-souris au niveau des fissures de l'abri-sous-roche et de la grotte proprement dit. Lors des trois sessions de capture, 19 chauves-souris ont été recensées, ce qui est quantitativement comparable aux résultats obtenus lors d'interventions similaires réalisées

Figure 7. Stratigraphie synthétique de la grotte de Cotencher, à l'issue des fouilles 2019 (infographie : F. Brenet)

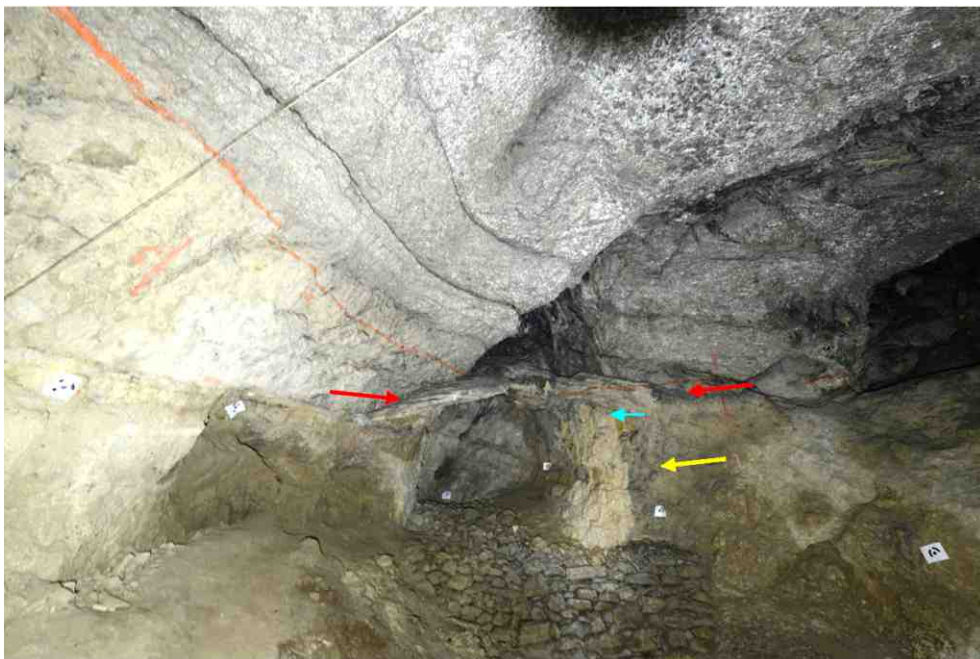


Figure 8. Fond de la salle : plancher stalagmitique (flèche rouge), cascade pétrifiée toujours active (flèche jaune ; flèche bleue = arrivée d'eau)



Figure 9. Insecte pétrifié dans la coulée de calcite du fond (>1867 ; cliché : D. Blant)

ces dernières années dans d'autres grottes situées à proximité de Cotencher. La capture d'un mâle Barbastelle d'Europe, une espèce en danger en Suisse et pour laquelle les gorges de l'Areuse représentent un des bastions, est une indication forte de l'importance de la grotte pour la conservation des chauves-souris. Deux des sept espèces de chauves-souris fréquentant la cavité n'ont pas été capturées, mais ont été identifiées par détection acoustique et/ou par observation visuelle dans la grotte. Il s'agit du Grand Rhinolophe (Fig. 10), une espèce en danger critique d'extinction, présente au nord des Alpes

uniquement dans le Jura valdo-neuchâtelois et dans la région du Parc du Jura argovien, auquel s'ajoute le Murin à moustaches, une espèce non menacée et commune dans les grottes neuchâtelaises. Lors des visites hivernales, seules deux chauves-souris (un Grand Rhinolophe et un petit murin indéterminé) ont été observées au fond de la grotte.

La pose d'un piège-photo à l'entrée de la cavité a permis de détecter la présence de mulots (*Apodemus* sp.) adultes et juvéniles dans le couloir d'entrée. Parmi les autres rongeurs troglodiles pouvant utiliser la grotte, le loir (*Glis*)



Figure 10. Grand Rhinolophe (*Rhinolophus ferrumequinum*) en vol dans la grotte du Chemin de Fer, Rochefrot NE (cliché : T. Bohnenstengel)



Figure 11. L'araignée *Meta menardi*, un arachnide colonisant l'entrée des cavités (cliché : M. Blant)

Figure 12. Le papillon *Triphosa sabaudiata* est connu de quelques cavités seulement dans la chaîne du Jura (cliché : M. Blant)

et le lérot (*Eliomys quercinus*) peuvent être cités comme visiteurs potentiels possibles, mais aucun indice de présence n'a été relevé (ni crottes, ni traces). Ces trois espèces de rongeurs font partie de la faune pléistocène relevée dans la cavité, mais ne sont pas mentionnées en tant qu'observation d'individus vivants (Gigon, 1976). Aucun indice de présence de carnivores (crottes, traces ou déblais d'excavation) n'a été relevé dans la cavité. Pour les invertébrés, quelques données ont été publiées par Pierre Strinati (1966) dans son inventaire de la faune cavernicole de la Suisse, reprises ensuite par Gigon (1976). Il s'agissait d'un acarien, d'un diploure, de deux collemboles et de deux lépidoptères. De nouvelles observations ont été réalisées durant l'hiver 2014-2015 par L. Stutz (2015). Elles ont permis d'augmenter la liste faunistique avec une araignée (*Meta menardi*) (Fig. 11), un lépidoptère (*Triphosa sabaudiata*) (Fig. 12) et un diplopode (*Polydesmus helveticus*), pour ce qui est des organismes cavernicoles. Les observations réalisées ensuite par l'ISSKA en 2016 n'ont pas apporté de nouvelles espèces, mais confirmé celles identifiées par L. Stutz.

Les résultats de l'étude montrent que la grotte de Cotencher est un site important pour la conservation des chauves-souris. De par la présence de la Barbastelle d'Europe et du Grand Rhinolophe, la cavité devrait être classée d'importance nationale. La faune invertébrée de la grotte de Cotencher présente une composition restreinte et classique. La faible profondeur, l'absence d'eau courante ou stagnante et la faible diversité des substrats expliquent ce résultat.

Mycologie

Plusieurs prélèvements ont permis de mettre en évidence des mycéliums de champignons sur une paroi du sédiment (Fig. 13). Certains sont attribuables à des moisissures qui se nourrissent de vestiges organiques, des radicelles en particulier. Mais la grande masse des hyphes rencontrées dans les taches brunes sont formées de cellules septées et à parois épaisses colorées en brun. À certains endroits, un mycélium à paroi mince, qui se colore en bleu dans le Bleu Coton, se mêle à ces hyphes. Il s'agit d'un mycélium primaire qui forme ici ou là des basides génératrices de spores (Fig. 14). L'analyse ADN effectuée par le Laboratoire de Microbiologie de l'Université de Neuchâtel a conclu à la présence d'une espèce de Théléphoracées du genre *Pseudotomentella*, le degré de fiabilité étant de 99 %. La détermination de l'espèce a mis en évidence *Pseudotomentella mucidula* (Karst.) Svrcek, un champignon croissant sur le bois pourrissant, de feuillus ou de conifères mais qui est aussi signalé sur le bois d'œuvre (Breitenbach & Kränzlin, 1986).



Figure 13. Taches brunes sur la paroi Ouest (cliché : Y. Delamadeleine)



Figure 14. Basides et spores de *Pseudotomentella mucidula* (cliché : Y. Delamadeleine)

Relevés topographiques et stratigraphiques

De la découverte à 1932-1933

Il n'existe aucun relevé de la grotte datant des temps de la découverte (1858) ni de celui de la toute première exploration de son remplissage, en 1867. Le premier document du genre qui peut être versé au dossier est une coupe longitudinale publiée par A. Dubois dans le Rameau de sapin (1872, p. 30). La longueur du développement total de la cavité (25 m), sa morphologie et différentes hauteurs y sont indiquées (Fig. 15). Quelques stalactites et le sommet du remplissage sont représentés. Dubois reproduit à peu de chose près le même profil en 1902, dans son ouvrage Les Gorges de l'Areuse et le Creux-du-Van (Dubois, 1902, p. 62 ; Fig. 16). Il y ajoute toutefois une première représentation de la stratigraphie, au sein de laquelle il distingue les quatre couches (numérotées de A à D) décrites auparavant par E. Desor (1867 et 1871). C'est à la fin des fouilles méthodiques de Dubois et Stehlin, en 1918, que la puissance de la stratigraphie de Cotencher va être retranscrite graphiquement et que les différentes couches individualisées vont être nommées selon une terminologie qui sera longtemps appliquée (i.e. déblais anciens, éboulis, couche d'argile blanche, couche à galets, couche brune de terreau et argile du fond). On notera que ces différentes coupes ne sont pas issues de relevés pierre à pierre, réalisés sur le terrain, mais bien des documents synthétiques, qui montrent la recherche des régularités stratigraphiques, sans s'encombrer des anomalies sédimentaires locales. Il est en effet désormais acquis que des couches continues d'un bout à l'autre d'une cavité, parfaitement superposées les unes aux autres et pratiquement horizontales, n'existent pas dans des contextes aussi complexes que celui des grottes et des abris-sous-roche !

La publication monographique de Dubois & Stehlin en 1932/1933 marque une rupture dans la transcription graphique des lieux. En effet, c'est à cette occasion qu'est, pour la première fois, publié un plan au sol de la cavité (Fig. 17 ; Dubois & Stehlin, 1932-1933, pl. 4). Ce plan à l'échelle 1/16 est repris sous une forme un peu modifiée dans la même publication (Dubois & Stehlin, op. cit., p. 10, fig. 1). Les deux rendent compte de la méthode de fouille utilisée entre 1916 et 1918 : mise en place des axes d'un quadrillage du terrain et aires de fouilles localisées dans l'espace de la grotte et sous le porche (i.e. les chantiers I à IX ; les puits 1 et 2). Le plan de base est à mettre en stricte

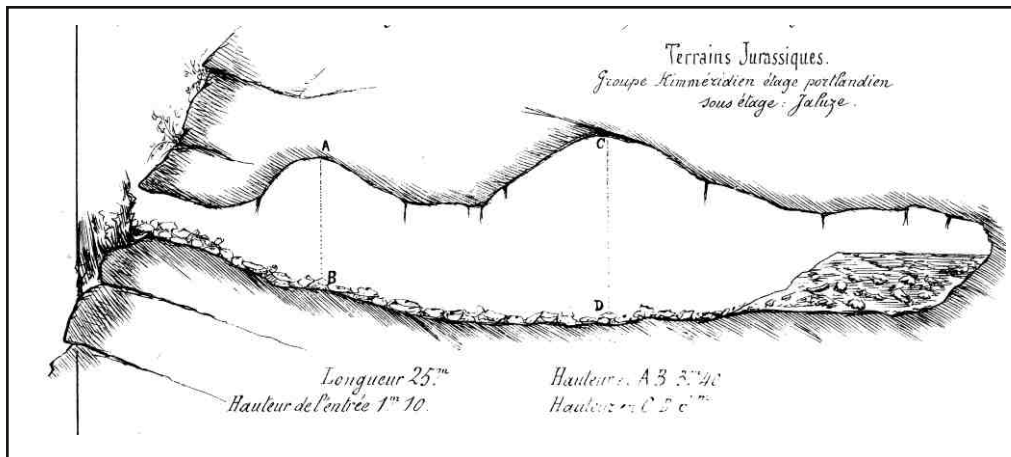


Fig. 15. Coupe transversale synthétique (extrait de Dubois, 1872, p. 30)

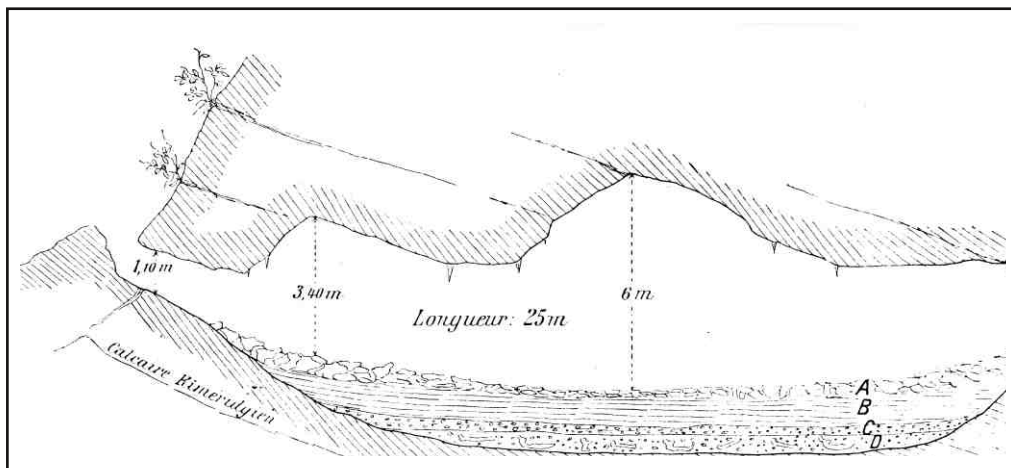


Figure 16. Coupe transversale synthétique (extrait de Dubois, 1902, p. 62)

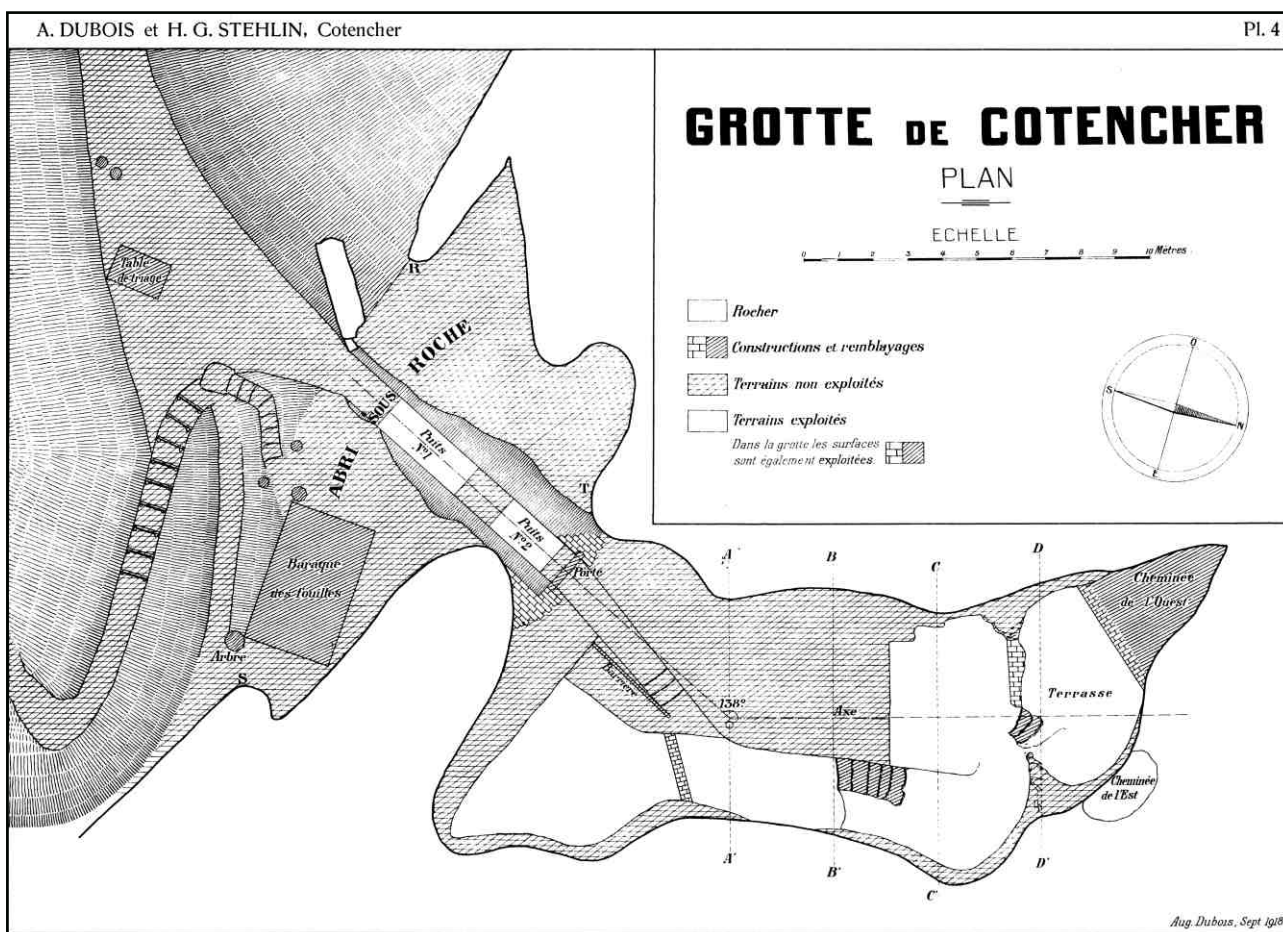


Figure 17. Plan au sol (extrait de Dubois & Stehlin, 1932-1933, pl. 4)

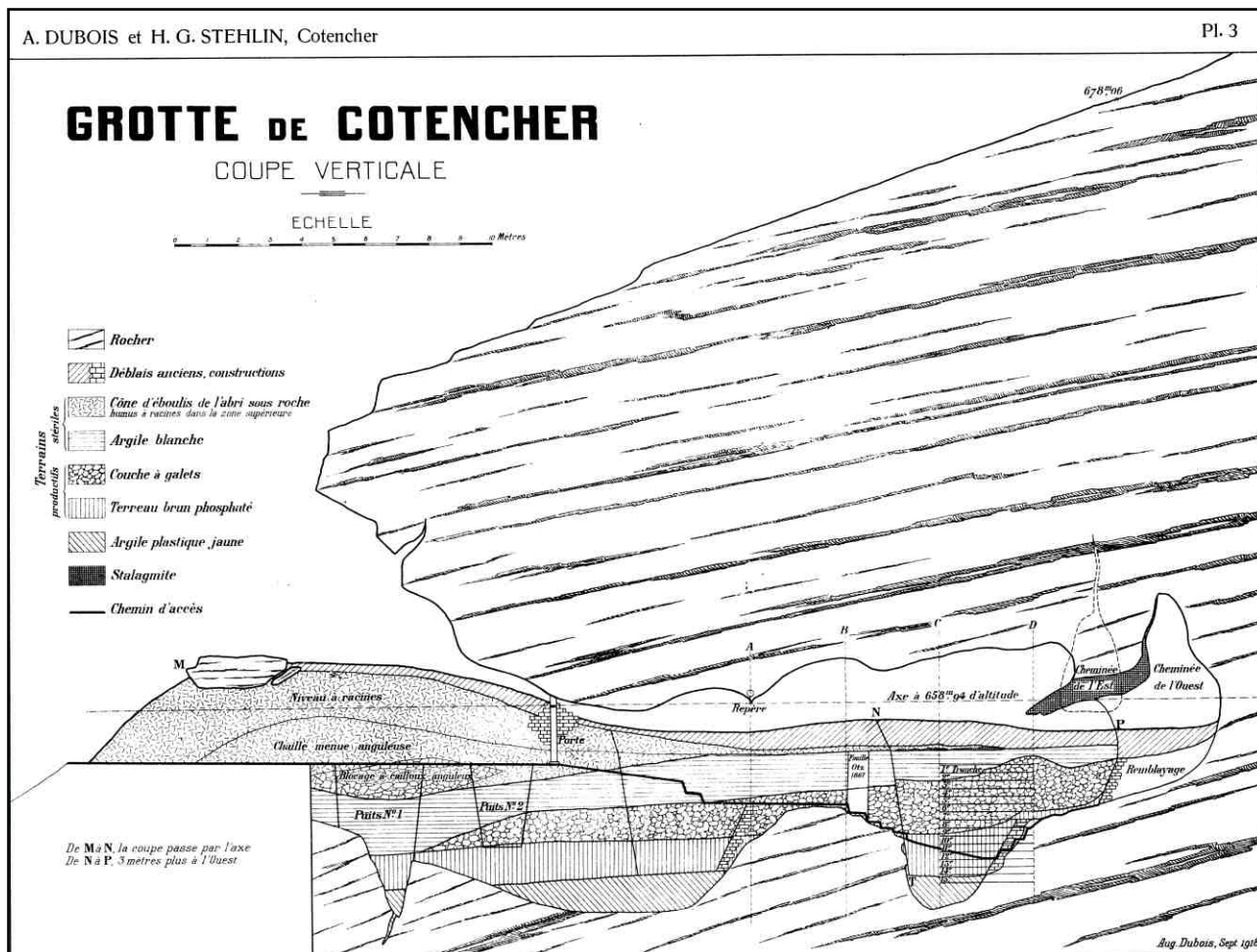


Figure 18. Coupe transversale synthétique (extrait de Dubois & Stehlin. 1932-1933, pl. 3)

correspondance avec une coupe générale longitudinale – elle aussi synthétique – sur laquelle sont indiquées les différentes couches qui constituent le remplissage de la cavité ainsi que l'altitude de référence (658,94 m) à partir de laquelle toutes les mesures de profondeur des tranches (i.e. des décapages de 25 cm d'épaisseur environ) et, partant, celles du matériel paléontologique et archéologique découvert, ont été effectuées (Fig. 18 ; Dubois & Stehlin, op. cit., pl. 3). De la prise de ces différentes coordonnées sont nées différentes coupes et plans de distribution du matériel lithique taillé, pratique extrêmement rare, voire totalement inédite pour l'époque¹.

Ces plans et cette coupe constitueront jusqu'en 1988 des documents de référence pour quiconque s'intéressera à la grotte et à son contenu sédimentaire (positionnement des échantillons palynologiques et sédimentologiques, découverte de matériel archéologique, présentation du gisement ; Vouga, 1943, Schmidt, 1958 ; Gigon, 1976 ; Moll, 1977 ; Müller, 1979 ; Bay 1981, par exemple).

L'opération de terrain 1988 : une « première ! »

En 1988, une collaboration entre le Service cantonal d'archéologie de Neuchâtel (SCAN) et l'Institut de préhistoire de l'Université de Bâle est mise en place, dans le but de rectifier différentes coupes à l'intérieur de la

grotte, d'en relever les stratigraphies et de procéder à des prélèvements pour analyses sédimentologiques. Préalablement à l'intervention, un réseau de 35 points fixes est implanté tant sous le porche qu'à l'intérieur de la cavité, par Rudolf Glutz, topographe, et Rémy Wenger, technicien au SCAN (Egloff, 1989 ; Fig. 19).

La prise de mesures topométriques précises devient alors possible et ouvre la voie à la réalisation de la



Figure 19. Exemple de point de base (CD 17) implanté en 1988 (cliché : M. Juillard)

¹ Archives Laténium et travail en cours de Marie-Isabelle Cattin et Marina Pagli

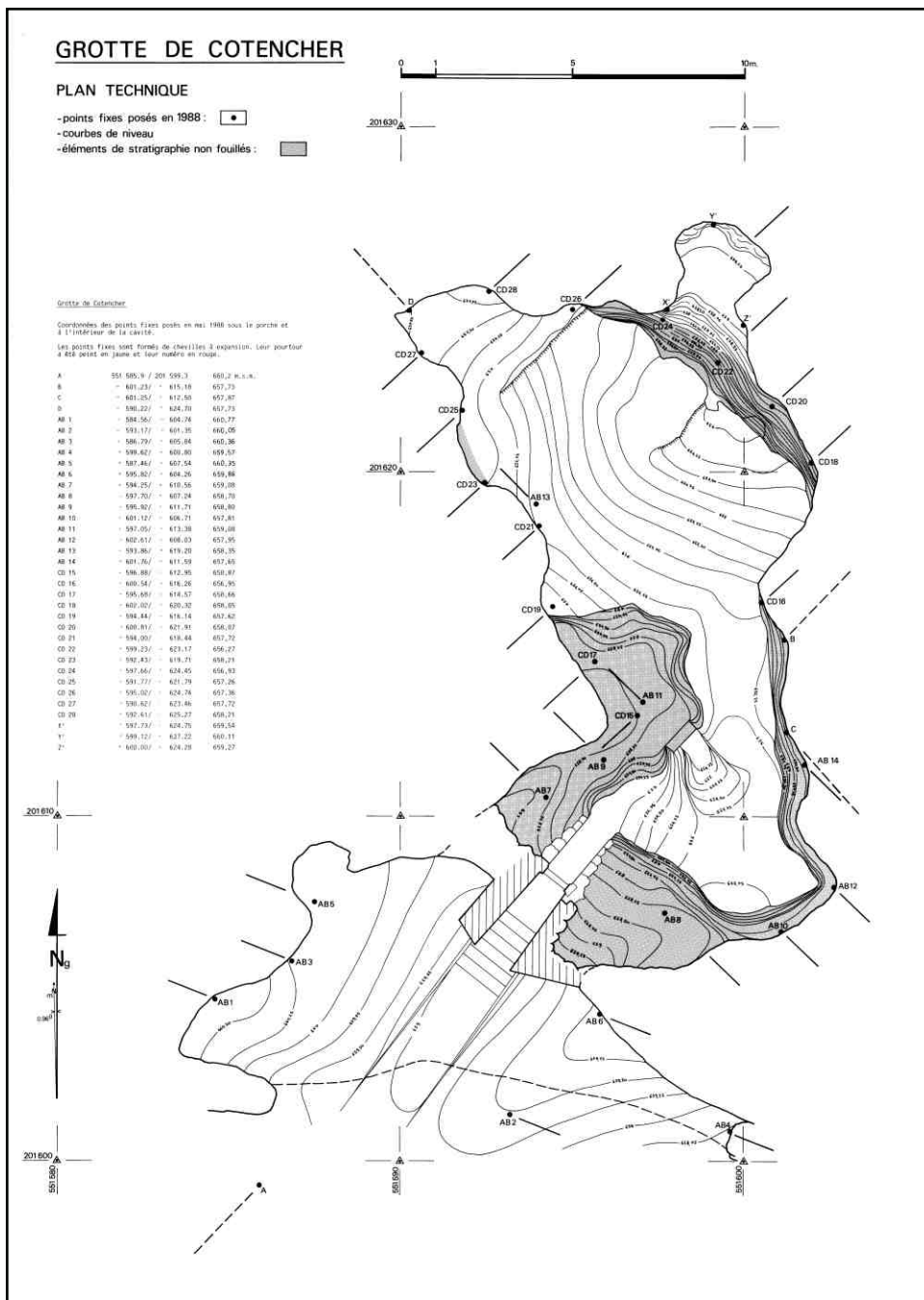


Figure 20. Plan technique et localisation des points fixes implantés en 1988 (R. Wenger)

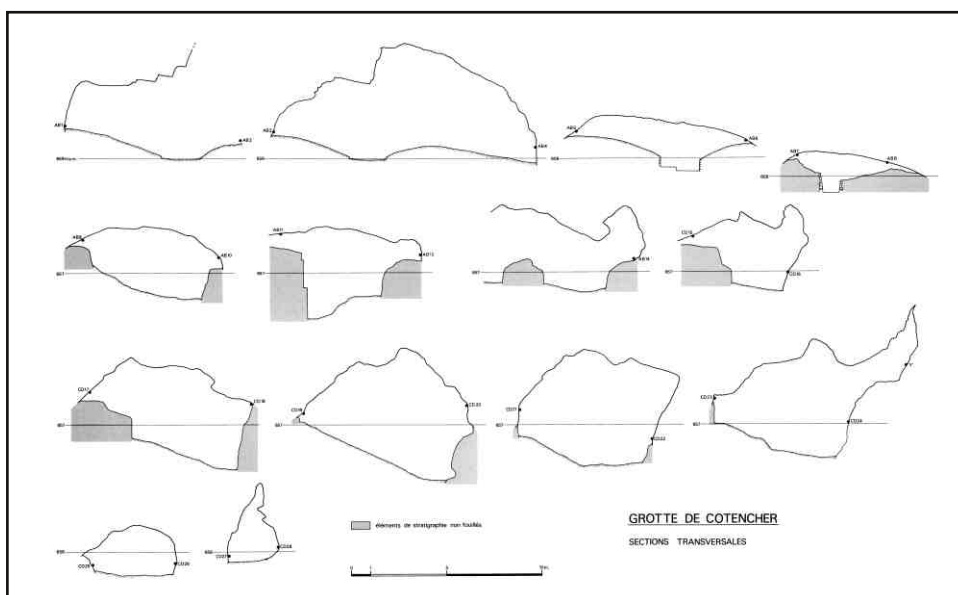


Figure 21. Sections transversales 1988 (R. Wenger)

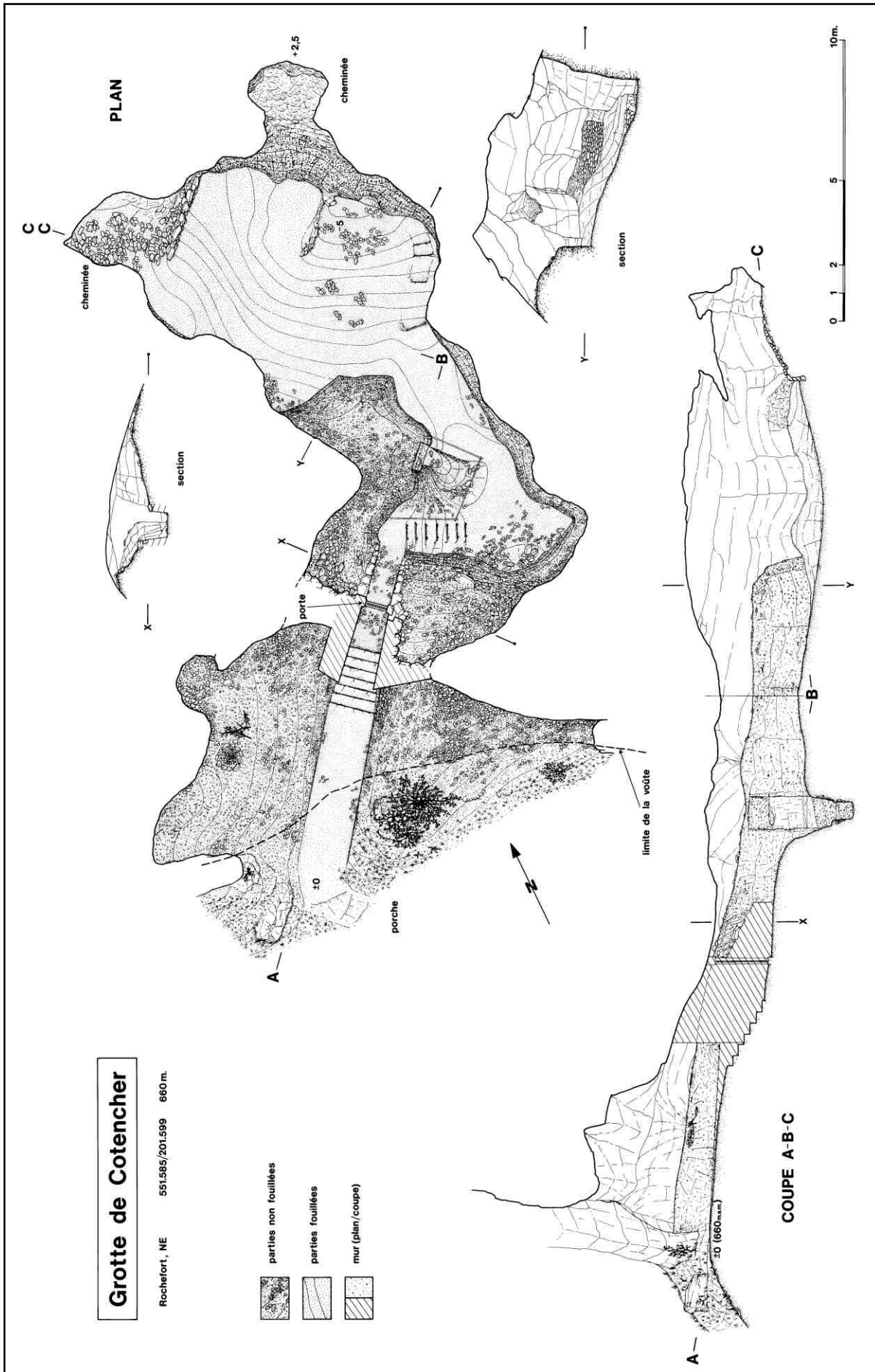


Figure 22. Topographie 1988 (R. Wenger)

première topographie de la grotte de Cotencher, au travers de l'élaboration de trois documents fondamentaux, produits à différentes échelles par R. Wenger :

1- Un plan technique au sol de la cavité et de ses abords immédiats, avec les points fixes, des courbes de niveau et les éléments stratigraphiques non fouillés (Fig. 20) ;

2- 14 sections transversales, réalisées à partir des points préalablement fixés, avec indication des éléments stratigraphiques non fouillés (Fig. 21) ;

3- Un plan au sol réaliste, en correspondance avec une coupe longitudinale complète de la cavité et deux sections transversales (Fig. 22). Ce dernier document sera publié en format réduit en 1989 (Egloff, op. cit, p. 24).

Ces différents documents, et notamment le plan au sol, vont servir de cadre pour situer les cinq coupes stratigraphiques rectifiées (profils 1 à 5) lors de l'intervention (Rentzel, 1990, fig. 5). Un choix fort est également opéré quant à la méthode de relevé de ces différentes coupes. En effet, pour la première fois, on substitue aux stratigraphies synthétiques des relevés pierre à pierre, réalisés au 1/20ème pour chacun des profils, avec prise d'altitudes absolues. Ces relevés permettent un positionnement précis des limites des différentes unités sédimentaires, des prélèvements sédimentologiques et des charbons soumis à des mesures pour datations 14C (Rentzel, op. cit., fig. 12). Des photographies en couleur complètent la documentation (Fig. 23).

L'opération de terrain 1988 ainsi que les études et les publications qui en découlent vont dès lors constituer, 30 ans durant, une base solide sur laquelle vont s'appuyer toutes les considérations sur Cotencher (Adatte et al.,



Figure 23. Profil stratigraphique 1 (P1) réalisée en 1988 (cliché : R. Wenger). Se référer à la figure 2 du présent article pour la localisation

1991 ; Morel & Hapka, 1997 ; Le Tensorer, 1998 ; Bernard-Guelle, 2004).

Les travaux réalisés de 2016 à 2019

Les travaux dont il va être question dans les lignes qui suivent s'inscrivent au sein du Projet Cotencher (voir plus haut). Ils ont mobilisé les techniques de la topométrie, de la photogrammétrie et de la modélisation 3D.

Les travaux de la section Archéologie de l'OPAN (2016 à 2019)

Compte tenu de la fragilité et de la rareté des dépôts encore préservés dans la cavité, et afin de répondre aux standards de précision documentaire de l'archéologie moderne, l'équipe de l'OPAN a pris la décision de mettre en œuvre deux techniques numériques d'enregistrement de l'information : la topométrie et la photogrammétrie. Bien que ces dernières soient toutes deux appliquées en archéologie depuis de nombreuses années, les évolutions technologiques, principalement en informatique, les ont récemment rendues à la fois plus performantes et plus accessibles.

Définition et prérequis

La topométrie regroupe l'ensemble des opérations de terrain nécessaires à l'établissement d'une carte, d'un plan, ou plus généralement, pour situer des objets dans l'espace. À partir d'un système orthonormé de coordonnées tridimensionnelles², la position des nouveaux points est calculée à partir de mesures de distances, ainsi que d'angles horizontaux et verticaux, selon les principes de la trigonométrie. Il s'agit donc d'un relevé topographique conventionnel, généralement réalisé avec un théodolite, un tachéomètre ou une station totale. Cet outil fait partie du quotidien des chantiers archéologiques et permet, entre autre, de cartographier un site archéologique, de relever l'emplacement de sondages de diagnostic, d'implanter le carroyage des fouilles ou encore de localiser les structures et les artefacts anthropiques. Ces dernières années, les appareils de topométrie ont connu une évolution technologique importante, notamment en ce qui concerne l'automatisation des calculs, ainsi que la gestion des données numériques, rendant dès lors la méthode accessible même sans connaissances professionnelles de la topographie.

Quant à la photogrammétrie 3D, il s'agit d'une technique permettant de réaliser des modèles numériques tridimensionnels. Elle permet de restituer des portions de territoire, des bâtiments ou des objets à partir de photographies. Le principe de base est celui de la stéréoscopie, similaire à celui de la vision humaine. Il permet, en multipliant les points de vue décalés dans l'espace, de restituer un relief. Dans le cas de la photogrammétrie 3D, une multitude de clichés sont pris, puis comparés à l'aide d'algorithmes d'analyse d'images afin de corréliser les pixels homologues. Dans les procédés modernes, l'ordinateur se substitue à l'œil humain, sans quoi le travail serait trop fastidieux à réaliser à grande échelle et le résultat trop imprécis pour être utilisable. Il est hautement recommandé d'ajouter des cibles (petits repères gradués) dans l'environnement à documenter. Celles-ci permettent d'accélérer le traitement, car elles

² En archéologie, le système de référence pour la topométrie peut être un système national de base ou alors un système local établi selon le carroyage de la fouille.

sont identifiées par le logiciel et facilitent la comparaison des images. En outre, une fois topographiées, elles permettent de situer le modèle obtenu dans un référentiel géographique, soit un système de coordonnées nationales, soit le carroyage d'un chantier de fouille. De plus, l'utilisation de cibles améliore la précision des résultats obtenus et permet de superposer deux modèles d'une même zone afin de les comparer, mettant par exemple en évidence les excavations supplémentaires ou les zones érodées. Il est également possible de générer des orthophotographies à partir des modèles. À nouveau, le développement du matériel informatique et des logiciels de traitement a rendu la photogrammétrie plus abordable financièrement ainsi que plus aisée à l'utilisation. Aujourd'hui, toute personne disposant d'un appareil photographique et d'un ordinateur peut s'essayer à ce procédé. Dès lors, il peut être mis en œuvre quasi-quotidiennement en archéologie, à la fois sur le terrain, en terrestre, en grotte ou en archéologie subaquatique, mais également en laboratoire pour la documentation d'artefacts.

Contraintes du milieu souterrain

Compte tenu des prérequis techniques nécessaires à la mise en œuvre de ces deux méthodes, les appliquer en milieu souterrain n'est pas chose facile. En effet, la topométrie requière des endroits stables pour mettre en station les appareils de mesure, ainsi que des visées dégagées sur les points de base et sur les sondages à relever. En raison de la morphologie accidentée des cavités, de l'instabilité des dépôts sédimentaires qui s'y trouvent et de l'absence de lumière, la prise de mesures n'est pas toujours aisée.

En raison de la base photographique de la photogrammétrie et de la nécessité de multiplier les angles de prise de vue, c'est la géométrie complexe de l'environnement et, surtout, la faible luminosité qui posent problème. Dans le cas particulier de la grotte de Cotencher, la présence de chauves-souris impose des restrictions d'éclairage dans la cavité, ce qui peut occasionner des problèmes de profondeur de champs et de netteté, critères qui, à terme, conditionnent la qualité du modèle et des textures. Dans de telles conditions, il est nécessaire de travailler soit à des vitesses d'obturation très

basses, favorisant le flou de mouvement, soit d'utiliser un trépied, ce qui réduit la mobilité du photographe et augmente la durée de prise de vue, soit d'opter pour une ouverture importante, préférentiellement alors la profondeur de champ. En outre, éclairer l'ensemble des surfaces de manière homogène demeure impossible en raison du nombre limité de lampes, de leur puissance relativement faible et malgré une répartition homogène des sources lumineuses. Dès lors de nombreuses zones d'ombre et ombres portées subsistent, formant de grands aplats noirs denses sur les clichés, alors que les contre-jours, également très fréquents, engendrent des zones entièrement blanches (Fig. 24). Ces éléments, visuellement homogènes sont difficiles, voire impossibles à interpréter par les algorithmes de traitement et compromettent la qualité finale du modèle, allant parfois jusqu'à créer des géométries inexistantes. Une partie de ces contraintes peut être éliminée en réalisant une modélisation par laser scanner. Cette méthode n'est en effet pas ou peu influencée par les problèmes d'éclairage, hormis pour proposer un rendu photoréaliste, et offre une précision accrue. Cependant, en raison d'appareils d'acquisition encore très onéreux et d'un post-traitement complexe, cette méthode reste encore relativement confidentielle en archéologie (voir supra).

Application et résultats obtenus à Cotencher

Lors des interventions de terrain réalisées entre 2016 et 2019 dans le cadre du Projet Cotencher, les deux méthodes ont été mises en œuvre conjointement. Les mesures topométriques se sont appuyées sur le réseau de points fixes implanté en 1988, préalablement convertis dans le nouveau système de coordonnées fédérales MN95. Sur cette base, et au moyen d'une station totale Trimble M3, les différents sondages ont été localisés dans l'espace de la grotte, de même que les profils et tous les objets ou prélèvements sédimentaires provenant des couches en place. En outre, les cibles nécessaires à la couverture photogrammétrique des deux sondages profonds ont également été topographiées, pour les motifs précités. L'objectif initial des excavations était d'éliminer les déblais des fouilles anciennes afin d'atteindre les sédiments pléistocènes encore en place, préservés le long des parois de la cavité. Au terme d'une première phase de



Figure 24. Couverture photogrammétrique du sondage 2 (S2) en 2019. On observe les cibles réparties autour et dans le sondage, ainsi que les problèmes d'éclairage de la scène (infographie : J. Spielmann). Se référer à la figure 2 du présent article pour la localisation

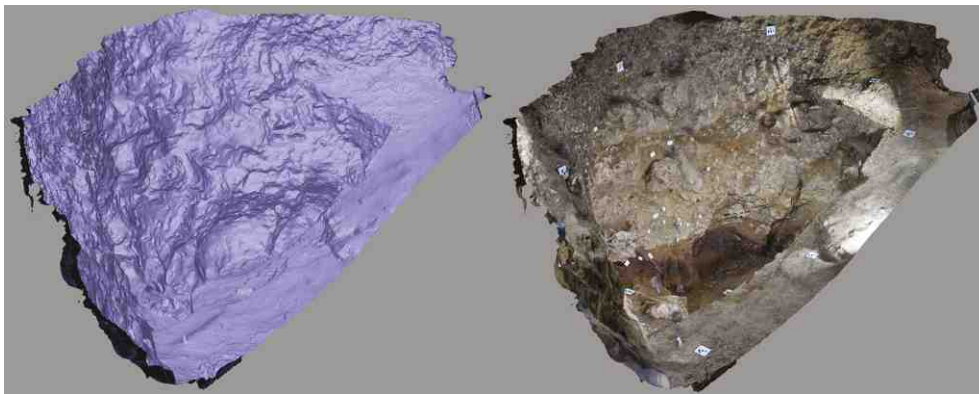


Figure 25. Modèles brut et texturé du sondage 1 (S1), état en fin de campagne 2018 (infographie : J. Spielmann). Se référer à la figure 2 du présent article pour la localisation

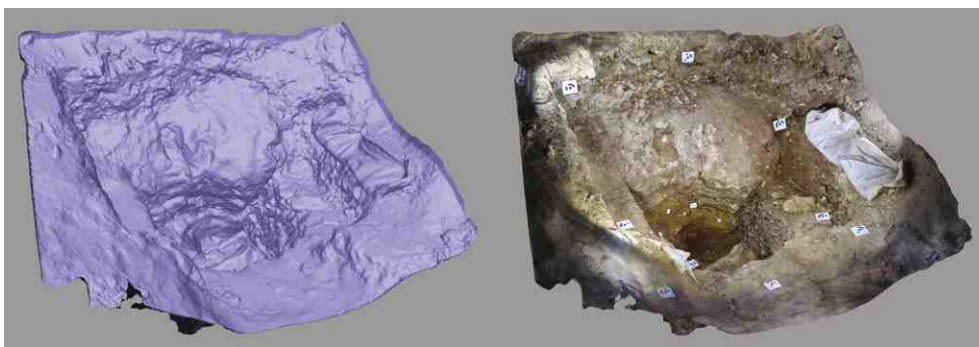


Figure 26. Modèles brut et texturé du sondage 2 (S2), état en fin de campagne 2018 (infographie : J. Spielmann)

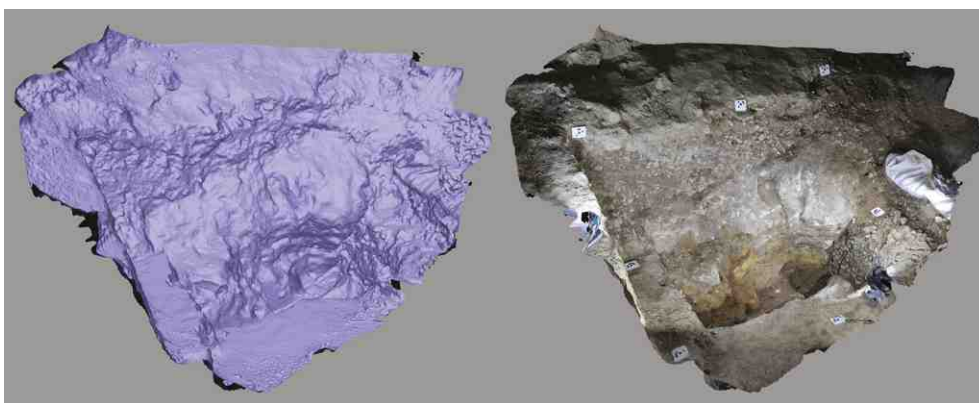


Figure 27. Modèles brut et texturé du sondage 2 (S2), état en milieu de campagne 2019 (infographie : J. Spielmann)

dégagement, à la fin de la campagne 2018, une couverture photogrammétrique de deux sondages (numérotés S1 et S2) a été réalisée, archivant ainsi la géométrie des sédiments (Fig. 25 et 26). Cette étape de la documentation poursuivait deux objectifs. En premier lieu, il s'agissait de conserver une trace aussi précise que possible d'une ressource non-renouvelable dont la quantité exacte était inconnue. Le second objectif était de documenter la morphologie irrégulière des dépôts, difficile à enregistrer par relevés conventionnels. En 2019, le sondage 2 a été élargi et approfondi, afin de vérifier la continuité et la corrélation stratigraphique de certains horizons sédimentaires. Par la suite, une série de décapages contrôlés a impacté des niveaux en place dans les deux caissons pour obtenir des coupes plus régulières et lisibles. Préalablement à la fouille des sédiments en place dans le sondage 2, une seconde couverture photogrammétrique a été réalisée, afin de conserver la trace de sa nouvelle morphologie, très différente de celle relevée en 2018 (Fig. 27). En revanche, le sondage 1 n'ayant pas connu de changements aussi significatifs, il n'a pas été à nouveau documenté de cette manière.

Au terme de l'intervention de juin 2019, une surface

totale d'approximativement 14 m² a été documentée au moyen des techniques décrites ci-dessus. Nous disposons désormais de trois modèles 3D géoréférencés en coordonnées fédérales MN95 (précision +/- 5 cm en xyz), obtenus après le traitement d'un total de 416 clichés à l'aide du logiciel Agisoft PhotoScan Professional Edition v. 1.2.5. Malgré un environnement de prise de vue peu propice à la méthode, la précision obtenue est plus que satisfaisante, avec une erreur moyenne de 4,46 mm / 0,96 pixels. Ces données constituent donc un support fiable complétant avantageusement le corpus enregistré au moyen de la documentation traditionnelle. En outre, disposer d'une copie numérique conforme du terrain facilite l'étude de ce site qui n'est accessible qu'une partie de l'année. Enfin, nous disposons d'une archive numérique des sédiments avant leur destruction par l'intervention archéologique, permettant ainsi une réinterprétation plus aisée des résultats obtenus lors de recherches ultérieures.

Relevés stratigraphiques

La réalisation de huit coupes stratigraphiques a été effectuée par décapages contrôlés, de 2 à 10 cm



Figure 28. Exemples de rendus de la topographie 3D. En haut, vue de profil avec habillage ; à gauche, trame nue vue de dessus ; en bas à droite, vue de l'intérieur avec habillage (infographie : E. Weber)



d'épaisseur selon les couches. Chaque stratigraphie fait systématiquement l'objet de prises de vue photographiques, qui engendrent la production de documents imprimés (isolés ou faisant l'objet de photomontages ; voir Fig. 6). Un retour sur le terrain, devant les stratigraphies, permet une délimitation des différentes unités sédimentaires et le positionnement des différents prélèvements directement sur le document imprimé correspondant, qui est lui-même infographié par la suite.

Les travaux de l'ISSKA

En 2016, l'ISSKA a réalisé une topographie de la grotte

en 3D à l'aide de la méthode photogrammétrique et à l'aide du logiciel Photoscan. Les prises de vue photographiques ont été calées sur des cibles qui ont été placées sur les points fixés en 1988.

Les documents qui ont été générés à cette occasion sont d'importance car ils rendent compte de l'état de Cotencher avant les travaux d'aménagement réalisés à l'intérieur de la cavité, en septembre 2017.

Utilisé pour la production de documents d'archives, interactifs ou virtuels (réalité augmentée, immersion 360°), l'outil de la topographie 3D appliqué à Cotencher a fait l'objet d'une présentation dans la revue suisse de spéléologie *Stalactite* (Weber 2017 ; Fig. 28).



Figure 29. Laserscan de la grotte de Cotencher (navigation à travers le modèle 3D en RGB)
<https://bit.ly/2pY4nCJ> (@ archeodev.ch)



Figure 30. Les données du nuage de points peuvent être utilisées pour générer des coupes à l'aide d'un simple navigateur internet ou d'outils CAD/BIM plus spécialisés (@ archeodev.ch)

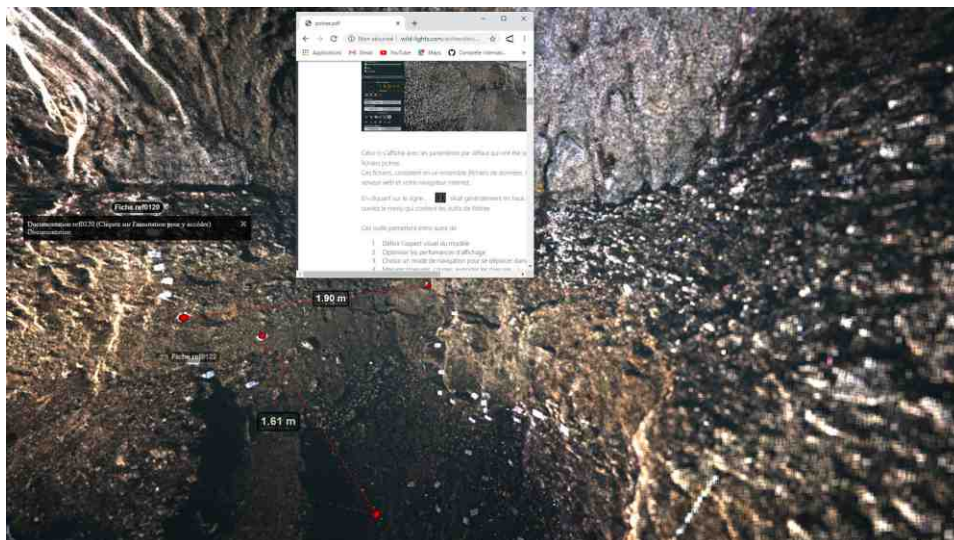


Figure 31. Interface web de visualisation du nuage de points, ici, avec annotations sous forme d'hyperlink et interrogation de distances, entre autres (@ archeodev.ch)



Figure 32. Vue 3D du nuage de points issu du laserscan <https://bit.ly/2XTello> (© archeodev.ch)

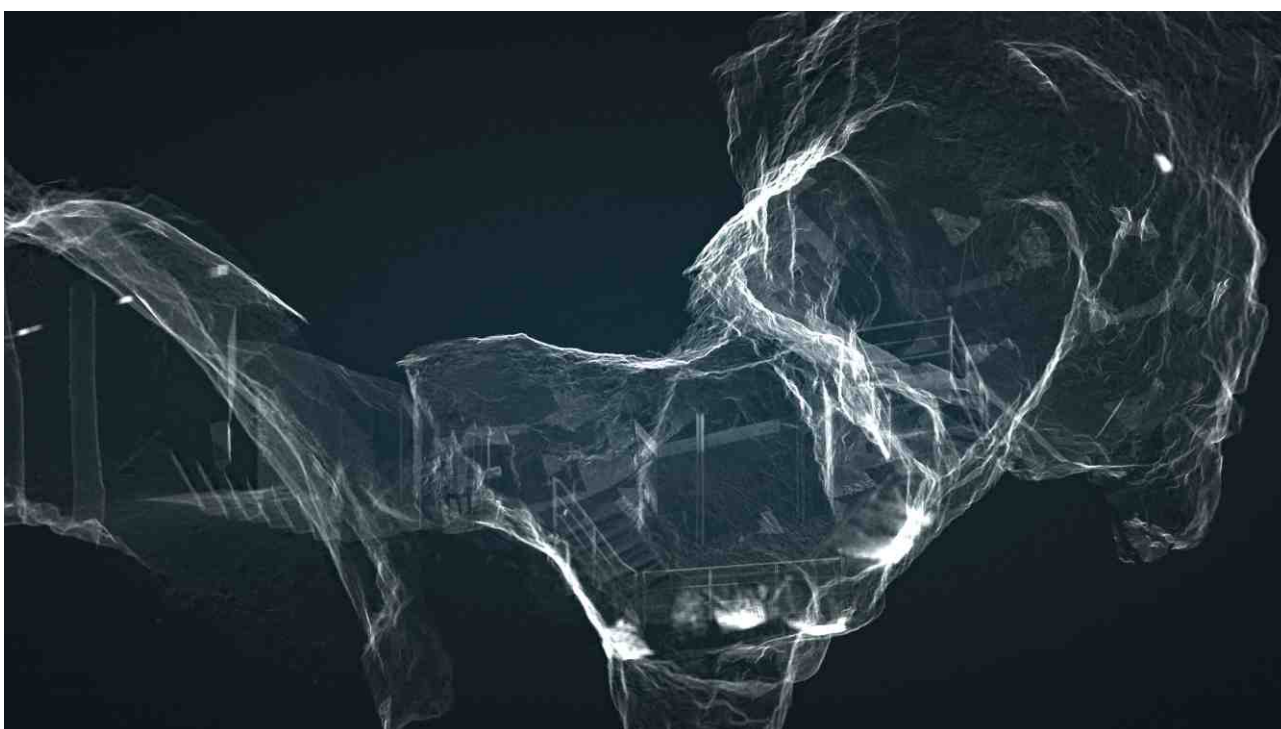


Figure 33. Vue 3D en transparence du laserscan unifié (© archeodev.ch)

Laserscan de la grotte et les travaux d'Archeo developpement (2019)

Dans le cadre des travaux de mensurations du site, un relevé par laser scanner de la grotte de Cotencher a été réalisé en septembre 2019 afin d'en obtenir un jumeau digital (Fig. 29 et ³). Cette méthode d'acquisition vient compléter les points de base et autres mesures déjà effectuées. Elle permet de visualiser et modéliser

³ Les figures 29 à 33 sont des captures d'écran du nuage de points tel que visualisé dans Google Chrome. Il n'y a aucune photographie. Le nuage de points est disponible ici (avec différents paramètres pre-set) :
<https://wild-lights.com/archeodev/Cotencher/index1.html>
<https://wild-lights.com/archeodev/Cotencher/index2.html>

entièrement la grotte en 3D, avec une extrême précision.

Le « nuage de points » obtenu permet d'obtenir de multiples informations : mesures de coordonnées, de distances, de hauteurs, traçage de coupes (Fig. 30), ainsi qu'une visualisation en 3D, en temps réel, d'un modèle colorisé avec les textures ad hoc. Ce modèle peut être imprimé en 3D si nécessaire ou être utilisé pour créer des plans CAD traditionnels, 2D ou 3D. Un modèle de ce type permet également de documenter un chantier par l'ajout d'hyperliens pointant sur les fiches techniques et autres documents ad hoc. L'utilisateur peut se promener virtuellement dans le modèle et accéder en un clic aux fiches techniques des objets référencés qu'il observe (Fig. 31 et 32).

L'accessibilité d'un tel modèle peut se faire à travers l'internet comme à travers un LAN (Local Area Network), de manière fluide, malgré la grande quantité de données mise en œuvre. La qualité de la visualisation 3D est très satisfaisante et permet une orientation et une représentation simple du chantier pour tout un chacun.

Lors d'un laser scan terrestre, et afin de couvrir en détail l'ensemble d'une grotte, y compris ses recoins et ses faces cachées, il est indispensable d'effectuer plusieurs stations, ce qui crée différents nuages de points qu'il faut ensuite réassembler en un modèle unique lors d'une opération qui s'appelle la « registration de scans » ou unification. Une fois le scan unifié, celui-ci peut être géoréférencé ou non pour s'intégrer dans un référentiel global. Comme exposé auparavant, des cibles sont habituellement placées lors de la phase de scannage afin de faciliter le réassemblage des nuages. La position des cibles aide en réalité à initier la transformation spatiale. Il est également possible de se passer de cibles lorsque la géométrie et le recouvrement des scans le permet.

Dans le cas de la grotte de Cotencher, nous avons utilisé un scanner laser P50 de Leica (scanner longue distance, max 1 km). La précision à 10 m est d'environ 4 mm (non linéaire), avec une densité réglable et une vitesse d'acquisition de 1 000 000 pts/sec à 120 m. Nous avons effectué neuf stations, pour un total d'environ 70 000 000 de points (intensité + RGB). Chaque station a fait l'objet d'une mosaïque constituée de 274 photos afin d'obtenir une image panoramique de 700 mégapixels par station. Les scans ont été assemblés dans Leica Cyclone et Autodesk Recap Pro, nettoyés et injectés dans Potree, pour obtenir un ensemble visualisable directement avec un simple navigateur internet. La forte densité de points d'un nuage tel que celui-ci permet de naviguer dans le modèle ainsi créé, chaque point xyz/rgb participant à la représentation de l'« image » en temps réel (Fig. 33).

Conclusion

Réalisé à l'aide d'une instrumentation toujours plus précise, le relevé constitue une méthode puissante et incontournable pour s'approprier tout objet d'étude, en l'occurrence ici un site archéologique dans ses trois dimensions. La documentation élaborée prend dès lors simultanément une valeur d'archive – un état du site à un moment T – et une valeur scientifique – un résultat. La maîtrise des dimensions horizontale et verticale offre ainsi la possibilité de restituer, à un endroit précis et à un moment donné, les activités des humains et des non-humains qui s'y sont déroulées, ce qui est l'objectif ultime de toute démarche archéologique.

Bibliographie

La grotte de Cotencher a suscité – et continue de susciter – une abondante littérature. Pour une bibliographie complète antérieure à 1976, on se reportera utilement à la publication de Raymond Gigon (1976).

Adatte T., Rentzel Ph., Kübler B. 1991. Etude minéralogique et sédimentologique du remplissage de la grotte de Cotencher (Jura neuchâtelois, Suisse). *Eclogae Geologicae Helveticae* n° 84 (3) : 671-688.

Bay R. 1981. Der menschliche Oberkiefer aus der Grotte de Cotencher (Rochefort, Neuchâtel, Suisse). – *Archives suisses d'anthropologie générale* n°45 (1) : 57-101.

Bernard-Guelle S. 2004. Un site moustérien dans le Jura suisse : la grotte de Cotencher (Rochefort, Neuchâtel) revisitée. – *Bulletin de la Société préhistorique française* n° 101 (4) : 741-769.

Blant D., Blant M., Häuselmann Ph. 2017. Projet Cotencher. Rapport d'étude 2014-2017 (version finale), unpubl. rep. ISSKA.

Breitenbach J., Kränzlin F. 1986. *Champignons de Suisse*. Tome 2. – Ed. Mykologia, Lucerne : 412 p.

Chauvière F.-X., Deák J., Cattin M.-I., Brenet F., Juillard M., Castel J.-C., Oppliger J. 2018a. La grotte de Cotencher: une (pré)histoire humaine et naturelle. – *Archéologie suisse* n° 41 (2) : 16-20.

Chauvière F.-X., Deák J., Cattin M.-I., Brenet F., Juillard M., Castel J.-C., Oppliger J. 2018b. Die Höhle von Cotencher: eine menschliche und natürliche (Vor-)Geschichte. – *Archéologie suisse* n° 41 (2) : 16-20.

Chauvière F.-X., Cattin M.-I., Deák J., Brenet F., 2018c. Le petit racloir moustérien: un retour à la grotte paléolithique de Cotencher (Rochefort, NE). – *NIKE-Bulletin* n° 1 : 32-35.

Chauvière F.-X., Deák J., Cattin M.-I., Brenet F., Juillard M. 2018d. Rochefort NE, Grotte de Cotencher. – *Annuaire de la Société Suisse de Préhistoire et d'Archéologie* n° 102 : 169-170.

Chauvière F.-X., Deák J., Cattin M.-I., Brenet F., Juillard M. 2019. Rochefort NE, Grotte de Cotencher. – *Annuaire de la Société Suisse de Préhistoire et d'Archéologie* n° 103 : 149.

Deák J., Preusser F., Cattin M.-I., Castel J.-C., Chauvière F.-X. 2019. New data from the Middle Palaeolithic Cotencher cave (Swiss Jura): site formation, environment, and chronology. – *E&G Quaternary Science Journal* n° 67 : 41-72.

<https://doi.org/10.5194/egqsj-67-41-2019>

Desor E. 1867. Communication, séance du 9 mai 1867. – *Bulletin de la Société des Sciences Naturelles de Neuchâtel* n° 7 : 540-542.

Desor E. 1868. Théorie de l'époque glaciaire. – *Congrès international d'Anthropologie et d'archéologie préhistorique*. C. Reinwald, Paris : 273-279.

Desor E. 1871. Essai d'une classification des cavernes du Jura. – *Bulletin de la Société des Sciences Naturelles de Neuchâtel* n° 9 : 69-87.

Dubois A. P. 1872. La grotte de Cotencher. – *Le Rameau de sapin* n° 7 : 29-31.

Dubois A. 1902. Les gorges de l'Areuse et le Creux du Van. – *Edition Attinger Frères, Neuchâtel* : 227 p.

Dubois A., Stehlin H.G. 1932-1933. La grotte de Cotencher, station moustérienne. – *Mémoires de la Société paléontologique suisse* n° 52 : 1-178, n° 53 : 179-292

Egloff M. 1989. Histoire du pays de Neuchâtel, Des premiers chasseurs au début du christianisme. – *Edition Attinger, Hauterive* : 174 p.

Gigon R. 1976. Inventaire Spéléologique de la Suisse, Tome 1, Canton de Neuchâtel. – *Commission de*

- Spéléologie de la société helvétique des Sciences naturelles, Neuchâtel : 224 p.
- Le Tensorer, J.M. 1998. Le Paléolithique en Suisse. – Collection L'homme des origines. Série Préhistoire d'Europe dirigée par Marc Groenen. Editions Jérôme Million, Grenoble n° 5 : 500 p.
- Luetscher M. 2005 Processes in ice caves and their significance for paleoenvironmental reconstructions. – Swiss Institute for Speleology and Karst Studies, La Chaux-de-Fonds : 154 p.
- Luret M., Castel J.-C. 2019. Les caprinés dans les karsts des Alpes du Nord et du Jura : sites archéologiques et paléontologiques. – in Gourichon L., Deaujard C., Brugal J.-Ph., Hommes et Caprinés : de la montagne à la steppe ; de la chasse à l'élevage. Humans and Caprines. From Mountain to steppe, from Hunting to Husbandry. XXXIXe Rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes, Edition APDCA, Antibes : 61-75.
- Moll H.-F. 1977. Découverte d'un maxillaire humain à la grotte de Cotencher (Commune de Rochefort, canton de Neuchâtel, Suisse). – Bulletin de la Société d'études et de recherches préhistoriques des Eyzies n° 26 : 123-137.
- Morel Ph., Hapka R. 1997. Une présence très ancienne. – in Hapka R., Wenger R., Baumes et gouffres neuchâtelois. Découverte d'un univers fascinant. Editions Gilles Attinger, Hauterive : 31-39.
- Müller E. 1979. Pollenanalytische Untersuchungen an paläolithischen und Mesolithischen Höhlensedimenten aus der Schweiz und dem Vorarlberg – Verlag Huber, Frauenfeld : 77 p.
- Otz H.-L. 1867. Communication, séance du 7 mars 1867 – Bulletin de la Société des Sciences Naturelles de Neuchâtel n° 7 : 519-522.
- Rentzel Ph. 1990. Neue quartärgeologische Untersuchungen an den Höhlensedimenten von Cotencher (Kt. NE). – Unpubl. Diplomarbeit, Labor für Urgeschichte der Universität Basel : 131 p.
- Rentzel Ph., 1992. Lithostratigraphie und Geochronologie der Höhlensedimente von Cotencher (Schweiz, Kt. NE). – in Actes du 9e Congrès national de la Société Suisse de Spéléologie, Charmey du 13 au 15 septembre 1991, Supplément à Stalactite n° 13 : 119-122.
- Schmid E. 1958. Höhlenforschung und Sedimentanalyse: ein Beitrag zur Datierung des Alpiner Paläolithikums. – Schriften des Institutes für Ur- und Frühgeschichte der Schweiz n° 13 : 186 p.
- Strinati P. 1966. Faune cavernicole de la Suisse. – Editions du CNRS, Paris : 483 p.
- Stutz L. 2015. Les milieux cavernicoles suisses : comment les organismes sont adaptés à ces conditions extrêmes. – Travail de Maturité, Lycée Denis-de-Rougemont, Neuchâtel : 38 p.
- Vouga D. 1943 Préhistoire du Pays de Neuchâtel. Des origines aux Francs. - Collection Mémoires de la Société neuchâteloise des sciences naturelles, Université de Neuchâtel Tome VII : 254 p.
- Weber E. 2017. La photogrammétrie appliquée aux levés souterrains. – Stalactite n° 67 : 40-42.
- Wüthrich S., Bujard J. 2018a. L'archéologie dans le canton de Neuchâtel aujourd'hui. – Archéologie suisse n° 41 (2) : 4-5.
- Wüthrich S., Bujard J. 2018b. Archäologie heute im Kanton Neuenburg. – Archéologie suisse n° 41 (2) : 4-5.

Adresses des auteurs

- 1- Office du patrimoine et de l'archéologie du canton de Neuchâtel (OPAN), section Archéologie
- 2- Institut Suisse de Spéléologie et de Karstologie (ISSKA)
- 3- Info fauna, av. de Bellevaux 51, 2000 Neuchâtel
- 4- Chiroptera Neuchâtel – CCO, c/o Musée d'histoire naturelle, 2300 La Chaux-de-Fonds
- 5- Doloire 24, 2063 Saules
- 6- Archéo Développement Sarl

Remerciements

Les auteurs tiennent à adresser leurs plus vifs remerciements aux personnes suivantes :

Sonia Wüthrich, archéologue cantonale de Neuchâtel, ainsi qu'à Frédéric Cuche, président de l'Association de la Maison de la Nature Neuchâteloise, pour leur soutien constant lors de toutes les phases du Projet Cotencher ;

Gaëlle Monnat, de Mycotec et Saskia Bindschedler, maître-assistante au Laboratoire de Microbiologie de l'Université de Neuchâtel pour l'analyse ADN ayant permis l'identification de *Pseudotomentella*.

Le Projet Cotencher est dirigé par la section Archéologie de l'OPAN, en partenariat privilégié avec l'Association de la Maison de la Nature Neuchâteloise et mobilise le concours de différentes organisations institutionnelles et associatives. Il est sponsorisé par la Loterie romande, la Fondation Ernest Dubois, la Fondation Ernst Göhner, la Fondation Sophie et Karl Binding, la Fondation du Casino de Neuchâtel, la Migros Neuchâtel-Fribourg, ECOFORUM, la Société d'histoire et d'archéologie du canton de Neuchâtel (SHAN).