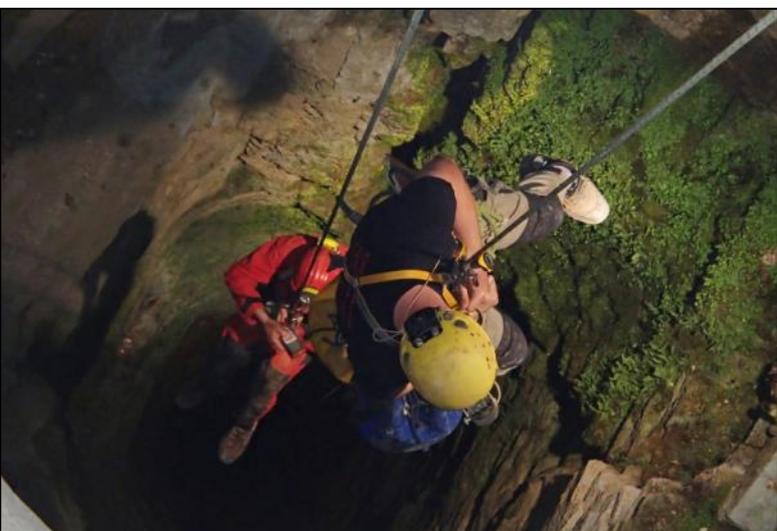


LE CREUSEMENT DES PUIITS A EAU LES PROBLEMES DE L'AERAGE ET DE LA LIAISON

Je ne m'intéresse que depuis 7 ou 8 ans aux puits à eau. Mais mon tempérament passionné et cartésien m'a entraîné plus loin qu'il aurait pu en entraîner d'autres ! J'ai lu évidemment, et je possède, l'œuvre monumentale de René Kill [1] qui pendant trente ans a étudié l'alimentation en eau des châteaux fort d'Alsace et qui a étendu cette étude aux grands puits allemands, les plus profonds connus. Cet auteur a abordé tout les aspects des puits à eau et, entre autres ceux de l'aérage et ceux du fractionnement des puits au cours de leur creusement. Ce n'est pas ma bible « puisarde », mais presque ! Pourtant...

Ma longue expérience spéléologique, discipline que je pratique depuis 1951, m'a amené à participer à de nombreuses désobstructions, dont certaines étaient pratiquées à la poudre. Attiré par les grandes verticales, j'ai exploré, quand ma forme physique le permettait, les plus grands puits naturels du monde, faisant ce que d'autres n'avaient pas osé faire [2]. Cela m'a sans doute permis de voir d'un œil différent et plus critique les questions concernant l'aérage et le fractionnement des puits au cours de leur creusement.

Poser des questions après avoir lu ne suffit pas, il faut aussi se frotter à la réalité. En avril 2015, aidé par les spéléologues du Doubs, j'explorais méticuleusement les puits à eau de la citadelle de Besançon et du Fort de Joux (Doubs), profonds aujourd'hui de 118 et 100 m. Enfin, en juillet 2017, invité par Pierre Fluck, de l'université de Mulhouse, je visitais plusieurs vieilles mines de Ste-Marie-aux-Mines (Bas-Rhin), comportant des puits. Je participais même à la topographie de l'une d'entre elles.



LE PROBLEME DE L'AERAGE

La visite des anciennes mines de Ste-Marie-aux-Mines m'a confirmé combien l'aérage était important. Des gaines d'aérage aménagées au plafond des galeries et étanchéifiées à l'argile, communiquaient avec des puits d'aréage.

Déjà à l'époque romaine, on creusait des mines et des puits à eau... Deux puits à eau de 35 et 45 m de profondeur ont été désobstrués et étudiés à Saintes (Charentes), je n'ai pu savoir si ce sont les plus profonds puits romains connus. Le problème de l'aérage se posait déjà à cette époque et avait été abordé par Vitruve (1^{er} siècle av. JC) dans l'un de ses ouvrages, dont Claude Perrault fit la traduction en 1673 [3] !

Quant à l'Allemagne, pays minier plus que la France, elle compte de nombreux puits à eau de grande profondeur. Le plus profond d'entre eux : Kyffhäuser Brunnen (176 m), a été creusé au XII^e siècle. Le problème de l'aérage des puits y était connu depuis bien longtemps, pour éliminer le gaz carbonique généré lors des travaux. Plusieurs auteurs ont écrit à ce sujet du XVI^e au XVII^e siècle. Nous nous référons, ci-après, au plus célèbre d'entre eux [4].



Au dessus, l'extraordinaire Kyffhäuser Brunnen (176 m). A gauche, dans le puits de Besançon, je prends mesures et photos, pendant que le secrétaire note mes observations.

Georg Agricola (1494-1555)

De son vrai nom Georg Bauer, ce savant allemand du XVI^e siècle nous a laissé une œuvre monumentale écrite en latin : *De Re Metallica* (*De la chose*

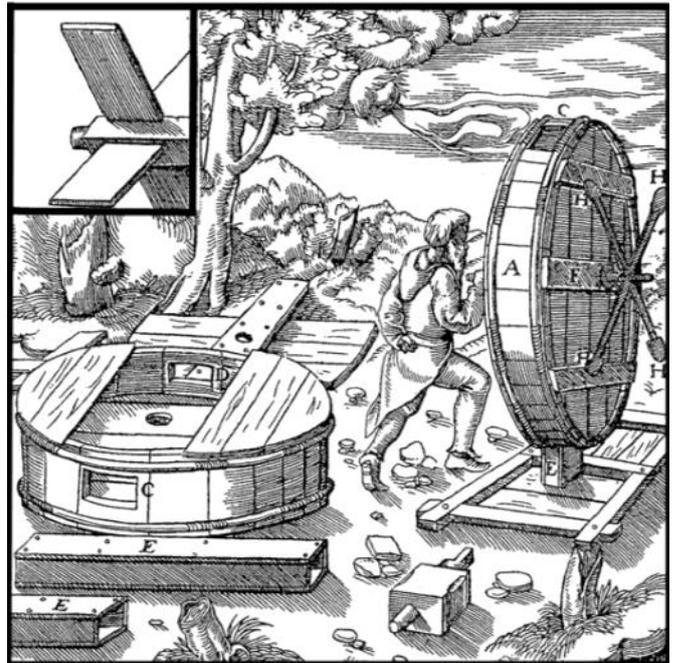
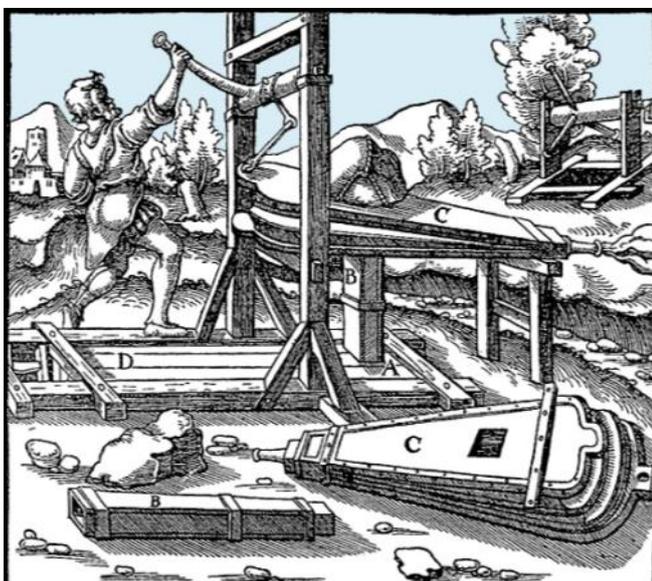
métallique, ou Metallkunde), qui constitue le premier ouvrage de référence sur les techniques minières et le travail du métal. Edité en 12 livres, l'ouvrage s'appuie sur de très nombreuses illustrations (273 figures) qui facilitent sa compréhension. Il a été traduit en Allemand et en Français [4] et a connu plusieurs rééditions.

Une dizaine de pages de son livre VI, traitent des moyens utilisés pour l'aérage des puits de mine. Mais à l'époque on n'utilisait pas encore la poudre pour creuser la roche et cet aérage ne devait évacuer que le gaz carbonique dégagé par les mineurs et leur éclairage, ou peut-être encore celui dégagé par certaines roches, ou lors du chauffage pour fissurer les plus durs. Dans ses descriptions, l'ouvrage nous donne des puits profonds de 120 pieds (40 m) au maximum. Les méthodes décrites étaient-elles applicables à Brunnen Kyffhauser (Voir photo p. 1)?



Parmi ces méthodes, il y avait des panneaux de bois disposés judicieusement à l'entrée du puits et dans le puits, pour utiliser la force du vent en vue de l'aérage. Il y avait même des tonneaux étonnamment aménagés pour capter le vent. Mais, évidemment l'efficacité d'un tel système était liée à la présence du vent et à ses caprices (voir figure).

On mettait aussi en œuvre d'énormes soufflets, tels ceux que nous utilisons encore dans nos cheminés, pour aspirer l'air vicié du fond du puits par l'intermé-



Sur cette illustration, comme sur la précédente, on voit les conduites en bois, pour aspirer l'air.

diaire de conduites en bois. L'étanchéité à la jonction des différents éléments de la conduite était assurée par de la glaise bien grasse. Par la partie du puits laissée ouverte, l'air de l'extérieur remplaçait l'air aspiré.

Il y avait encore des systèmes de ventilation constitués par des pales en bois que l'on faisait tourner dans un boîtier circulaire adapté. En fonction du sens de la rotation, on pouvait soit injecter de l'air frais, soit aspirer l'air vicié. Là encore, on utilisait des conduites en bois pour acheminer cet air (figure).

Exemples d'aérage connus.

René Kill [1, p.113], nous apprend qu'au puits de Königstein (Allemagne), creusé de 1563 à 1569, un conduit d'aérage en bois avait atteint la profondeur de 137 m au cours du creusement. Il avait été retiré ensuite pour éviter de pourrir l'eau et remplacé par un petit puits latéral de 0.6 m de diamètre pour aérer l'eau. Au puits d'Augustusburg d'une profondeur de 131 m et creusé à la même époque, un conduit d'aérage latéral de 0.9 m de diamètre était creusé dans le roc. Nous ne savons ce qu'il en est pour d'autres puits profonds. A Homberg, creusé de 1605 à 1613, deux ouvriers auraient actionné en permanence un soufflet, comme sur le livre d'Agricola. Mais à cette date, les puits étaient encore creusés manuellement.

On a aussi cité le partage d'un puits en deux compartiments séparés par une cloison en planches. Nous en doutons pour un puits de plus de 100 m de profondeur, comment assurer la stabilité et l'étanchéité d'un dispositif aussi lourd ?

Mais, pour de nombreux autres puits, nous ne possédons aucun vestige, ni archive.

Apparition de la poudre dans le creusement

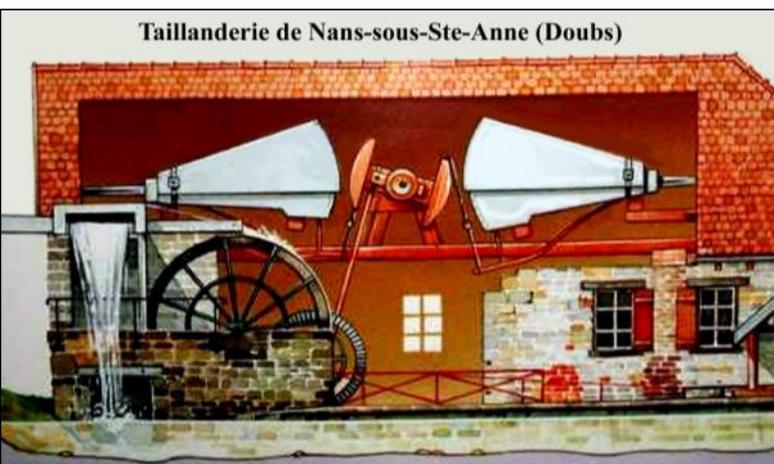
L'emploi de la poudre, attesté dans les mines des Vosges à partir de 1620 [5], va se généraliser ensuite. Le gaz carbonique (CO₂) dégagé en abondance par son explosion est beaucoup plus lourd que l'air (Densité 1,56). Bien qu'au cours de l'explosion, il se dilue en partie dans l'air ambiant, il stagne dans le piège constitué par le fond d'un puits. Même au cœur de l'hiver, une différence de température de 30° entre le fond du puits et l'extérieur ne pourrait créer qu'une



A Besançon, ces trois forures se sont concentrées sur un banc de roche dure. Le 1,4 litre de poudre qu'elles contenaient a dégagé combien de m³ de CO₂?

différence de densité de 1,10 entre l'air froid et l'air chaud. Ce qui est insuffisant pour que le courant de convection ainsi créé, et connu des spéléologues, soit capable de faire remonter un gaz carbonique en forte concentration. Nous rappelons que le gaz carbonique est mortel à partir d'une concentration de 7% et indispose vraiment à partir de 2%. Peut-être pouvait-il remonter en partie après un léger brassage provoquant une dilution. Autre question : si un tel courant de convection pouvait se créer dans un puits de 50 m, en était-il de même pour un puits de 150 m, les échanges thermiques étant atténués par la distance à parcourir.

Ce problème s'est posé dans tous les puits creusés dans la seconde moitié du XVII^e siècle, Joux et Besançon, entre autres. Faute de documents d'archive donnant une description précise des méthodes de creusement de ces deux puits, nous en sommes réduits à formuler des hypothèses.



L'hypothèse des soufflets

Il faut rendre visite à la taillanderie de Nans-sous-Ste-Anne (Doubs), où deux énormes soufflets (4 m de long), installés au XVIII^e siècle, étaient actionnés à partir d'une chute d'eau entraînant une roue et des bielles. Par un système de conduites en bois, ils alimentaient en air les différentes forges de la taillanderie.

De tels soufflets, mis en œuvre par le système de remontée des déblais des puits, n'auraient-ils pu être utilisés pour aspirer les gaz nocifs à Besançon et à Joux ? Peut-on imaginer que de lourdes conduites en bois aient pu être mises en place à Besançon ? Attendait-on trois jours ou plus après une explosion, avant de renvoyer des ouvriers au fond ?

A Besançon, comme à Joux, si de telles canalisations ont été posées, il serait normal qu'elles aient été enlevées à la fin du creusement, pour éviter de pourrir l'eau. Cependant, nous n'avons remarqué aucune trace de scellement pour les tenir contre la paroi. Il est vrai que nous ne sommes posés la question qu'après l'exploration et, malgré notre soin à examiner les parois, certains détails isolés ont pu alors nous échapper.

Autre hypothèse, ces conduites d'air n'étant que provisoires, n'aurait-on pu penser à les confectionner en solide toile de marine étanchéifiée, plus faciles à manipuler dans les puits ? Un tel tuyau, en toile de lin cirée, aurait été employé pour l'aérage lors du creusement d'un aqueduc souterrain, à Chiomonte (Val de Suse, Italie), au XVI^e siècle [6].

Les fours aspirants (Wetterofen)

Ce type de four, dénommé Wetterofen par les Allemands, est sujet à polémique. Certains fours auraient été employés à l'intérieur de puits au XVI^e pour créer un courant d'air ascendant. Mais cet usage ne fait pas l'unanimité et nous n'y croyons guère ! D'après Johannes Just BARTELS (1660-1721), le premier Wetterofen aurait été expérimenté dans une mine de Bad Grund (Haut Harz) en 1716. Les gaz chauds créés dans un four remontent rapidement dans une haute cheminée en créant une forte aspiration. Dans les mines, le Wetterofen était placé en surface à l'écart du puits auquel était relié un conduit qui aspirait l'air.

RAPPEL D'ACCIDENTS [7]

Ce rappel d'accidents permettra de comprendre pourquoi j'ai autant insisté sur le problème de l'aérage à partir du XVII^e siècle et de l'apparition de la poudre dans le creusement de la roche.

- Revenons en premier au fort de Joux. Au cours des travaux, le 17 octobre 1696, mouraient le maître maçon Joseph Chapuis et le soldat Joseph Dupassier [8, p244]. Pourquoi un soldat qui n'avait rien à faire dans le creusement du puits, sauf, peut-être, s'il fallait manier la poudre ? Y a-t-il eu asphyxie, après l'emploi de la poudre ?

- Sans remonter à l'Abisso dei Morti, près de Trieste, où en 1860 quatre ouvriers trouvèrent la mort par asphyxie après une explosion, limitons nous à une époque récente. En spéléologie, des progrès énormes ont été accomplis concernant l'usage de la poudre lors

Désobstruction au fond d'un puits de 40 m à laquelle participe l'auteur. Une pompe en surface aspire le CO₂.



des désobstructions souterraines. D'une part, on utilise des mèches de 10 ou 12 mm, limitant la quantité de poudre utilisée et puis sont apparues des microcharges dégageant peu de gaz nocifs. Il serait cependant bon de rappeler les derniers accidents intervenus, seulement en France.

- D'abord, le 8 mars 1993, à Pegairolles-de-l'Escalette (Hérault), un spéléologue de 30 ans trouvait la mort dans un gouffre en cours de désobstruction. On a supposé qu'il avait été intoxiqué par les gaz d'un tir d'explosif qu'il avait réalisé 24 heures plus tôt à -70. Son corps était remonté jusqu'à -50 où les médecins pompiers ne purent que constater le décès. L'extrême étroitesse de la cavité et l'absence de ventilation avaient rendu très difficile la tâche des sauveteurs dont 5 légèrement intoxiqués durent être traités en caisson hyperbare.

- Peu de temps après, le 15 août 1999, à Prunares (66), deux spéléologues : Christian Marty et Franck Bournet périssaient au cours de la désobstruction de l'Aven de la Pipe 02. A peu de profondeur (moins de 10 m), ils employaient un perforateur de chantier (32mm de diamètre) nécessitant l'emploi d'une beaucoup plus grande quantité d'explosifs. Après une explosion, Franck Bournet, descendu en premier, était pris d'un malaise et s'effondrait au fond du trou, Christian Marty lui portait immédiatement secours et s'évanouissait à son tour. Les secours appelés par leurs deux compagnes, présentes au bord du trou, arriveront trop tard.

- Bien qu'il n'ait pas été dû à une désobstruction à l'explosif, il serait bon de rappeler Le drame qui se déroula le 21 juin 1995 dans le Bois de Clairefeuille, à Montérolier, dans la région de Rouen. Trois enfants étaient partis visiter un souterrain creusé par les Allemands de 1943 à 1944 pour y stocker des fusées V1 destinées à écraser Londres. Comme ils ne revenaient pas, leur père, puis un docteur et quatre pompiers partirent à leur recherche. Eux non plus ne revinrent jamais. Après aération du souterrain, les neuf corps furent découverts. Le décès par asphyxie de ces neuf personnes ne fut jamais totalement élucidé.

Réflexion finale sur l'aérage

Dans les puits de Besançon et de Joux, le problème de l'aérage après explosions n'est pas résolu de manière certaine. Soufflets ? Ventilateur avec palettes en bois ? Type de conduite d'aérage ? Nous n'avons pu, dans l'état actuel des connaissances, que formuler des hypothèses. D'après les vestiges retrouvés dans d'autres puits, les méthodes n'étaient pas partout identiques. Nous renvoyons plus loin à la conclusion de cet article.

LES LIAISONS ENTRE LA SURFACE ET LE FOND

Tous les spéléologues qui ont exploré avant 1971-75 et l'apparition de la méthode de la remontée sur corde, ont connu les problèmes de communication qui se posaient lors de l'exploration des grands puits. Quand on employait des moyens lourds comme le treuil, l'importance des moyens mis en œuvre permettait l'emploi du téléphone. Mais, ce n'était pas le cas des équipes légères qui devaient se débrouiller sans.

Signalons l'exploit Martel lorsqu'il explora le premier puits du Jean Nouveau (163 m) en 1892, mais il y avait un relai à mi-puits. Plus spectaculaire fut l'exploration aux échelles légères du vaste puits de 165 m du Dupont-Martin par Robert de Joly (1927);



Au Jean Nouveau, dans le puits de 163 m, une niche à mi-parcours permettait de faire la liaison.

là, pas d'escarpolette pour se faire aider ! Si les Pyrénéens employaient systématiquement le treuil, les Alpains, employaient l'échelle et la corde (Spéléologie alpine). Au delà de 50 m, impossible de se comprendre et l'on employait souvent des signaux au sifflet (un coup pour stop, deux pour montez, trois pour descendez, etc...). Cela m'a amené à poser la question des relais.

Les relais

Lors du creusement des grands puits à eau, comment se faisaient les transmissions d'ordres entre la surface et le fond ? Y'avait-il des plateformes intermédiaires ? S'il n'y avait pas de relais, les liaisons se faisaient-elles directement au sifflet, comme l'ont fait de nombreux spéléologues, ou peut-être à la corne, ou par petites tractions sur une cordelette ? Dans les coupes en notre possession, seul le puits allemand de Königstein possède deux départs de galeries qui auraient pu servir de relais.

L'un des rares documents montrant sans ambiguïté l'existence de trous de boulin pour des plateformes concerne le puits du Monastère de Limburg (Rhénanie-Palatinat). Il donne des plans correspondant à l'établissement de 11 plateformes entre le plancher supportant le treuil et le niveau de l'eau à -76,4 m [9]. René Kill cite aussi 14 niveaux de trous de boulin sur les 62 m du puits du Haut Königsbourg. On peut encore voir des trous de boulin sur les photos de la maçonnerie du puits de Paienporte, en Belgique, mais ce puits était un puits de mine avant de devenir un puits à eau.

Dans les puits rectangulaires, il a été écrit que les mineurs allemands utilisaient une technique permettant de coincer une poutre avec des coins de bois, ce qui était rendu possible par les irrégularités de la paroi du puits. Cela paraît plus difficile dans un puits circulaire hors d'une poutre diamétrale.

Nos investigations à Besançon et à Joux

En avril 2015, cette recherche de relais, fut l'un de mes grands soucis, lors de la descente minutieuse des puits de la citadelle de Besançon et du fort de Joux, creusés tous deux sous Vauban. A cette époque, évidemment, pas encore le téléphone. Il est certain qu'au fur et à mesure que le puits s'approfondissait, les liaisons à la voix devenaient de plus en plus difficiles. Des plateformes furent-elles construites à intervalles suffisamment proches pour permettre les liaisons à la voix ou au sifflet, ce qui en outre, aurait facilité la mise en place et la rotation des ouvriers. Cependant, bien que les puits aient un diamètre de 3 m, ces plateformes devaient laisser un passage assez large pour ne pas gêner le passage de fûts de déblais. Au cours de nos descentes, nous avons soigneusement inspecté les parois des deux puits, pour rechercher des traces de scellement ou de trous de boulin. A Besançon, nous



Dans le puits de Joux, des boulins appuyés de plateformes s'appuyaient-ils sur ces deux becs rocheux écrasés par la perspectives?



Au fond du puits de Besançon, la mise à profit de fractures naturelles a donné une section carrée.

avons bien trouvé quelques redans rocheux, ou fissures naturelles, mais rien de significatif permettant de localiser précisément l'emplacement d'une plateforme. Différemment de certains puits creusés dans le grès, la taille des parois est ici très irrégulière, influencée par les fractures naturelles de la roche. Si certaines sections sont circulaires, d'autres tel le fond sont presque carrées, permettant peut-être l'étañonnage.

Légère différence au puits de Joux, où nous avons retrouvé, à mi-profondeur, deux encoches sur un seul côté du puits. Deux boulins s'y appuyaient-ils, maintenus sur la paroi diamétralement opposée par un coin de bois calé sur une aspérité du rocher? Nous avons aussi retrouvé, à des profondeurs différentes, deux excroissances rocheuses curieuses, épargnées



Curieux creusements dans le puits de Joux. Il n'y avait pas l'équivalent de l'autre côté du puits.

Toujours dans le puits de Joux, entre les zones de roches dures, il y a de vastes zones creusées à la pointerolle et non à la poudre.



lors du creusement, qui auraient pu servir d'appui à un boulin, calé par un coin de bois sur la paroi en face.

Différences avec les mines

La visite récente que j'ai faite aux mines à Ste-Marie-aux-Mines, m'a montré que l'utilisation des puits de mines et des puits à eau n'étant pas la même,

les techniques de creusement pouvaient alors être différentes. Une fois le puits à eau creusé, il ne connaissait plus de fréquentation humaine, différemment des puits de mine, qui continuaient à être fréquentés quotidiennement par un nombre de mineurs supérieur à celui des puisatiers creusant le puits. Dans les puits de mine, on veillait donc à aménager des paliers reliés par des échelles et dans certaines parties on notait un boilage important. La présence de paliers bien aménagés avait une importance qu'il n'avait pas dans un puits à eau.

EN GUISE DE CONCLUSION

L'étude raisonnée et détaillée des puits anciens est une discipline récente. Il est certain que tout n'a pas été redécouvert. Il faut laisser le temps au temps et tant mieux, si d'autres chercheurs se passionnent pour ce sujet, ils auront peut-être le plaisir de découvertes.

Tout n'a pas été écrit sur les méthodes de creusement et il faudra avoir la possibilité de faire des recherches laborieuses dans les archives...quand elles existent ! Souhaitons qu'un jour, puisse être trouvée la pièce rare qui réponde aux questions posées. Mais ces questions font l'intérêt d'une recherche, elles génèrent toute une réflexion qui aboutit à des hypothèses, lesquelles pourront plus tard, être affirmées... ou infirmées !

La lecture de l'ouvrage de Haton de la Goupillière [10] n'a pas répondu à toutes les questions que je me posais. Ecrit à la fin du XIX^e siècle, alors que la révolution industrielle avait bouleversé les méthodes minières, il ne nous éclaire pas sur ce qui se faisait auparavant. Il m'a fait prendre conscience de la différence entre un puits de mine et un puits à eau.

En ce qui concerne les puits à eau, les vestiges retrouvés dans différents puits, montrent que les méthodes n'étaient pas partout identiques. Bien que l'on retrouve quelques documents intéressants, il n'y avait pas à l'époque de « Manuel du puisatier », les connaissances devaient se transmettre oralement et sur le tas,

entre les puisatiers et leurs successeurs... Il était exceptionnel de creuser des puits avoisinant 100 m de profondeur et plus ! Aussi, il ne serait pas étonnant que les puisatiers chargés de ce travail hors normes aient adopté des techniques issues de leur propre expérience. Cela expliquerait les différences constatées.

Les recherches sont à affiner.

Remerciements : A MM. René Kill, Hans Klose pour les documents qu'ils m'ont fournis. A Pierre Fluck qui m'a invité à Ste-Marie-aux-Mines.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] KILL René, 2012, L'approvisionnement en eau des montagnes alsaciennes, CRAMS, Saverne, 480 p.
- [2] COURBON Paul, 2015, L'évolution des techniques spéléologiques et la progression sur corde, Spéléo Magazine n° 91 et 92, p. 26-30 et 30-35.
- [3] VITRUVÉ Marcus, I^e siècle av. JC, De l'architecture : Les Dix Livres d'architecture, Traduction intégrale de Claude Perrault, 1673, revue et corrigée sur les textes latins, réimpr en 1965, Balland, Paris
- [4] AGRICOLA Georg, 1556, *De Re Metallica*, traduction française de l'édition originale latine de 1556 par Albert France-Lanord, Gérard Klopp, Thionville, 1992, pp. 163-174. Plusieurs éditions en Allemand existent.
- [5] PIERRE Francis, 2008, Etude de l'évolution des techniques d'attaque de la roche dans les mines vosgiennes, du XVI^e au XVIII^e siècle, Archeopages 22, (dossier Mines et carrières), juillet 2008, p.42-49, Inrap, Paris
- [6] LECUGY Jacques, 2010, La chanson de Colombano, Verdons n° 31, Ed. Pays et gens du Verdon.
- [7] COURBON Paul, 2011, 1651-1653, La première désostruction à l'explosif, Spelunca n° 124, pp. 47-54.
- [8] Jean-Marie THIEBAUD et alii, 1987, Le château de Joux, Ed. Pourchet, Pontarlier
- [9] Th. BARTZ, M. GAUDA, H. KLOSE, D. und H. WEBER, Der Brunnen des Klosters Limburg, Mitteilungen der Höhlenforscherguppe Kalsruhe Heft 20, pp. 46-75.
- [10] J. N. HATON DE LA GOUPILLIÈRE, M. PELLÉ, 1896, Cours d'exploitation des mines, Ch. Dunod, Paris

P. Courbon, 22 juillet 2017