

LE Puits DU FORT DE JOUX

La Cluse et Mijoux (Doubs)

Paul COURBON

Tel un nid d'aigle, le fort de Joux domine majestueusement le paysage environnant. Comme c'est le cas de nombreuses autres forteresses bâties sur les hauteurs, son approvisionnement en eau était vital en cas de siège. Ce fut la raison du creusement du puits situé au point le plus bas de la troisième enceinte. Du fait de l'altitude du fort par rapport au paysage environnant, il s'agit de l'un des plus profonds de France. Après lecture de l'ouvrage *Le château de Joux*, de J-M Thiébaud, R. Lambalot, M. Malfroy et J. Guiraud [3], nous nous sommes passionnés pour ce puits qui nécessitait une étude plus détaillée pour en éclairer les nombreuses zones d'ombre.

L'HISTOIRE DU Puits

La grande campagne de modernisation du château de Joux, voulue par Vauban, commença en 1690. Le creusement du grand puits en fait partie. Un contrat de forage était signé entre l'ingénieur Robelin et 4 entrepreneurs, le 25 mai 1690. Les travaux prévus pour un an démarrèrent aussitôt, les ouvriers travaillant jour et nuit, même les dimanches et jours fériés. La profondeur prévue était de 55 à 56 toises (107 à 109 m) pour une largeur de 10 pieds (3m), plus 9 pieds dans l'eau (2,7 m) [3, p144]. En fait, comme nous le verrons plus loin, cette prévision s'avéra insuffisante.

Les travaux progressèrent rapidement dans la partie supérieure, 12 pieds de profondeur (3,6 m) étaient creusés en neuf jours du mois de juillet 1690 et une profondeur de 5,5 toises (11 m) était atteinte le 8 août 1690 [3, p161]. Mais outre les pertes de temps inévitables pour les liaisons avec la surface, qui augmentaient à mesure de l'approfondissement du creusement, les difficultés apparurent plus bas. Le 26 septembre 1690, le maçon François Amaudru mourait accidentellement dans le puits.

On ne sait à quelle profondeur exacte l'eau fut atteinte, mais un rapport de 1695, dû à l'ingénieur Fustier signalait les très fortes variations du niveau de l'eau dans le puits. L'eau pouvait remonter de dizaines de mètres ou disparaître complètement. On entreprit alors un approfondissement du puits [3, p145]. Au cours des travaux, le 17 octobre 1696, mouraient le maître maçon Joseph Chapuis et le soldat Joseph Dupassier, peut-être par asphyxie [3, p244], après l'emploi de la poudre ? Nous en discuterons plus loin.

A l'époque moderne, en 1879, sous les ordres du capitaine Joffre, les sapeurs du génie creusent des

galeries souterraines pour joindre le donjon au fort moderne en construction, situé plus bas [3, p.155 et 181]. Celle galerie Joffre donne accès au puits, 15,5 m plus bas que son ancienne margelle, laquelle est obstruée. Le puits perd ainsi 15,5 m de profondeur.



Le puits dans la salle Joffre, tel qu'il apparaît aux visiteurs aujourd'hui.

Profondeur du puits

M. Roland. Lambalot qui avait participé à la rédaction de l'ouvrage de 1987[3], signale que les archives militaires relatives aux XVII^e et XVIII^e siècles ont été en grande partie détruites dans un incendie au XIX^e siècle. Seules ont été conservées les correspondances entre ingénieurs militaires concernant l'avancement des travaux, sans donner de détails techniques.

La première question qui se pose est : de quelle manière et avec quels instruments a été mesurée la profondeur ? A l'époque ni rubans plastiques ou métalliques ! Lors des mesures précédant le lever de la carte de Cassini, les bases nécessaires à la mise à l'échelle de la carte avaient été déterminées avec des règles en bois de 2 toises (3,898 m), reportées au sol les unes après les autres. Est-ce avec une toise en bois et à partir des marques qu'il faisait, que le puisatier mesurait la profondeur au fur et à mesure de son avancement pour se faire payer ? Ses mesures étaient-elles vérifiées ? Avait-on aussi estimé la profondeur du puits à partir du nombre de tours de cordes autour du tambour du treuil ? Nul ne le sait.

Notre première surprise a été la prévision de profondeur lors du devis précédant le creusement : 55 à 56 toises, soit 107 à 109 mètres, alors que le départ du puits est 120 m au dessus du niveau du Doubs à l'aplomb du fort. Les ingénieurs militaires s'étaient-ils trompés, ou s'était-on fié aux indications d'un sourcier ?

Sources historiques [3]

- Peut-on prendre en compte la profondeur donnée en 1857 par les historiens et reprises par Jules Mathez [1] : 145 m plus 15 à 20 m d'eau ?
- L'atlas de 1755 indique 366 pieds (119 m) jusqu'à fleur d'eau, mais vu les variations du niveau de l'eau, cela ne nous renseigne pas sur la profondeur réelle. Cependant, cette profondeur nous amène à proximité du niveau du Doubs.
- L'atlas de 1776 donne 400 pieds (130 m)
- L'état descriptif de la place établi en 1792 donne 411 pieds (133,5 m)
- La coupe extraite d'un plan daté de 1819 mentionne une profondeur de 140 m.
- Un projet daté de 1823, indique 125 m de profondeur, plus l'eau
- Enfin, un plan non daté de l'époque Joffre donne 132 m plus l'eau.

Remarquons que toutes ces profondeurs ont été données longtemps après le creusement du puits. Sur quel document s'appuient-elles ? Nous ne possédons pas la profondeur donnée par le puisatier à la fin du creusement.

Les mesures modernes

Aujourd'hui, suite aux travaux de Joffre qui ont supprimé l'orifice supérieur du puits, il faut évidemment enlever 15,5 m à toutes ces profondeurs. Les explorations menées par les spéléologues, de 1958 à 2009, donnaient des profondeurs par rapport à la margelle actuelle, variant de 87 à 120 m ! Il était donc intéressant de faire une vérification rigoureuse.

Le 26 avril 2015, les mesures faites par P. Courbon topographe de son état, avec l'aide des groupes spéléologiques du Doubs : Karstic et Saint-Hyppolite donnent 101,4 m par rapport au sommet de la margelle Joffre, dont 4,4 m en eau. Cette profondeur est déduite des mesures faites du niveau de l'eau jusqu'à la voûte surplombant le puits, avec un distance-

Equipement du puits avant la descente (Cl. A. Widmer)



Le topographe donne ses instructions au secrétaire avant la descente. (Cl. J. Cavallin).

Faire les mesures pendu à un fil et les noter n'est pas toujours confortable ! (Cl. A. Widmer)



mètre infra rouge de précision décimétrique et d'un sondage avec un décimètre lesté d'un poids pour la profondeur de l'eau. Les altitudes du sol dans la salle de l'ancien orifice (961,5 m) et du sol à l'orifice actuel (946,0 m), sont aussi déterminées par rapport aux repères géodésiques de l'IGN situés dans le fort.

Parmi les mesures précédentes des temps modernes, la plus proche est celle réalisée le 6 avril 1986 après la fonte des neiges (A cette date, les distancemètres actuels n'existaient pas encore). Elle donne 103,4 m de profondeur de la margelle au fond du puits et surtout détail intéressant 14,3 m de profondeur d'eau (contre 4,4 m le 25.04.2015). Le guide Gilles Hérard

donnait une profondeur de 100 m environ.

Quant au diamètre du puits, s'il est de 3,7 m à la margelle, il a été mesuré à 3,1 m à 25 m de profondeur et toujours 3,1 m au fond.



Un spéléologue ne se lasse jamais du spectacle des grands vides. La coloration à la fluorescéine ajoutée au côté insolite de la descente. Remarquer le bec rocheux sur la paroi gauche (Cl. J. Cavallin).



L'obstruction du puits

Le fond actuel du puits, souvent à sec, n'est pas le fond véritable. Comment a-t-il été en partie comblé ? Nous ne pouvons y répondre. Il aurait été plausible de penser que lors des travaux entrepris par le capitaine Joffre, l'arrivée du creusement des galeries sur le puits y aurait précipité des volumes importants de roc que l'on ne se soit pas employé à ressortir. Mais cela n'aurait pas expliqué que Joffre se soit attaché à créer autour du puits une salle de 9,3 m de long, 6,5 m de large et 5,7m de haut au milieu de la masse rocheuse. La seule explication d'une salle de cette dimension était l'installation de la cage d'écureuil et du système d'extraction de l'eau qui existait plus haut. De plus, on a retrouvé accolé à la margelle du puits les vestiges du petit bassin où était vidée l'eau qui partait plus loin vers une citerne, ainsi que la vanne en cuivre de fermeture de la canalisation. Cela signifierait que le puits était encore utilisé, dont désobstrué après les travaux Joffre.

Aujourd'hui, aucunes traces de la cage d'écureuil et de son axe ; n'ont-ils pas fini dans une cheminée lors des rudes soirées d'hiver ?

Le jour de notre exploration, il y avait 4,4 m d'eau, il était donc impossible de voir la composition exacte du fond. De toute façon, nous n'aurions pu, comme à la citadelle de Besançon, creuser sur 40 ou 50 cm de profondeur pour voir la composition du complètement, car de nombreuses grenades et munitions non éclatées ont été vues au fond du puits par nos prédécesseurs. Lors de sa descente en 2009, Gilles Hérard note des planches de coffrage et des nez de marches. Les accès au puits ne facilitent pas le transport de volumes importants de matériaux, ni par la galerie de 80 m menant au fossé, encore moins par l'escalier de lumière. L'escalier de 87 marches qui part au N.E. de la salle vers une batterie est en excellent état. Ces déblais viennent-ils des cavités annexes creusées dans le côté des galeries ? Qui a pu amener les déblais obstruant le puits et quand ?

Technique de creusement

La aussi nous possédons peu d'éléments. Le marché d'origine avait été passé sur la base de 94 livres pour la première toise, plus 3 livres de plus par toise de profondeur, ce qui veut dire qu'à 50 toises de profondeur, la toise était payée $3 \times 50 + 94 = 244$ livres. Cela se comprenait par le temps passé à retirer les déblais, à faire tourner les équipes et aux difficultés de communication.

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 ont-elles été construites à intervalles suffisamment proche pour permettre les liaisons à la voix ou au sifflet ? Cela ajoutait aux pertes de temps pour mettre tout le monde en place et assurer la rotation des ouvriers. De plus, ces plateformes pouvaient être une gêne pour le passage de fûts de déblais. Au cours de notre visite du 25 avril 2015, nous avons soigneusement inspecté les parois du puits, pour rechercher des traces de scellement. Il n'y a qu'un endroit, vers 55 m de profondeur, où nous ayons vu, sans ambiguïté aucune, des trous où encastrer des linteaux (mais non des poutres) dans la paroi. D'autres creusements, situés sur un seul côté du puits, laisseraient penser qu'ils pouvaient caler des poutres placées en oblique. Il faut aussi noter les deux becs rocheux (Photo puits) laissés dans les parois à deux profondeurs très différentes, servaient-ils à caler une plateforme avec un autre bec situé à même hauteur



Ces encoches, profondes de 15 à 20 cm, sont d'autant plus étonnantes qu'on n'en trouve pas sur la paroi opposée du puits.



En haut, l'une des rares traces de barre à mine.

En bas, taille de la paroi à la pointerolle.



et qui aurait disparu?

Il est difficile de penser à un creusement à la poudre si les équipes travaillaient 24 heures sur 24, les abondants gaz délétères, tel le dioxyde de carbone dégagé en abondance par la poudre, étant mortels. Nous avons cependant retrouvé quelques traces de barre à mine, beaucoup moins nombreuses qu'à Besançon. Le puits de Joux ayant été creusé dix ans plus tard, n'aton pas voulu éviter des erreurs commises à Besançon et limiter l'usage de la poudre seulement au centre du puits et à quelques passages latéraux où la roche était très dure. Il semblerait que les deux puisatiers mort en 1696 l'aient été par asphyxie. A ce sujet, il y a aussi l'hypothèse du gaz carbonique issu de l'éclairage et des respirations des ouvriers travaillant 24 heures sur 24. Nous renvoyons à l'article annexe « Aérage des puits » qui tente de faire le point sur l'évacuation du gaz carbonique.

Les besoins en eau de la garnison.

Outre le puits, il y avait trois citernes dans le fort, d'une contenance de 2360, 1540 et 2030 pieds cubes (81, 53 et 70 m³), soit un total de 204 m³. A 5 L/jour d'eau par personne, il fallait 1,5 m³ d'eau par jour pour une garnison de 300 hommes, plus 25 L/jour par cheval, mais il semble que ces derniers étaient peu nombreux. Le puits permettait de résister à un siège très long.

Comment l'eau se renouvelait-elle au fond du puits, au fur et à mesure des pompages? En fonction de la fissuration ou de la porosité de la roche encaissante, quelle était sa vitesse de renouvellement? Pour

que les puisatiers puissent creuser entre 3 et 5 m sous le niveau de l'eau, ce renouvellement ne devait pas être très rapide. L'arrivée de l'eau se faisait-elle par capillarité ou petites fissures? Nous n'avons pas vu d'arrivées significatives au niveau d'eau atteint.

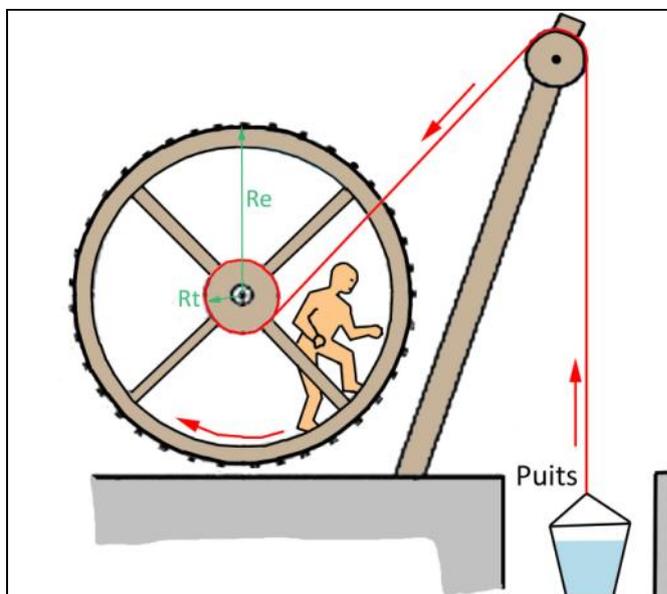
Puisage de l'eau : On n'a pas retrouvé de cage d'écureuil à Joux, mais un plan de 1819 [3] montre qu'il y en avait une semblable à celle de la citadelle de Besançon pour remonter l'eau. Comme à Besançon, avec un double enroulement sur le tambour du treuil : une corde qui remontait un seau plein, pendant que l'autre, enroulée en sens inverse descendait un seau vide. Cela permettait de gagner du temps et le poids du seau vide et de la corde qui descendait allégeait l'effort de traction du seau plein.

A Besançon, la cage d'écureuil a un diamètre de 4,1 m et le tambour où s'enroule la corde un diamètre de 0,41 m. Ce qui veut dire que lorsque l'homme chargé d'entraîner la cage d'écureuil faisait 1 m, la corde sur le tambour ne remontait que de 10 cm.



La cage d'écureuil de Joux était du même type qu'à Besançon (Photo ci-dessus).

Le rapport entre le rayon de la cage (R_e) et celui du tambour (R_t), donne la démultiplication de l'effort.



Quant aux cordes, pour accroître leur longévité [4, p.372], elles avaient un diamètre de 30 à 40 mm, d'un poids de 1,1 à 1,5kg/m. Vu la masse de la corde, la remontée de 125 l d'eau devait peser autour de 300 kg au départ, auxquels s'ajoutaient les frottements inévitables du mécanisme.

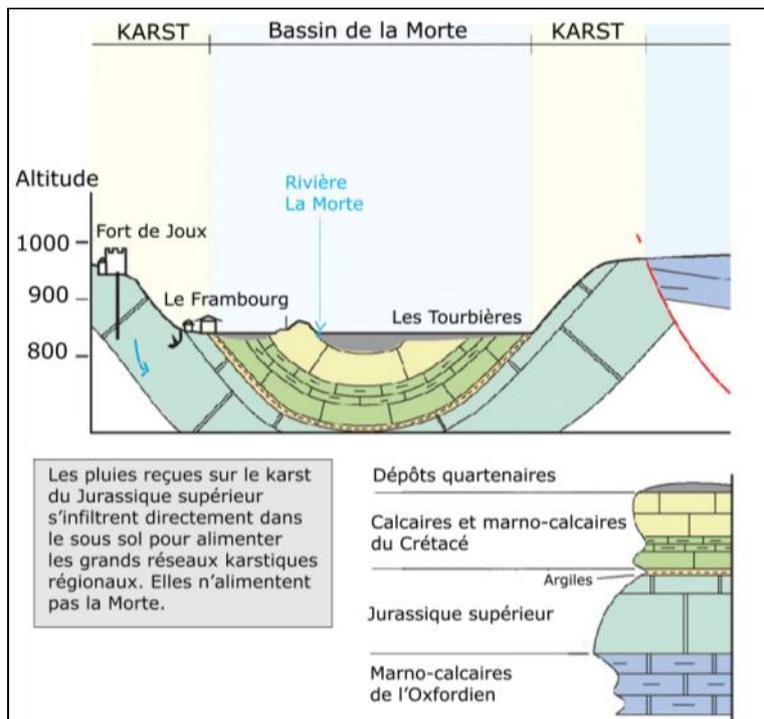
La vitesse de remontée devait osciller de 5 cm/sec au départ, à 10 cm/sec lorsque le poids de la corde descendante finissait par équilibrer, puis dépasser le poids de la corde montante. Il fallait vraisemblablement plus d'une demi-heure pour une remontée de fût. Au puits de Longwy, profond de 75 m, les documents anciens mentionnent une capacité de remontée de 4.000 l/jour. Etant donnée la plus grande profondeur du puits de Joux, on serait tenté de limiter cette quantité à 3.000 l/jour, à condition que l'alimentation en eau du fond du puits le permette. On pouvait donc compléter suffisamment les citernes.

A Besançon, le tambour d'enroulement du câble fait 0.65 m de long. La première spire d'une corde de 30 mm avait un diamètre à l'axe de 0.445 m, donc une longueur de 1,4 m. Il fallait moins de 100 tours pour remonter l'eau et la corde tenait à l'aise dans le compartiment limité par deux cercles de bois (figure).

APERCU HYDROGEOLOGIQUE

Dans une première approche, il était logique de supposer qu'en creusant le puits, on atteindrait la nappe phréatique du Doubs, situé à moins de 500 m. Comme vu précédemment, le puits a été logiquement creusé au point le plus bas de la troisième enceinte. Il s'ouvrait à une altitude de 961,5 m, dominant le Doubs (Alt. 840 m) de près de 120 m. On aurait pu alors imaginer que le creusement d'un puits de l'ordre de 125 m aurait été suffisant.

Mais il s'est avéré que le niveau de l'eau dans le puits avait des variations très importantes. Le fond actuel du puits (Alt. 845,6 m) est à sec plusieurs fois par an et l'eau remonte lors des fortes pluies ou à la fonte des neiges. Le 26.04.2015, elle était à l'altitude 850 m et le 6 avril 1986 à 860 m, soit près de 20 m au dessus du niveau du Doubs. Nous devinons la surprise



Coupe géologique de la zone dressée par Pascal Reilé. Etude Morte - Cluse et Mijoux SMMAMD en cours.

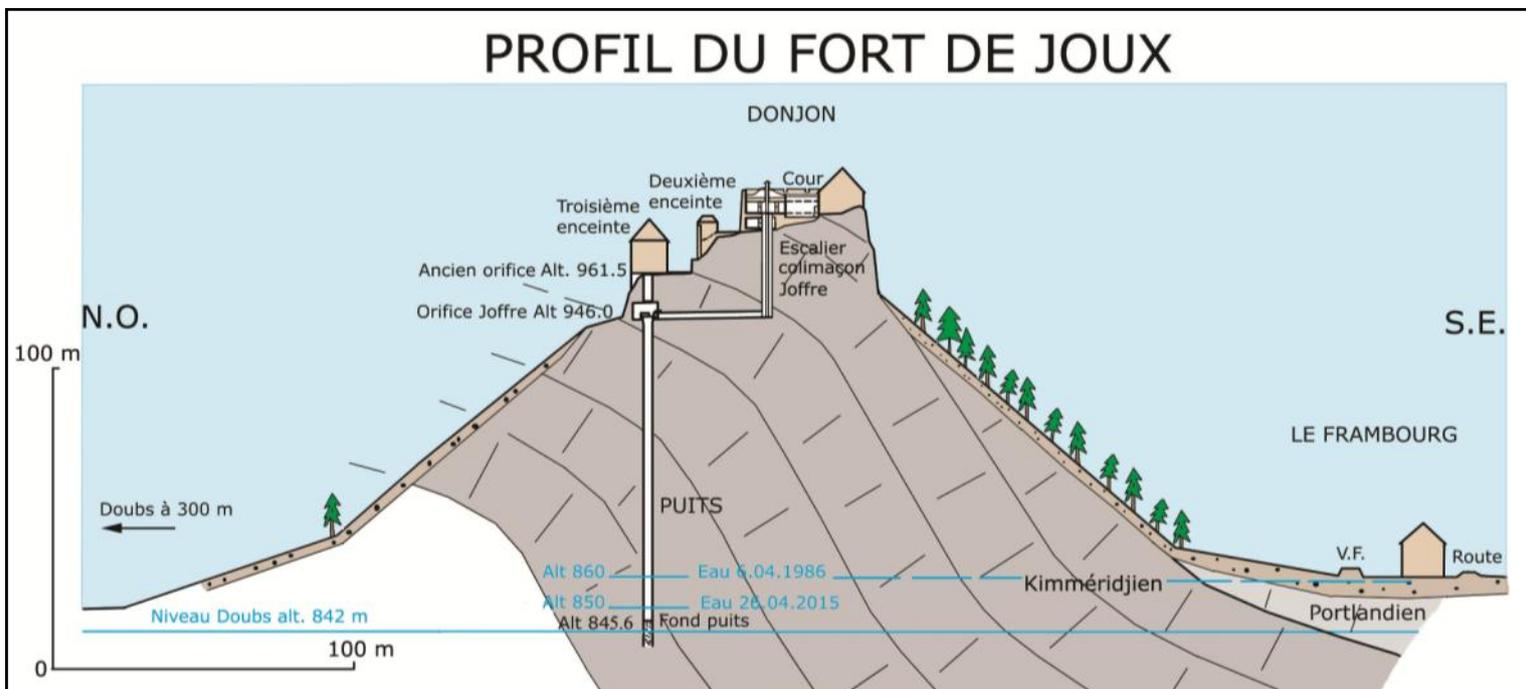
Lors de la pollution au gazole de la Morte aux Verrières, le traçage effectué dans les pertes et au puits du Frambourg est ressorti à la source de la Loue

et le désarroi des puisatiers qui croyant avoir atteint l'eau un jour, retrouvaient le puits à sec peu après !

Il ne fait alors aucun doute que le puits a une autre source d'alimentation que le Doubs. On pense alors à l'anticlinal jurassique de la montagne du Larmont qui culmine au N.E. à 1323 m d'altitude. Lors des fortes pluies ou de la fonte des neiges, les conduits aval étant exigus, l'eau monte dans le puits.

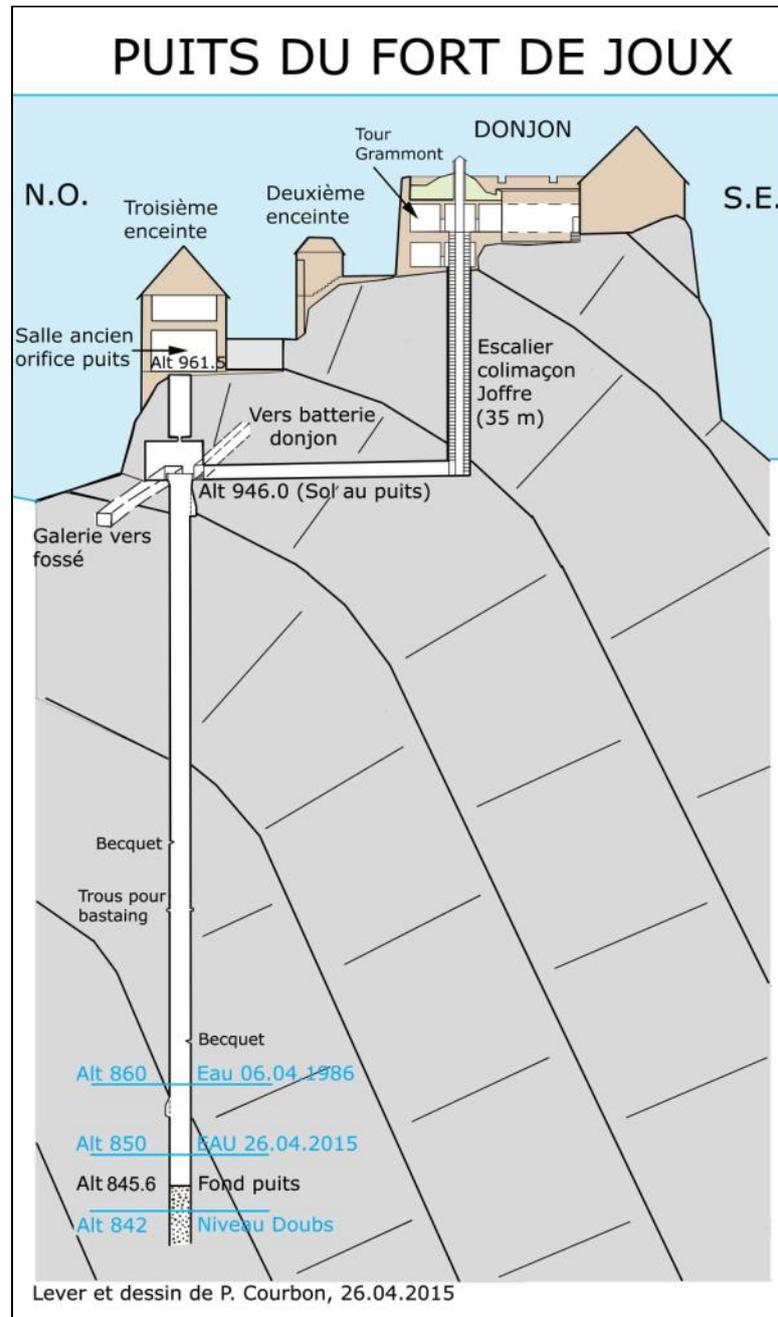
Le traçage effectué par le cabinet Reilé [5], le 14 janvier 2009 à la perte de Frambourg, située juste

Ci-dessous, synthèse de la coupe géologique de Pascal Reilé et des mesures effectuées par P. Courbon les 25 et 26 avril 2015. L'altitude de Frambourg devrait limiter celle des montées d'eau dans le puits.



au dessous du Fort de Joux, 400 m au S.E. de son puits, est ressorti 120 heures plus tard à la source de la Loue située 17 km au nord, en suivant un trajet passant sous le Doubs ! On mesure alors la complexité des circulations souterraines de cette zone.

Le puits est situé presque au sommet du pli anticlinal venant du Larmont, à un endroit où les couches sont très inclinées, comme le montrent les vues à partir du fort Mahler. Il n'est donc pas étonnant que la nappe y connaisse des écarts très importants. Dans les périodes de basses eaux, peut-on penser que le puits reçoive aussi des infiltrations venant du Doubs situé à moins de 500 m, comme vu plus haut ? Cela reste à prouver. Mais dans l'affirmative, on pourrait penser que la profondeur totale du puits était de l'ordre de 125 m maximum, on serait proche des chiffres donnés en 1755, 1776 et 1823. Dans ce cas, il y aurait actuel-



Ci-dessus, l'agrandissement de notre profil général permet de mieux situer le grand puits dans l'enceinte du fort de Joux.

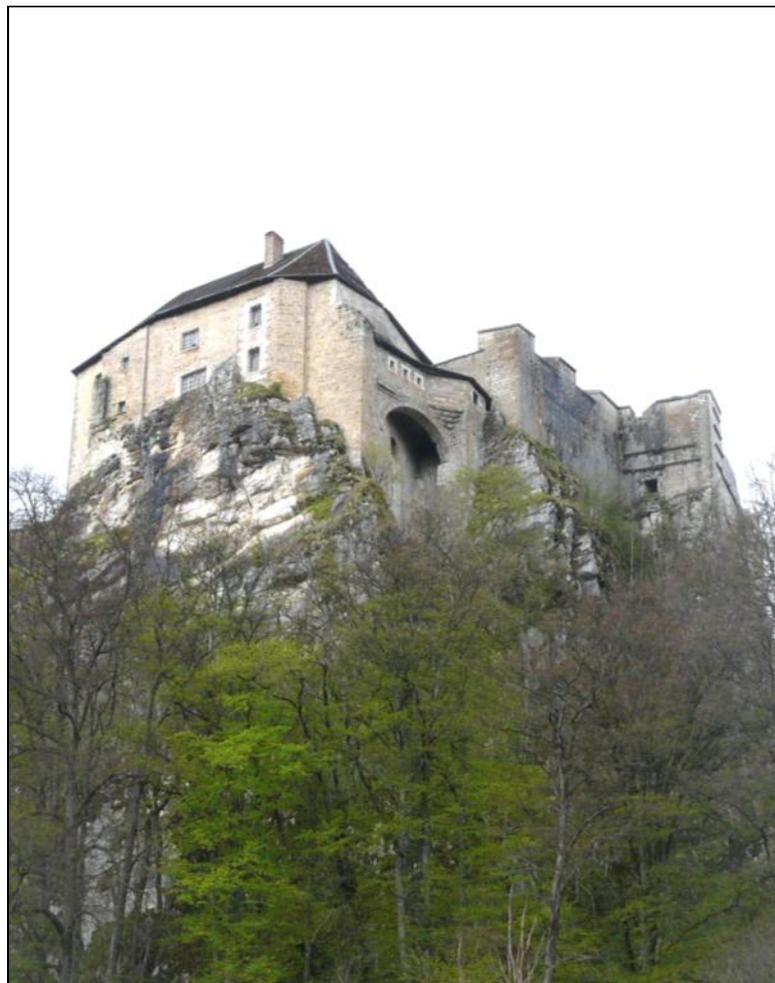
A gauche, la photo prise du fort Mahler, montre bien les couches très redressées de l'anticlinal sur lequel a été bâti le fort et telles qu'elles figurent sur la coupe géologique précédente. En haut des couches, on voit s'amorcer la flexure qui marquera le sommet de l'anticlinal.

Toujours à gauche : l'extraordinaire escalier en colimaçon (35 m) creusé par Joffre, permettant de descendre au niveau du puits comme représenté sur notre profil.

lement un peu plus d'une dizaine de mètres de complètement. Suite aux mesures faites lors de notre intervention, on devine l'intérêt des colorations que projette Pascal Reilé [6] à la saison sèche, quand le puits sera hors d'eau depuis un certain temps.

Conclusion

Les lignes qui précèdent nous montrent qu'un certain nombre d'inconnues restent à résoudre, en particulier concernant l'usage de la poudre et de la ventilation du puits qui devait suivre. Il y a aussi le problè-



Le fort de Joux, tel qu'on le voit du fond de la cluse, au village de Frambourg. Imprenable de ce côté... Le beau porche donnant sur le vide correspond aux anciennes latrines !

me de l'alimentation en eau du puits, qui devra être précisée par de futures colorations. De plus, nous sommes désolés de présenter des possibilités de profondeur du puits inférieures à celles qui avaient été annoncées. Notre démarche ne relève que d'une rigueur scientifique et historique.

Remerciements :

Nous remercions les responsables de la communauté des communes du LARMONT et du fort de Joux, en particulier Mme Chabaud, M. Cordereix et M. Emilli, qui nous ont fait confiance, nous donnant l'autorisation d'explorer le puits et de faire toutes nos mesures. Nous remercions aussi Gilles Hérard, guide au fort, pour son amabilité et René Kill pour les éléments qu'il nous a fournis. Un grand merci encore à Pascal Reilé, Bertrand Blanchet et aux spéléologues des clubs Karstic, de Saint-Hyppolite et du Mont d'Or, sans lesquels l'exploration du 26 avril n'aurait pu se faire.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Jules MATHEZ, 1932, Annales du Château de Joux, illustr. De Robert Ferniez, Ville de Pontarlier
- [2] Louis MARTIN, 1964, Château de Joux, Synd. Init. Pontarlier.
- [3] Jean-Marie THIEBAUD et alii, 1987, Le château de Joux, Ed. Pourchet, Pontarlier
- [4] René KILL, 2012, L'approvisionnement en eau des montagnes alsaciennes, CRAMS, Saverne, 480 p.

[5] Pascal REILE, 2009, Communauté de communes du Larmont, pollution aux hydrocarbures des eaux de la MORTE – Commune de Verrières-de-Joux, expertisée par double traçage.

[6] Pascal REILE, 2015, Communauté de communes du Grand Pontarlier et SMMAH, Etude de la MORTE, en cours.

Contact : Paul.courbon@yahoo.fr

Annexe : Aérage des puits

Les traces de barre à mine que l'on trouve dans les puits du château de Joux et surtout dans celui de la citadelle de Besançon posent le problème de l'aérage des puits après les explosions. Les documents militaires retrouvés n'entrent pas dans les détails techniques du creusement.

L'Allemagne compte plus de puits profonds que la France et le problème de l'aérage des puits y était connu depuis bien longtemps, pour éliminer le gaz carbonique généré lors des travaux. A l'époque romaine Il aurait même été abordé par Vitruve, comme mentionné dans la traduction de Perrault en 1684! Plusieurs auteurs ont écrit à ce sujet du XVI^e au XVII^e siècle. Nous citons le plus célèbre.

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) qui facilitent sa compréhension. Il a été traduit en Allemand et en Français [1] et a connu plusieurs rééditions.

Une dizaine de pages de son livre VI, traitent des moyens utilisés pour l'aérage des puits de mine [1]. 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, dégagé par certaines roches, ou lors du chauffage pour fissurer les roches

La poudre qui remplissait ces forures a dégagé beaucoup de CO₂ au moment de l'explosion.

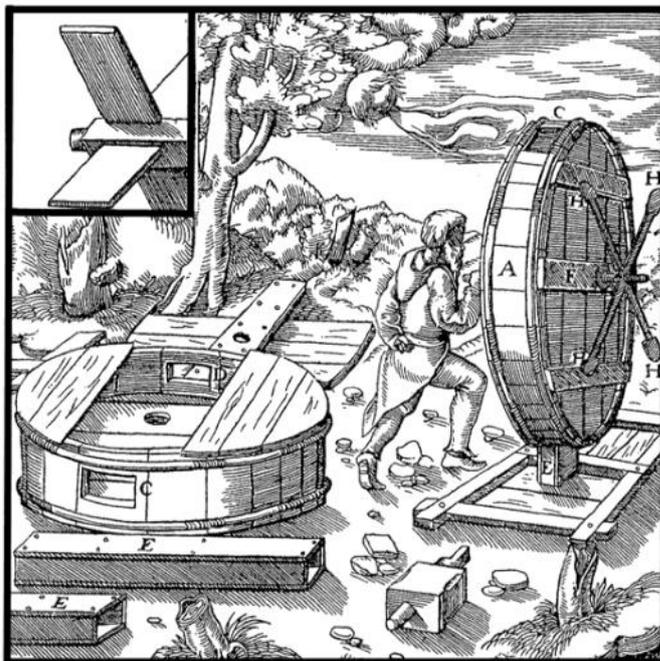


durs. Dans ses descriptions, l'ouvrage nous donne des puits profonds de 120 pieds (40 m) au maximum.

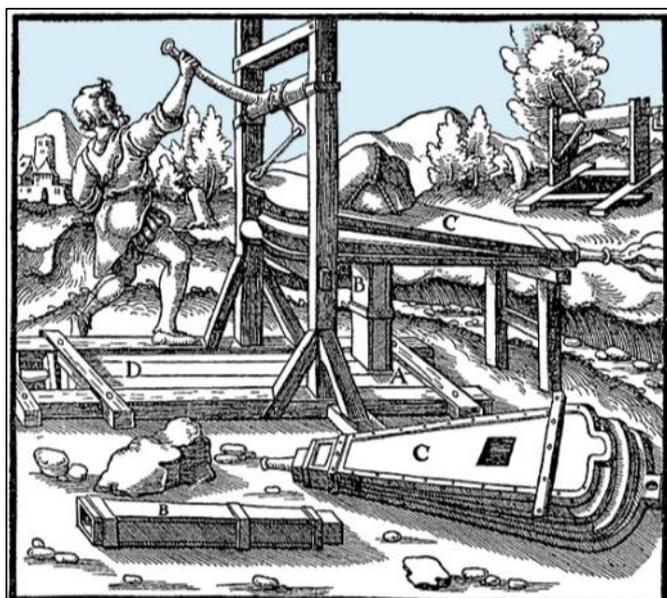
Parmi les méthodes décrites, il y avait des panneaux de bois disposés judicieusement à l'entrée du puits et dans le puits, pour utiliser la force du vent en vue de l'aéragé. Il y avait même des tonneaux étonnamment aménagés pour capter le vent. Mais, évidemment l'efficacité d'un tel système était liée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

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'intermédiaire 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 (Figure).

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).



Autre système d'aéragé cité par Agricola : les pales d'une pompe à air permettent d'aspirer l'air vicié, toujours canalisé dans des conduits en bois.



Sur l'une des nombreuses illustrations d'Agricola, le soufflet C aspirait l'air vicié par l'intermédiaire de conduites en bois B, pour le rejeter à l'air libre.

Exemples d'aérages connus

René Kill [3, p.113], nous apprend qu'au puits de Königstein (Allemagne), creusé de 1563 à 1569, un conduit d'aéragé 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'aéragé 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; il n'y a de tels conduits ni à Besançon, ni à Joux. A Homberg, creusé de 1605 à 1613, deux ouvriers auraient actionné en permanence un soufflet, comme sur le livre d'Agricola. Mais 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 n'y croyons pas pour un puits de plus de 100 m.

Apparition de la poudre dans le creusement

L'emploi de la poudre, attesté dans les mines des Vosges à partir de 1620 [4], va se généraliser ensuite. Le gaz carbonique (CO₂) dégagé en abondance par son explosion est beaucoup plus lourd que l'air (Densité 1,56) et 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 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 non dilué. 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 différences thermiques étant atténués par la distance à parcourir.

L'hypothèse des soufflets

Il faut rendre visite à la taillanderie de Nansous-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. 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, n'auraient-ils pu être utilisés pour aspirer les gaz nocifs à Besançon et à Joux ? Peut-on imaginer que des conduites en bois aient pu être mises en œuvre à Besançon ?

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. 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 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'aéragé lors du creuse-

ment d'un aqueduc souterrain, à Chiomonte (Val de Suse, Italie), au XVI^e siècle [5].

Les fours aspirants (Wetterhofen)

Ce type de four, dénommé Wetterhofen 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 Wetterhofen aurait été expérimenté dans une mine de Bad Grund (Haut Harz) en 1716. Les gaz chauds créés dans un four remontent rapidement dans une cheminée en créant une forte aspiration. Dans les mines, le Wetterhofen était placé en surface à l'écart du puits auquel était relié un conduit pour aspirer l'air.

Conclusion

Dans les puits de Besançon et de Joux, le problème de l'aéragé après explosions n'est pas résolu de manière certaine. Soufflets? Ventilateur avec palettes en bois? Type de conduite d'aéragé? Nous n'avons pu, dans l'état actuel des connaissances, que formuler des hypothèses.

D'après les vestiges retrouvés dans différents puits, les méthodes n'étaient pas partout identiques. Bien que l'on retrouve quelques écrits, à l'époque, pas de «Manuels du puisatier», les connaissances devaient se transmettre oralement... Il était exceptionnel de creuser des puits de 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, avec des différences suivant les puits. Il reste à affiner les recherches.

RAPPEL D'ACCIDENTS[2]

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 plus récente. En spéléologie, des progrès énormes ont été accomplis concernant l'usage de la poudre lors 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, ils permettront de comprendre pourquoi nous avons autant insisté sur le problème de l'aéragé.

• 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 Prugnères (66), deux spéléologues : Christian Marty et

Franck Bournet périssaient au cours de la désobstruction de l'Aven de la Pipe 02. Près de la surface, 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.



Dans le puits de 35 m du gouffre du Mussuguet 3, près de Cassis, la forte présence de gaz carbonique a obligé les spéléologues à aspirer ce gaz par le tuyau rouge, lors de travaux de désobstruction entrepris en 2013-2014.

Remerciements : A MM. René Kill et Hans Klose pour les documents qu'ils m'ont aimablement fournis.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] 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.
- [2] COURBON Paul, 2011, 1651-1653, La première désobstruction à l'explosif, Spelunca n°124, pp. 47-54.
- [3] KILL René, 2012, L'approvisionnement en eau des montagnes alsaciennes, CRAMS, Saverne, 480 p.
- [4] PIÉRE 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
- [5] LECUGY Jacques, 2010, La chanson de Colombano, Verdons n° 31, Ed. Pays et gens du Verdon.

Paul COURBON