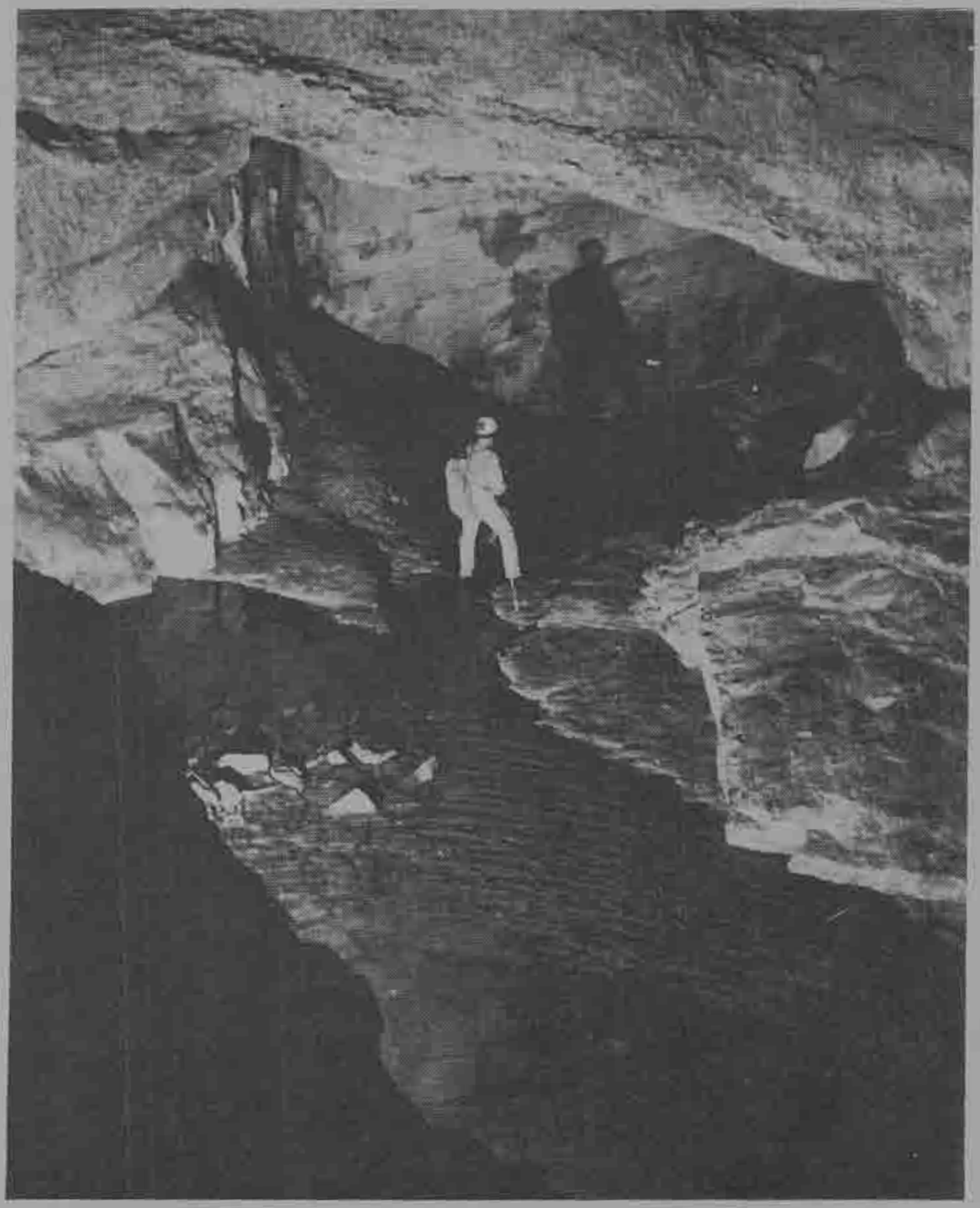
50

HYPOGÉES

"Les Boueux"



SOCIÉTÉ SUISSE DE SPÉLÉOLOGIE - BULLETIN DE LA SECTION DE GENÈVE

SECTION DE GENEVE DE LA SOCIETE SUISSE DE SPELEOLOGIE

Administration: Jean-Marc LEUBA, 6 ch. de la Nonnette - 1292 CHAMBESY (022/58'12'32)

Rédacteur : Jean-Jacques PITTARD, La Vorze, F - 74140 CHENS s/Léman et 36, Av. Eugène-Pittard - 1206 GENEVE

Rédaction : Jean-Paul GAILLARD, 58 Rue Lamartine - 1203 GENEVE
Théo PEROTTI, 9 Rue Carqueron - 1220 AVANCHET-PARC

Echanges : "HYPOGEES", 36 Av. Eugène-Pittard - 1206 GENEVE

Abonnements : Suisse Fr.s. 12.- (adressé à Jean-Jacques Pittard, Revue HYPOGEES, Genève - CCP 12-16200)
Etranger Fr.s. 15.-

Pour la France: Abonnement FF 38.- (payable au CCP J.J. Pittard Lyon 1416-64)

Autres pays : - règlement par virement postal international à Revue HYPOGEES, Genève, CCP 12-16200 ou
- par chèque à l'administration

22ème année - 1984

No 50

" HYPOGEES " - " LES BOUEUX "

Sommaire :

EDITORIAL

* * * * * * * * * * *

C'était en mars 1961 que nous annoncions la création d'un bulletin d'informations pour les membres de la section genevoise de la SSS. Pour rafraîchir vos mémoires, ce premier numéro, d'une page, est reproduit ci-après.

Dès 1962, avec le numéro 4, notre bulletin prit le nom "Les Boueux", titre qu'il devait garder jusqu'en 1970 pour se transformer, avec le numéro 26, en "HYPOGEES - Les Boueux".

Nous tenons à saisir cette occasion pour remercier tout particulièrement notre ami Jean-Jacques Pittard qui tout au long de ces années a contribué au succès de cette revue avec de nombreux articles toujours très intéressants. La preuve de son dévouement est d'ailleurs concrétisée dans ce numéro 50 pratiquement entièrement écrit par ses soins et qui prolonge une longue série de numéros spéciaux traitant d'un seul sujet, série commencée en 1967 avec "Une Grotte m'a dit".

Société Suisse de Spéléologie
Section de GENEVE.

N°1, 1er mars 1961.

BULLETIN D'INFORMATION

****

Cher Collègue,

Cette circulaire constitue le premier numéro d'un Bulletin interne destiné à tenir les membres actifs et sympathisants, ainsi que les anciens membres qui désirent garder le contact, au courant des projets d'activités ainsi que des réalisations de la Section.

En principe, il sera composé un numéro (d'une page ou deux) tous les deux mois, la date de parution étant le début de chaque mois impair (janvier, mars, mai, etc..).

Ce modeste bulletin restera toujours, en principe, un organe interne, et ne prétend pas rivaliser avec des publications de sections ou de sociétés, les articles rédigés par les membres de la Section étant destinés avant tout à Stalactite. Il fera le point des sorties et réunions principales tenues dans les deux mois précédents, et avisera les membres du programme prévu pour les deux mois suivants.

Changement de local : Mardi dernier avait lieu la dernière réunion - un peu mouvementée, pour fêter la chose - au Chalet, dont la démolition est déjà en train. Désormais, les réunions auront lieu (toujours le mardi, à 20 h 45 PRECISES) dans la salle du 1er étage au Café-brasserie du Perron, 5 rue du Perron.

Horaire des réunions : La réunion proprement dite aura lieu de 20 h 45 à 21 h 30. Les membres ayant fait une sortie le dimanche qui précède sont INSTAMMENT PRIES de présenter au début de la réunion un bref compte-rendu (5 à 10 min. maximum) et de déposer un résumé écrit, en cinq ou six lignes (lieu, participants, cavités visitées, observations diverses effectuées), résumé qui sera inclus dans le Bulletin qui suivra. Au cas où aucun des participants ne pourrait venir, il est recommandé d'envoyer le petit compte-rendu par la poste, dans la journée du lundi, au Perron; il sera ainsi possible de tenir les collègues au courant en le lisant à la réunion. Ensuite, il sera décidé de la sortie du dimanche suivant. Puis, les membres désirant du matériel déposeront leur demande, et ceux qui en restituent le remettront au responsable(le bon de décharge ne sera signé qu'après vérification du bon état du matériel rendu). Enfin, un membre du Comité notera dans l'agenda (acheté aujourd'hui à cet effet) les noms des présents et la teneur de la réunion. Normalement, il sera alors 21 h 30, et chacun pourra faire ce qu'il voudra. Les demandes de livres de la bibliothèque se feront en même temps que les demandes de matériel.

Sorties de perfectionnement : La première de l'année aura lieu au Salève, le dimanche 19 mars. S'inscrire aux réunions des mardis 7 et 14 mars, ou directement en écrivant ou en déposant un mot au Perron, dans la boîte aux lettres de la Section. Ces sorties sont obligatoires pour les nouveaux membres et pour les membres "postulants". Elles sont RECOMMANDEES, pour les autres... Programme du 19 mars : maniement des échelles, assurance directe et auto-assurance, descentes en rappel, topographie (emploi de la boussole et technique du cheminement), éléments de secourisme. L'heure du départ et le lieu de la sortie, ainsi que la question du transport, seront décidés à la réunion du 14 mars.

Causeries mensuelles : J. MARTINI fera un exposé de géologie sur les divers types de terrain de la région, le mardi 21 mars, au Perron. Il n'y aura pas de causerie en avril, en raison de l'Assemblée Générale du mardi 18 avril, destinée à préparer le Congrès.

MINICARNET

* * * * * * * * * * * *

Infatigable Jacques Martini

Nous avons reçu les deux derniers numéros de "The Bulletin" de la South African Speleological Association dans lesquels nous avons pu constater l'intense activité de notre ami Jacques Martini, membre d'honneur de notre Section.

Travaillant toujours au Geological Survey de la RSA, Jacques occupe ses loisirs à réaliser de nombreuses explorations souterraines et à en décrire les particularités géologiques et minéralogiques. Il continue notamment ses enquêtes dans beaucoup de grottes qu'il a découvertes ou explorées dans le cadre de son étude sur les phénomènes karstiques ayant affecté les quartzites du Transvaal. Il nous donne la description de ces recherches, sont quelques-unes ont été réalisées avec la collaboration de R. Ellis, au cours d'une vingtaine d'articles insérés dans ces bulletins. C'est également lui qui signe l'éditorial du Volume 23 de cette importante revue sud-africaine fort bien présentée et très scientifiquement documentée.

Nous profitons de l'occasion pour dire à Jacques nos félicitations et nos bien amicales pensées pour lui et sa famille.

Près de chez nous : de plus en plus profond !

Dans un communiqué à "Spelunca" (mars 1984), Christian Rigaldie explique que le fameux groupe Vulcain qui continue ses explorations dans le "Gouffre Jean-Bernard" (pour le moment la plus grande dénivellation du monde) a réussi par dynamitage la désobstruction de méandres à la base du "Gouffre B 22" appartenant au système souterrain du "Jean-Bernard" (commune de Samoëns en Haute-Savoie).

Ces travaux ont permis la jonction avec le "Gouffre B 21", ce qui eu pour résultat d'augmenter la dénivellation de l'ensemble de cet étonnant système hypogé savoyard qui atteint ainsi à ce jour - 1'535 m. avec un développement de 17 km ! Et les recherches continues...

NOUS AVONS REÇU...

* * * * * * * * * * * *

Les grottes de la République de Saint-Marin

Saint-Marin (San Marino) est une petite république indépendante enclavée dans le territoire italien, au sud de Rimini, et faisant partie de l'Apenin calcaire.

Ses 60,5 km^2 en font un pays un peu moins grand que le canton de Neuchâtel (62 km^2) mais bien moins peuplé : 18'000 habitants, dont 1'500 dans la capitale (Canton de Neuchâtel : 158'600 habitants). La population fort dispersée s'occupe d'agriculture, le pays possédant aussi une industrie pour la taille des pierres. Dominée par le mont Titano (739 m d'altitude), cette république prit son autonomie dès la fin du 9ème siècle. Elle put, malgré diverses vicissitudes, conserver sa liberté au cours des siècles et fut reconnue comme Puissance indépendante par le Traité de Vienne en 1815.

Le calcaire du mont Titano a été l'objet de divers phénomènes karstiques et tectoniques qui ont donné lieu à la formation de grottes et de gouffres dont le plus profond est le Voragine del Titano avec ses 136 m. de dénivellation. Une de ces grottes a été transformée en cave bien fraîche pour y entreposer des vins, comme le font les Tessinois ("Cantine") dans les endroits qui s'y prêtent. Une autre a été aménagée par les paysans pour y exploiter l'eau provenant d'une résurgence.

Des spéléologues italiens se sont intéressés au territoire souterrain de Saint-Marin. Ils ont entrepris une étude aussi complète que possible de tous ces hypogées. C'est ainsi que la Revue SOTTETERRA, du "Groupe spéléologique de Bologne", consacre un numéro spécial aux cavités de la République de Saint-Marin et nous en donne l'inventaire et la description : "Le cavità naturali della Republica di San Marino", par Paolo Forti et Giovanni Gurnari.

La douzaine de grottes et cavités diverses de ce petit territoire est l'objet d'études détaillées avec plans et coupes, géologie et hydrologie ainsi que l'histoire des explorations. Une partie est consacrée au monde cavernicole auquel un membre du Club de Bologne, le biospéléologue Giuseppe Rivalta a consacré toute une étude accompagnée de belles photos en couleurs.

Cet ouvrage de 80 pages (qui peut être consulté à la bibliothèque), fort bien présenté et richement illustré, intéressante monographie consacrée au territoire hypogé de la petite république, constitue aussi un excellent guide pour les spéléologues désireux d'explorer géologiquement et hydrologiquement ce pays tout en pouvant agréablement se rafraîchir dans une "cantina" souterraine.

J.J. P.

Bio-spéléo en Israël

Venu jusqu'à nous dans un état lamentable (mouillé et déchiré, ayant peut-être séjourné dans un gouffre !) à la suite d'on ne sait quel difficile périple postal, le no 9, juin 1984, de Nikrot Zurim (journal du Centre de Recherches spéléologiques d'Israël) est consacré à la vie souterraine.

Publié en caractères hébraïques, ce numéro contient une quinzaine de pages d'un résumé en anglais relatant la biologie en milieu hypogé. Des articles sont voués à la faune aquatique, aux crustacés aveugles, aux araignées, chauves-souris, etc..., de même qu'aux conditions physico-chimiques de la vie dans diverses cavernes d'Israël.

MOYENS D'AUTREFOIS POUR EXPLORER ET FOUILLER

LES ENTRAILLES DE LA TERRE

par

Jean-Jacques PITTARD

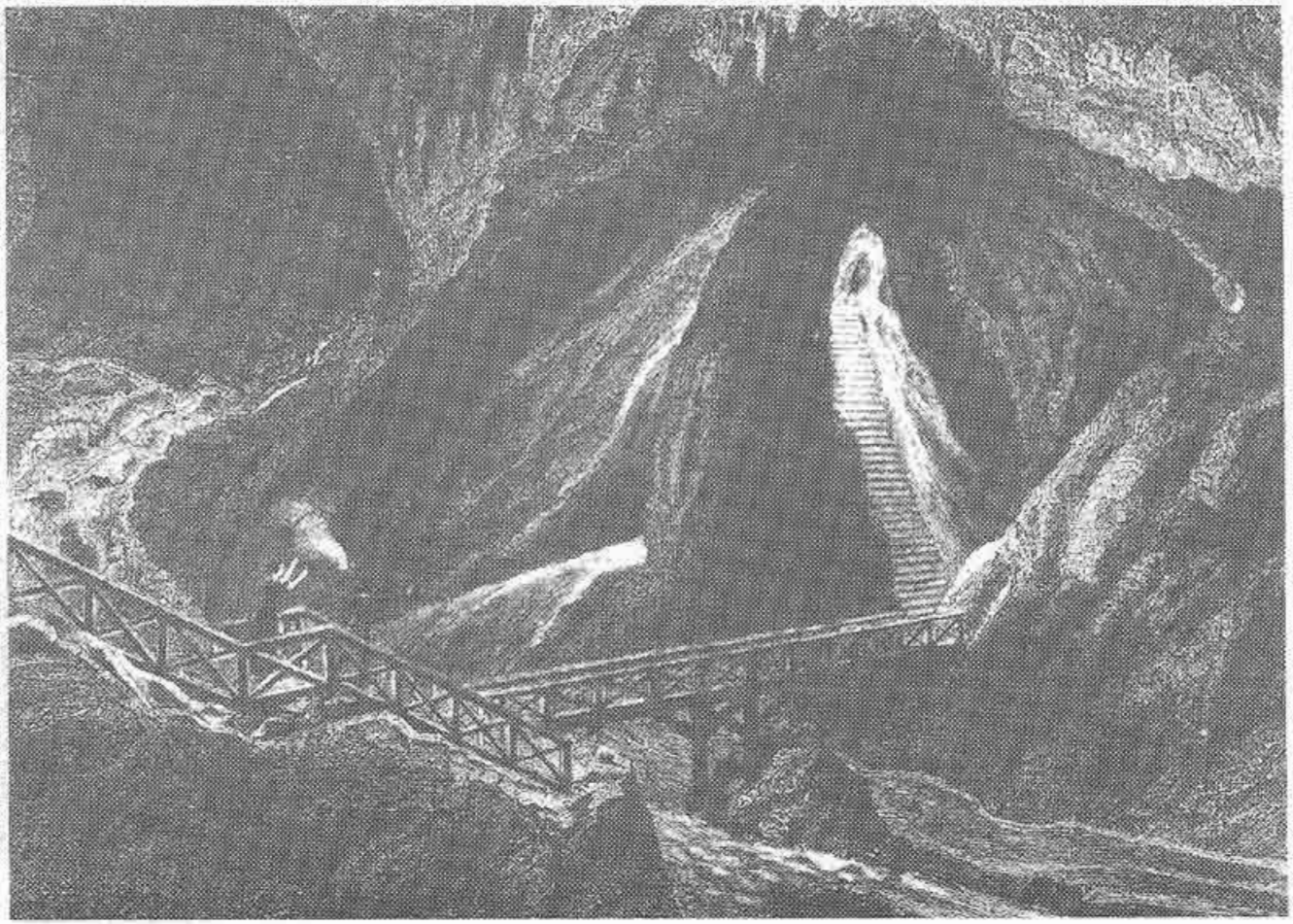
Président d'honneur de la Société Suisse
de Spéléologie

Extrait de la Revue

H Y P O G E E S No 50

Dactylographies : Danielle DEDIE-PITTARD

Edit. HYPOGEES : Jean-Marc LEUBA



Dans la Grotte d'Adelsberger au siècle dernier.
(Collection A. Cigna)

MOYENS D'AUTREFOIS POUR EXPLORER ET FOUILLER

LES ENTRAILLES DE LA TERRE

Introduction

Dès les temps de la Préhistoire les hommes s'intéressèrent aux cavernes pour s'y abriter ou y loger. C'était pour eux des "maisons" toutes faites résistant aux intempéries et aux orages, à l'intérieur desquelles régnait une température relativement égale si bien qu'elles paraissaient chaudes en hiver, fraîches en été. Aujourd'hui encore, un peu partout dans le monde, bien des gens ont aménagé des souterrains pour y vivre. Ces troglodytes en ont même creusé dans des falaises de roches tendres situées à proximité de lieux rendus agréables par la présence de l'eau et du bois.

Au cours des millénaires certains de nos ancêtres établirent des sanctuaires ou d'extraordinaires galeries d'art, peinture, sculpture, gravure dans de profondes cavernes. Comme de bien entendu ils évitaient celles parcourues par des cours d'eau dont les crues pouvaient se montrer dévastatrices. Et pourtant, en ce qui concerne ces dernières ils n'hésitèrent pas, dans quelques cas, à y pénétrer dangereusement pour aller réaliser bien loin de l'entrée et à l'abri des regards indiscrets leurs oeuvres de génie.

* * *

Beaucoup plus tard ces populations s'intéressèrent aux métaux dont on pouvait récolter des fragments à l'état natif, se

Au Moyen Age, pour s'enfoncer sous terre, on utilisait la glissade, la corde ou l'échelle.

(D'après Agricola, "De Re Metallica", Basilea, 1556)

laissant facilement travailler, tels l'or et le cuivre. Ensuite les forgerons inventèrent la métallurgie, fabriquant des alliages, le bronze par exemple, fait de cuivre et d'étain. Puis ce fut le tour du fer dont la préparation, à partir de ses minerais était beaucoup compliquée.

A force d'être de plus en plus ramassés, ces minéraux devinrent rares à la surface du sol: il fut alors nécessaire d'aller à leur poursuite dans l'intérieur de la terre. Ainsi ces artisans se firent mineurs tout comme l'avaient été certains de leurs ancêtres creusant de leurs mains en s'aidant de bâtons ou de pierres plus ou moins tranchantes des galeries pour aller à la récolte d'une variété de silex particulièrement prisée. Dès cette lointaine époque jusqu'à nos jours l'industrie minière se développa continuellement, améliorant sans cesse l'outillage, les méthodes d'avancement souterrain et les systèmes d'extraction.

* * *

Beaucoup de cavernes naturelles, ces mystérieuses entrées vers l'inconnu, furent prospectées par des chercheurs qui espéraient y découvrir des richesses. Mais rares sont les grottes contenant des substances exploitables. Des engrais ont été extraits de divers souterrains tel le guano de chauves-souris au Colorado (U.S.A.) ou des phosphates provenant de déchets animaux comme dans la grotte de Mixnitz (Autriche) dans laquelle on exploita les restes de 50.000 ours...

L'extraction de belles cristallisations a pu donner lieu aussi à des exploitations aussi temporaires que regrettables. En Afrique du Sud, des prospecteurs ont pu retirer un peu d'or accumulé dans les alluvions de grottes ouvertes dans des quart-

zites. Citons encore, pour mémoire, le lait de lune (Mondmilch), produit calcaire spongieux qui fut recherché autrefois pour ses vertus que l'on croyait médicinales. Remarquons à ce propos que certains médecins s'y intéressent de nouveau...

Quant aux gouffres, il n'était pas question en ce temps-là, faute de moyens, d'y descendre d'autant plus que l'imagination populaire y avait logé des dieux mythiques ou des génies malfaisants. Lorsque viendra le moment des explorations de ces abîmes, les spéléologues s'inspireront de plusieurs des moyens d'accès utilisés par l'industrie minière en les adaptant aux conditions modernes et particulières de ces recherches nouvelles.

* * *

Contrairement à la recherche minière, la spéléologie est une aventure qui débuta sans but lucratif, toute entière tournée vers l'exploration et la joie de la découverte. Cependant, dans certains cas particuliers, elle conduisit elle aussi vers les possibilités économiques que lui offrait une nouvelle forme de tourisme de même qu'à celles découlant des connaissances et des possibilités hydrologiques.

Il est aussi des grottes curatives où l'on soigne les asthmatiques, par exemple Klutert en Sauerland autrichien, ou à Damlatas près d'Alanya (Turquie). "On entre dans cette dernière, nous dit Norbert Casteret qui l'a pratiquée, par un escalier métallique pour accéder dans une salle circulaire au sol sablonneux. On a installé dans ce lieu un éclairage ad hoc, ainsi que des fauteuils et des tables. Les curistes lisent ou jouent aux cartes en écoutant de la musique. Ce traitement fort simple consiste uniquement à séjourner dans cette grotte trois ou

quatre heures par jour, durant trois semaines". Des malades souffrant de rhumatismes, de névrites et autres affections du même genre se font traiter avec succès dans la grotte de Radhausberg près de Bad Gastein (Autriche). La température des galeries de cette importante station souterraine de cure est de 40° en général et peut même atteindre 44° en quelques endroits. Elle est due à la présence de sources thermales radioactives. A Gibraltar les belles grottes de San Michael (Old St. Michael's Cave et New St. Michael's Cave) ont été transformées pendant la dernière guerre en hôpital à l'abri des bombardements.

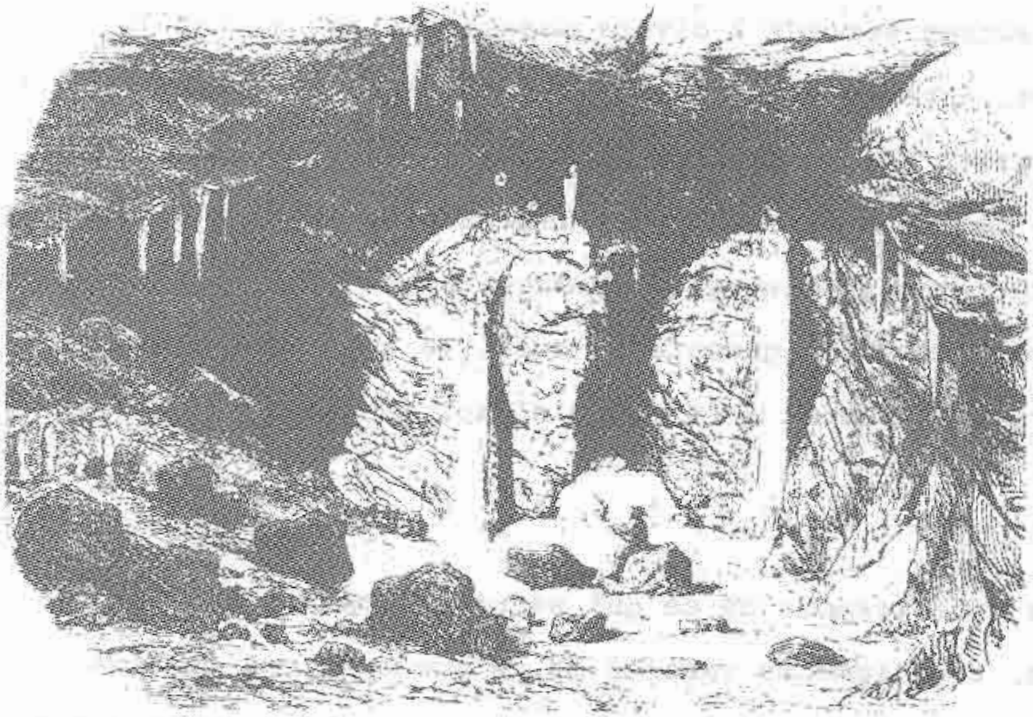
D'autres servent à divers usages militaires tandis que certaines, à cause de la température fraîche et constante, de même grâce aux conditions d'humidité qui y règnent, ont trouvé de nombreux emplois comme importantes caves à faire mûrir des variétés spéciales de fromage (Roquefort, par exemple). Beaucoup de champignonnières aussi se sont installées dans des cavernes convenant à ce genre d'exploitation.

* * *

La connaissance de ce qui se passe sous la surface de notre globe, de l'immense variété de ce monde hypogé si divers, de ce qu'on peut y trouver, des beautés et des richesses minérales qui s'y dissimulent, tout cela ne pouvait qu'attirer explorateurs, prospecteurs, géologues, mineurs et spéléologues qui tous eurent le désir de trouver les meilleures possibilités pour s'enfoncer toujours plus bas au travers des couches géologiques en y ouvrant des puits, en pénétrant dans des cavernes inconnues, en se glissant dans des failles, en se suspen-

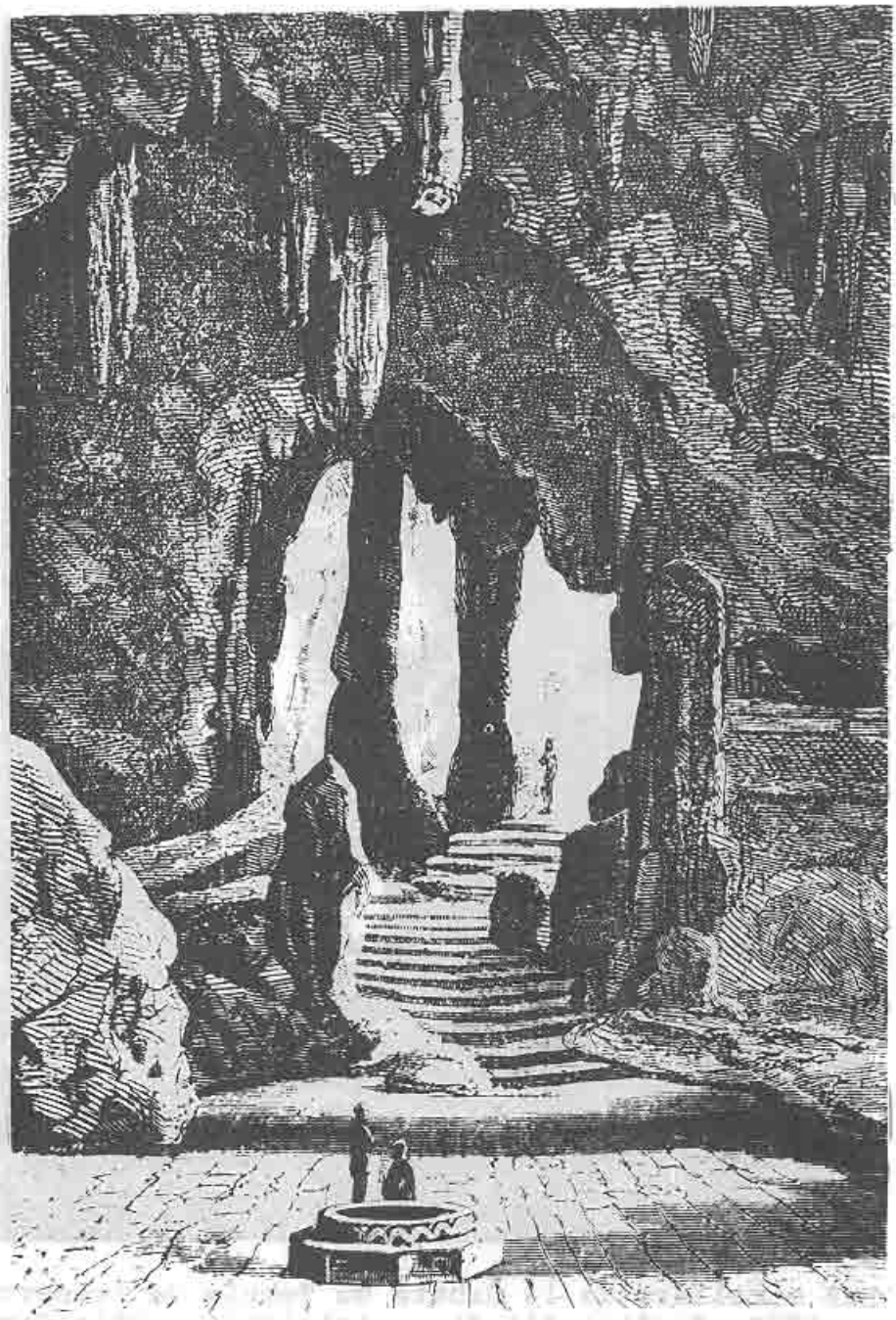
dant dans des gouffres impressionnants ou en creusant des tunnels.

La plupart de ces moyens d'autrefois, sans parler des dispositifs modernes d'investigation profonde (par exemple sondages dans lesquels on ne peut descendre), nous les avons réuni dans ce petit travail qui n'a rien d'exhaustif mais qui a voulu simplement montrer l'évolution de la peine des hommes à la poursuite du monde souterrain.



Près du Reposoir (Haute-Savoie), au milieu du siècle dernier et bravant le froid de cette caverne glacée, Monsieur le Curé est venu admirer ce monde souterrain de la Grande Cave (ou Glacière du Vergy). Assis auprès des cascades de glace, il lit tranquillement son bréviaire...

(D'après une gravure de Karl Girardet)



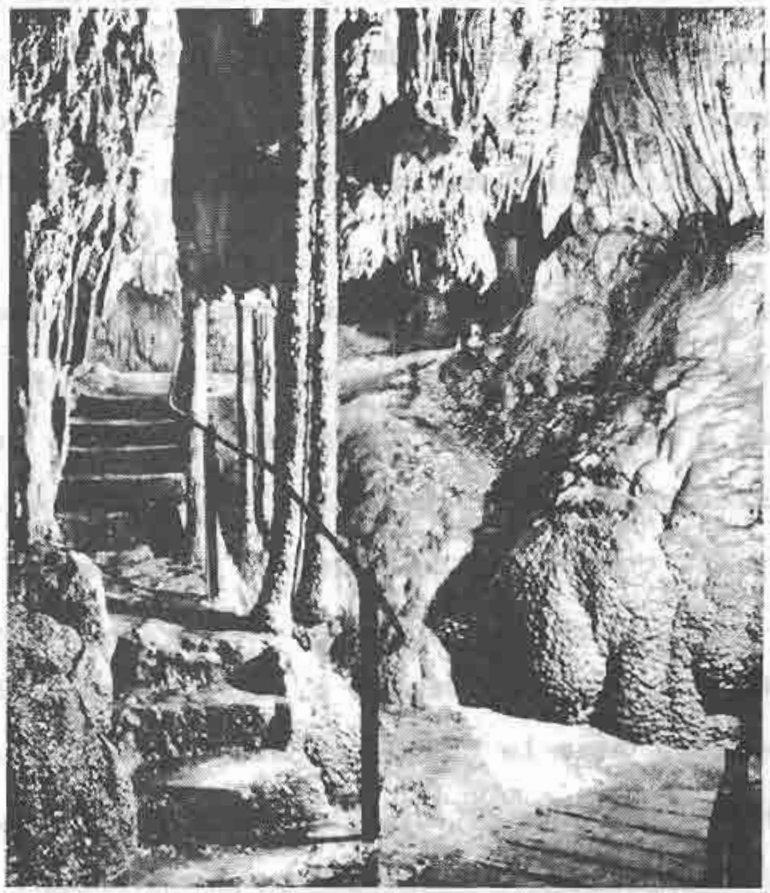
Le grand escalier de la caverne sacrée de Petchabury, Golfe de Siam.

(D'après une gravure de C. Saglio, 1870)

Les escaliers de la Grotte du Temple de Proserpine en 1780. Jardins d'Andlau, Arleisheim, Bâle Campagne.

(Collection G. Amoudruz)

Escalier taillé dans le calcaire concrétionné de la grotte de Réclère près de Porrentruy (Jura).



Escalier aménagé dans le tuf de la Grotte de l'Enfer à Baar (Zoug).

Escaliers

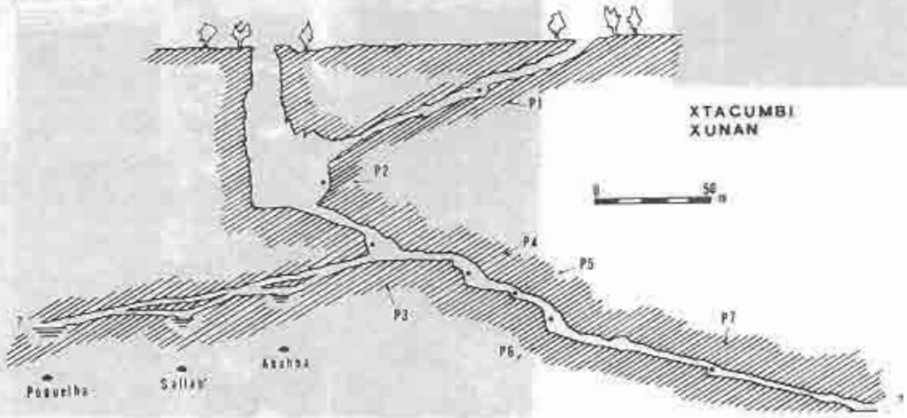
Un beau filon, laissant parfois entendre que sa richesse va aller en augmentant au fur et à mesure de son enfoncement, va engager ceux qui le poursuivent à imaginer des techniques permettant aussi bien d'y descendre que d'en revenir avec le minerai convoité.

Ce furent d'abord des chemins inclinés, puis des marches taillées dans la roche, un système qui franchit les siècles et qu'on retrouve aujourd'hui encore dans certains gisements. A Bex, par exemple, dans les Alpes, des escaliers furent édifiés à l'intérieur de la montagne dès la fin du XVIIe siècle pour l'exploitation des mines de sel. Le plus important de ces derniers, établi au XVIIIe siècle, n'a pas moins de 734 marches qu'il fallait remonter en portant de lourdes hottes pleines de minerai qui devait être traité à l'extérieur ! Lorsque nous l'avons emprunté il y a bien des années, nous avons eu une pensée pour ces gens qui le faisaient aussi en sens inverse, nous qui allions pouvoir sortir au jour par un long tunnel horizontal dans lequel circule aujourd'hui un petit train électrique...

En 1840, pour résoudre un grave problème d'alimentation en eau de la ville de Trieste, l'ingénieur autrichien Lindner n'hésita pas à aller voir ce qui pouvait bien se passer au fond du mystérieux gouffre de Padric (Yougoslavie). Pour ce faire, il y fit construire un escalier en bois qui le conduisit à -270 m. L'année suivante cet explorateur utilisa un système semblable pour descendre à -329 m dans l'abîme de Trebiç, toujours dans le but de repérer des eaux souterraines. Bien des années plus tard, en 1916, un noble autrichien, H. von

Entrée du Xtacumbi Xunan

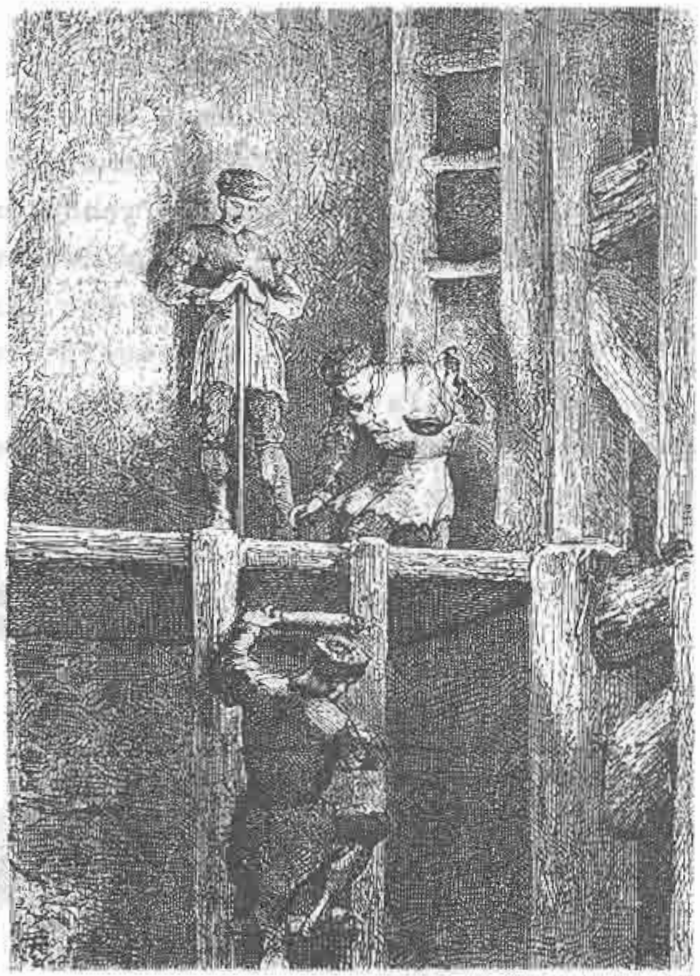
En 1841, le savant américain John Stephens a exploré l'abîme Xtacumbi Xunan, dans le Yucatan. Il a constaté, au cours de la saison sèche, que les habitants du gros village de Bolonchen se rendaient avec des récipients auprès de cet aven pour y descendre se ravitailler en eau. Ils avaient dans ce but établi un grand escalier haut de 20 mètres, construit avec de simples troncs arbre. A la base du gouffre, et pour atteindre les réserves aquifères, il fallait encore s'enfoncer plus bas en utilisant un réseau de galeries inclinées.



Coupe du Xtacumbi Xunan par J. Stephens (1841). Les usagers descendent par le couloir de P.1, prennent le grand escalier (P.2), puis les galeries conduisant aux bassins remplis d'eau.

D'après V.Caloi et V.Castellani
("Speleologia", No 10,1984)

Femmes hissant des charges de charbon le long d'échelles fixées dans le puits d'une mine en Ecosse, à la fin du siècle dernier.



Relai entre deux échelles fixes dans un gisement allemand de plomb argentifère exploité dès le XVIe siècle dans l'Ober-Harz.

(Mine du groupe Zellerfeld-Clausthal)

Sarkotic, fit lui aussi établir un escalier en bois pour explorer le gouffre qu'il avait découvert et qui porte son nom (Abîme von Sarkotic, profond de 332 m), s'ouvrant dans le karst de l'actuelle Yougoslavie.

Dans les mines profondes exigeant un puits pour y descendre, l'escalier fut remplacé par des échelles disposées en zig-zag et aboutissant chaque fois à une plate-forme relais. Ces moyens étaient la cause d'une énorme perte de temps et par conséquent de rendement aussi bien pour le mouvement des ouvriers que pour le transport des matériaux. Durant l'Antiquité ces travaux furent accomplis par des esclaves; plus tard, dans certaines mines on se servit des condamnés à de longues peines. Dans les pays miniers à forte démographie on utilisa aussi, et cela jusqu'à la fin du siècle dernier, le travail des enfants de familles nombreuses. Dans les mines de charbon ils étaient chargés de traîner et de pousser des chariots pleins de houille le long de galeries basses et étroites en s'aidant des bras et de la tête et ces "putters" anglais n'avaient guère plus de douze ans ! Dans les gîtes houillers de Saint-Etienne, des "sorteurs" un peu plus âgés et vigoureux, pieds nus pour ne pas glisser, remontaient le minerai sur leur dos jusqu'à la surface. En Ecosse, c'était des jeunes filles qui, portant une hotte de charbon retenue sur leur front par une courroie, devaient sans cesse se hisser du fond de la mine jusqu'au jour sur des échelles...

On comprend que lorsque la configuration géographique s'y prêtait (cas des gisements en montagne) on ait eu recours aux travers-bancs, tunnels à flanc de coteau permettant de rejoindre l'exploitation. Le minerai était alors conduit au jour, puis jusqu'en plaine, dans de meilleures conditions, bien que

pas toujours commodes. Au siècle dernier, en Savoie notamment, cette descente ne pouvait se faire économiquement que par traînage sur la neige en hiver: "... on étendait sur la neige une peau de mouton sous laquelle passent des chaînes de fer servant de frein; on plaçait alors un sac, renfermant environ 115 kg de minerai sur cette peau. Pour diriger et tirer cet attelage, on adaptait à la peau une corde en écharpe, laquelle passait dans une pièce de bois servant de guide et de moyen d'arrêt.

"Le traîneur passait la corde à son épaule, et descendait alors, à travers d'horribles précipices, avec une vitesse excessive. A chaque sac en étaient attelés deux ou quatre autres, de telle sorte que le convoi d'un traîneur était de 350 à 550 kg de minerai de fer qui pouvait arriver en deux heures dans la plaine". (V. Barbier: "La Savoie industrielle", 1875). L'emploi des câbles transporteurs, précurseurs de nos téléfériques, viendra mettre un terme à ce dangereux système.

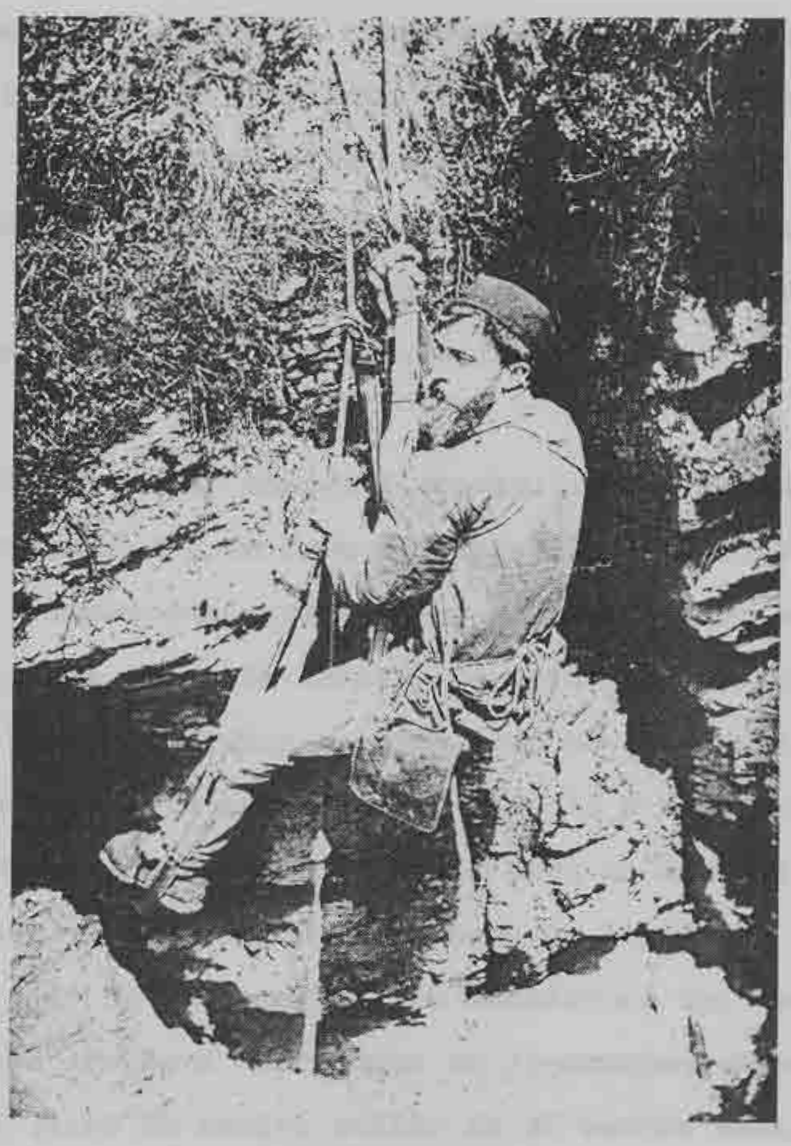
Pour avancer dans les couches de houille très minces, le mineur devait tailler la roche en position couchée fort peu confortable, ce qu'on appelait le "travail à col tordu" (havage qui se fait aujourd'hui à la machine).

(D'après un cliché MESSAGER)

Rapides glissoires

Dans les gisements comportant plusieurs étages d'exploitation on a utilisé pour s'y rendre le plus vite possible des plans très inclinés de glissement. Au XVIe siècle, Agricola ("De re metallica", Bâle, 1556) décrit ce moyen par lequel les ouvriers se laissaient couler sur leur derrière tout en se tenant à une corde. Les mineurs arrivaient ainsi rapidement et sans fatigue à leur lieu de travail. Pour remonter, c'était autre chose et il fallait bien passer par les puits et avec le minerai...

Dans certains gîtes, lorsque l'espace le permet, la glissoire au sol était remplacée par des poutres à la surface polie et cirée, ce qui permettait une descente extrêmement rapide. Actuellement, aux célèbres et grandes mines de sel dans les Alpes d'Hallein près de Salzbourg en Autriche un tel dispositif a été conservé à l'usage des nombreux visiteurs amateurs d'émotions fortes: on nous place à cheval sur la poutre après avoir passé un solide survêtement spécial pour éviter les brûlures causées par la vitesse du frottement. En tête du "convoi" (une dizaine de personnes) un conducteur avec une corde de freinage passée autour de sa cuisse gainée de cuir, retenant dans son dos les participants qui s'y écrasent à cause de la forte pente, donne le départ. Et c'est une descente vertigineuse dans la nuit, un toboggan impressionnant jusqu'au niveau suivant et cela d'étage en étage ("Y-en-a-t-il encore beaucoup ?", demandait un voisin anxieux) jusqu'au bas de la montagne. Là, un moderne petit train électrique parcourant un long tunnel (travers-banc) nous ramenait au dehors.



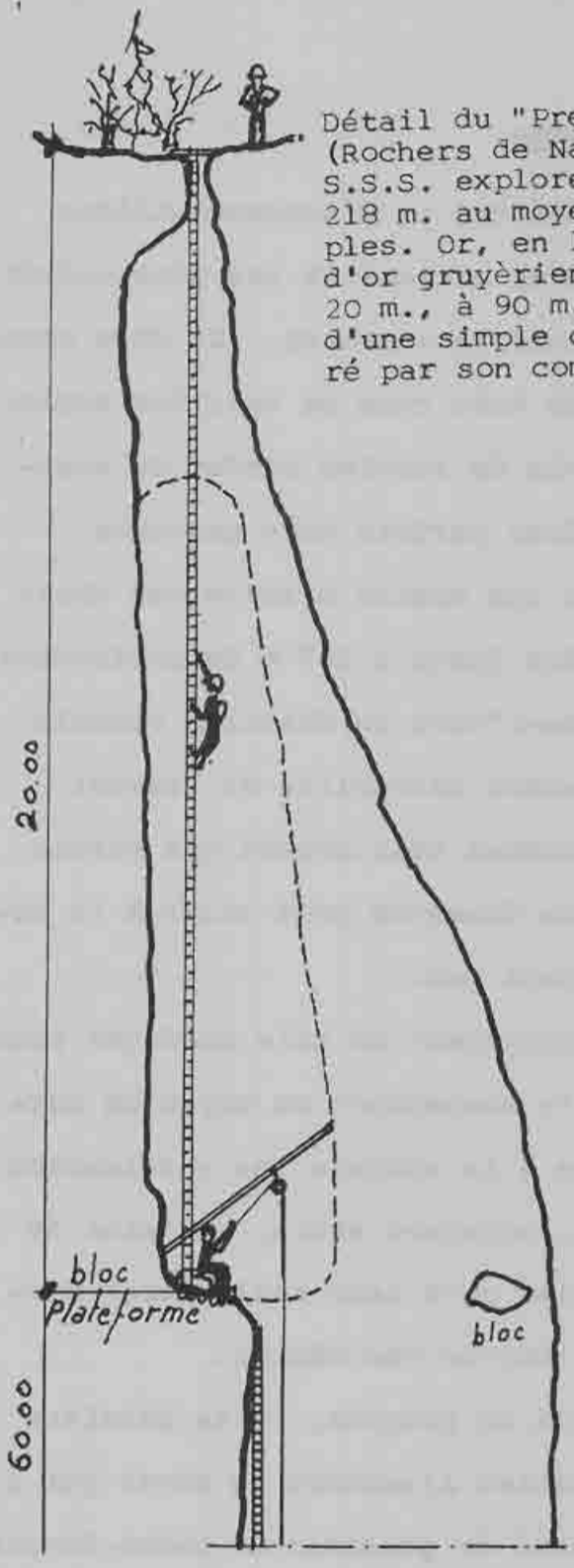
Muni du matériel d'exploration utilisé à la fin du XIXe siècle, le professeur Eugène Pittard va s'enfoncer dans le gouffre des Verts (Désert de Platé, Haute-Savoie).

Cordes pour s'enfoncer dans l'abîme

La corde faite de liane, de chanvre ou d'autres matières textiles fut un des moyens les plus anciens et les plus usités pour se rendre dans les profondeurs de la terre. Et chez nous, de nos jours encore, il n'est pas très rare de voir des explorateurs fort mal équipés se servir de simples cordes de chanvre pour se rendre au fond d'abîmes parfois très profonds. C'est, par exemple, ce que n'ont pas hésité à faire des chercheurs d'or en 1920 pour descendre jusqu'à 147 m de profondeur dans le grand gouffre de la Tanne-l'Oura en Chablais vaudois. Dans des conditions particulièrement difficiles et bravant continuellement le danger, ces hommes utilisèrent des cordes ordinaires de deux centimètres de diamètre pour aller à la recherche de richesses qui n'existent pas...

Les premiers spéléologues employèrent de tels cordages pour l'exploration des gouffres en s'y suspendant au moyen de harnais tandis que des aides restés à la surface les y faisaient descendre ou remonter. Parfois, agissant seuls, certains de ces chercheurs ne devaient se fier qu'à leur seule force musculaire pour aller et venir le long de ces câbles.

Bien que la corde à noeuds fut un progrès, cette dernière n'était guère pratique: le physicien Alexandre Le Royer qui a participé à plusieurs explorations de gouffres en Haute-Savoie avait imaginé un matériel composé d'une corde à noeuds, de sangles et de crochets, dispositif s'inspirant de celui dont se servaient alors les ferblantiers pour réparer les canalisations de descente d'eau le long des hautes façades. "Si il était beaucoup plus léger à transporter, ce système demandait par contre bien plus d'efforts physiques à l'explorateur mis



Détail du "Premier Puits" de la Tanna l'Oura (Rochers de Naye). En 1947 les membres de la S.S.S. explorent ce grand gouffre profond de 218 m. au moyen d'échelles métalliques souples. Or, en 1920, Auguste Bussard, chercheur d'or gruyèrien, y descendait travailler à 20 m., à 90 m. et même à 147 m. en se servant d'une simple corde de 2 cm de diamètre, assuré par son compagnon resté à la surface !

(Archives S.S.S.)

Descente debout, le pied passé dans un étrier fixé à un câble ou à une chaîne. Les accidents n'étaient pas rares...

(Mine anglaise vers 1850)

en rotation à l'extrémité d'une longue corde flottant dans le vide et qui risquait aussi de s'emmêler avec les agrès de sécurité... Et remonter après les fatigues de l'exploration, alors que les noeuds étaient enduits de boue gluante, devenait une véritable épreuve d'endurance !".

De nos jours, les spéléologues se servent de fines échelles souples construites en alliage de métaux légers ainsi que de cordes de sécurité en nylon. A ce matériel fut ajouté au cours de ces dernières années, un système permettant de descendre directement sur les cordes au moyen d'appareils "descendeurs" qu'il est possible d'assurer par des "bloqueurs". La remontée se fait alors grâce à des "jumars" qui autorisent une rapide grimpée: on gagne ainsi beaucoup de temps.

Au début du siècle, le célèbre spéléologue français E.-A. Martel utilisait une "escarpolette", c'est à dire une barre de bois accrochée à une grosse corde de chanvre retenue à l'entrée de l'aven par des aides. Il se laissait ainsi descendre assis sur la barre, un moyen ingénieux, mais lourd, lent et exigeant toujours la présence d'une forte équipe.

Autrefois, dans certaines mines un dispositif semblable était en honneur mais la barre de bois était remplacée par une série de cordages sur lesquels pouvaient s'accrocher plusieurs mineurs. Une forte corde, parfois une chaîne, reliée à un manège ou à un treuil permettait la descente de cette sorte de grappe humaine...

Se tenir debout, les uns au-dessus des autres, le pied passé dans un étrier fixé à un simple câble auquel on se cramponnait d'une main tandis que l'autre portait un luminaire n'était pas de tout repos ! Lentement dévidé par un treuil, le câble et ses "occupants" s'enfonçaient jusqu'au bas du puits de mine.

On procédait de la même façon, mais en sens inverse, pour rentrer chez soi. Les accidents par glissement ou décrochement d'un étrier n'étaient pas rares...

Suspendue à un câble, une grappe de mineurs assis sur des boucles de cordes descend dans un puits de la mine de Wielliczka... Et c'est ainsi qu'au siècle dernier encore on se rendait au fond de ce gisement !
(Mines de sel de Galicie)

Mineurs mexicains, sous l'occupation espagnole, utilisant de grossières échelles faites d'encoches taillées dans des troncs d'arbre.

(Mine de Chihuahua, Mexique, XVe siècle)

Comment rejoindre la mine.

(D'après Lohneis, XVIe siècle)

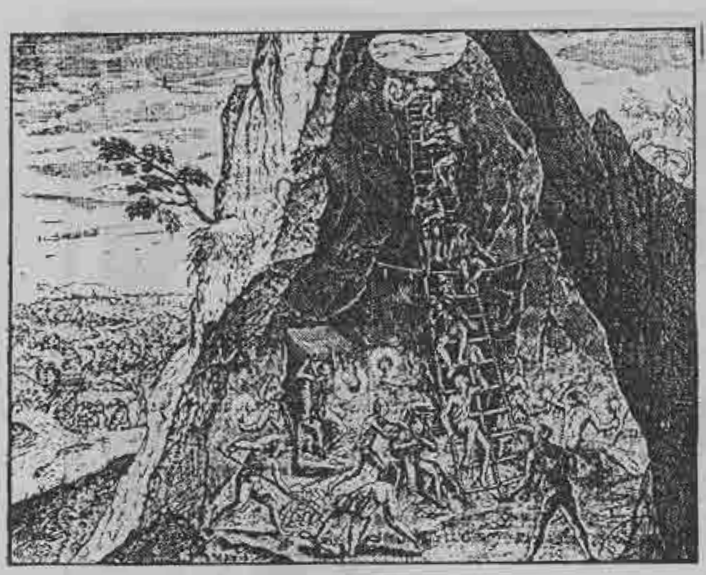
Echelles

Les échelles, il en existe une grande variété, ont été et sont toujours d'un emploi universel pour aller rejoindre certains antres du globe comme pour en revenir.

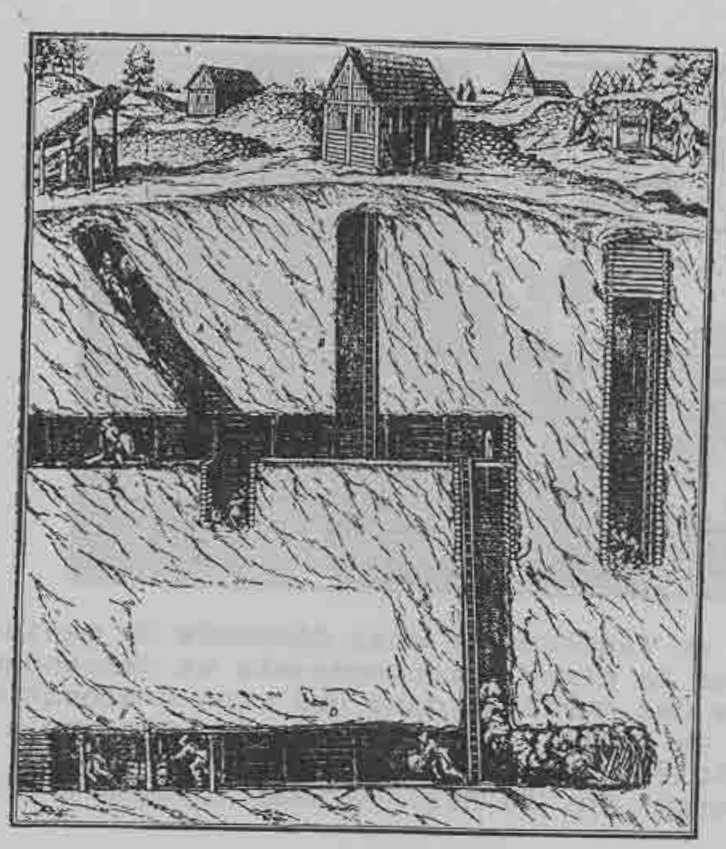
A partir des plus simples qui n'étaient que des troncs d'arbres munis d'encoches, on en construisit de perfectionnées en bois, en corde (chanvre, lianes, manille, etc.), en métal. Au Pérou, par exemple, où durant l'occupation espagnole (XVIe siècle) on fit durement travailler les indigènes dans les mines d'or et d'argent, on se servit d'échelles faites de lanières de cuir fortement tendues et disposées de manière à ce que les équipes montantes puissent continuellement se croiser avec les descendantes ce qui permettait d'employer beaucoup de monde à la fois et de gagner des heures.

Au début de l'exploration des grottes on se servit d'échelles rigides et mobiles bien encombrantes. Dans certaines cavernes souvent visitées comme, entre autres, la Glacière de Saint-Georges en Jura vaudois dans laquelle on venait s'approvisionner en glace, de fortes échelles fixes en bois furent réalisées pour en faciliter l'accès. Dans les grottes touristiques de telles installations comprenant également des escaliers et des passerelles sont construites en fer ou en béton. En ce qui concerne les exploitations souterraines actuelles munies d'ascenseurs, les échelles fixes ne sont là que pour prévenir d'éventuelles pannes de la machine ou permettre des sauvetages en cas de nécessité.

En ce qui concerne les échelles de corde, chères aux spéléologues du siècle dernier, E.-A. Martel nous explique qu'il faut adopter les modèles employés par les gymnastes, pompiers



Echelle en lanières de cuir disposée de manière à assurer la circulation montante et descendante continue des ouvriers dans une mine d'argent de Potosi, au Pérou, sous l'occupation espagnole au XVIe siècle.
(D'après Th. de Bry, "Grands voyages", 1629)



Echelles et plan incliné pour descendre dans une mine au XVIe siècle.

(D'après P. Sébillot, 1894)

Au cours de leurs premières explorations, Edouard Martel et ses compagnons utilisaient à la fois des échelles rigides et des échelles de cordes. On devait faire appel à de nombreux aides pour assurer la sécurité du spéléologue.

(D'après M. Siffre, "Grottes, gouffres et abîmes", 1981)

et ravaleurs de façades, en câbles faits de textiles de 16 mm de diamètre à barreaux de bois (les barreaux de corde étant fort incommodes) avec noeud d'arrêt en dessus et en dessous de chaque barreau et pesant un kilo par mètre courant. On en variera, dit-il, les longueurs par sections de 5 à 30 mètres, rajoutées bout à bout selon les éventualités. C'est avec de tels engins que le spéléologue de chez nous Georges Amoudruz et ses camarades du renommé "Club des Boueux", au début de leurs fameuses enquêtes souterraines, se rendirent au fond de nombreux avens de la Haute-Savoie, et notamment au Trou du Diable (Salève) pour lequel ils emportèrent une pleine voiture de ces volumineux cordages !

Parlant des échelles de bois que l'on emportait en ces temps-là, Martel considère comme indispensables celles qui, extensibles, peuvent atteindre 8 m de longueur. "Leur grand avantage est de pouvoir flotter sur l'eau, ce qui permet de les remorquer facilement sur les lacs et cours d'eau hypogés. D'autre part, l'explorateur peut s'y cramponner en cas de naufrage".

Maintenant, nous l'avons vu, bien que fiable tout ce matériel lourd et encombrant a été remplacé par de légers agrès inventés par Robert de Joly, président-fondateur de la Société Spéléologique de France. Les barreaux en alliages légers sont fixés à des câbles d'acier de 3 mm de diamètre. Les échelles livrées en sections de dix mètres prennent fort peu de place et ne pèsent guère plus d'un kilo (au lieu de 10 kg pour une même longueur d'échelle de corde).

Ces éléments, conçus pour les spéléologues, n'ont pas tardé à trouver également un emploi pour l'exploration de puits pro-

Avant l'emploi des agrès en alliage léger inventés par R. de Joly au cours des années 1930, les explorateurs d'abîmes utilisaient les lourdes et encombrantes échelles de corde des entrepreneurs jugées plus fiables que les cordes à noeuds. Mais le transport de ces engins n'était pas sans problème !

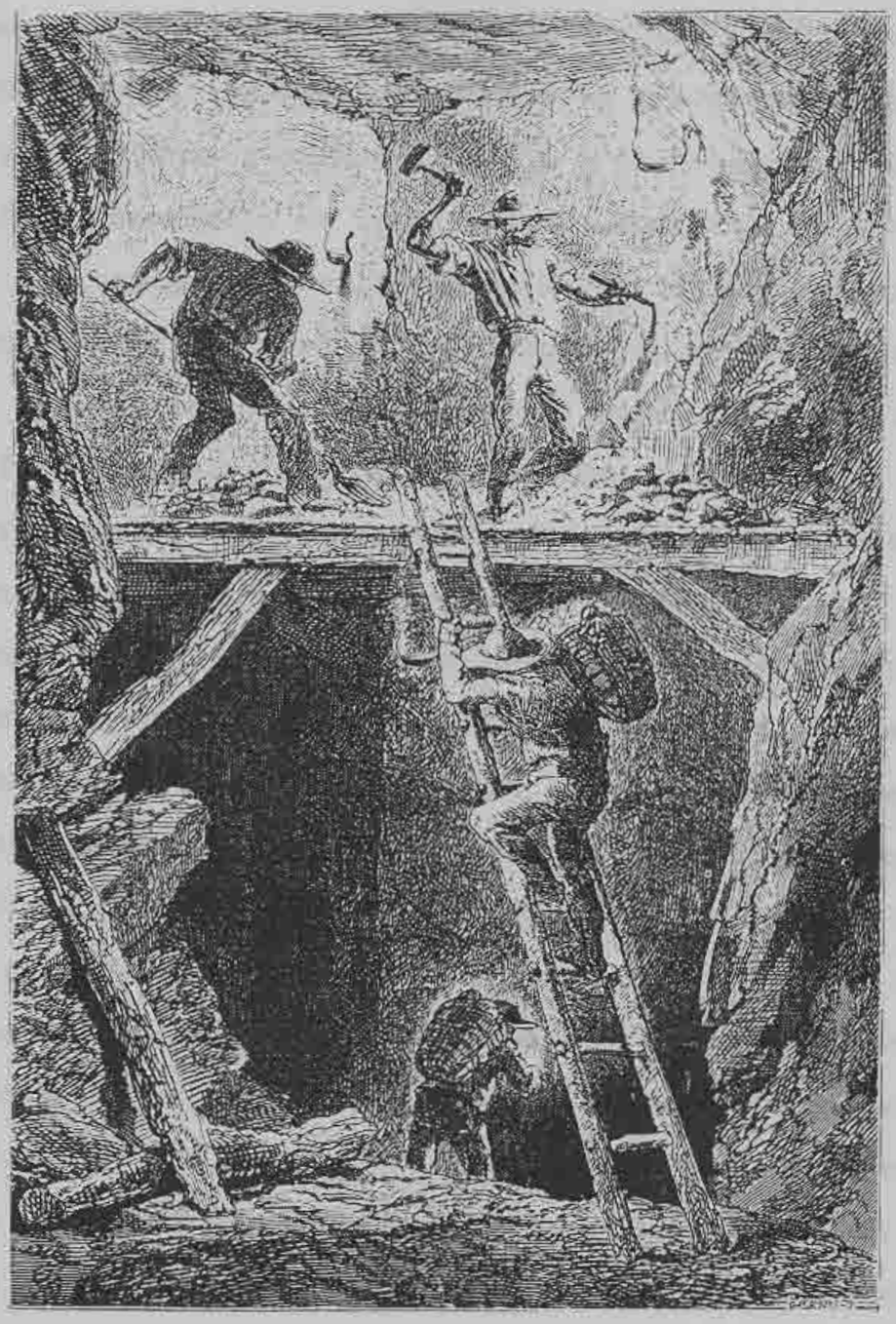
L'imposant matériel destiné à l'exploration du Trou du Diable (Salève).
(Photo G. Amoudruz)

La descente, en 1930, dans l'aven de Bellevue près de Monnetier (Salève) au moyen de cordes et d'échelles d'entrepreneur.
(Photo G. Amoudruz)

fonds et d'anciennes mines abandonnées dont on cherche à savoir si la possibilité d'une reprise pourrait se montrer rentable à la suite de procédés modernes d'extraction et de traitement des minerais.

Pour atteindre certains passages surélevés à l'intérieur d'une caverne les spéléologues se servent aussi , en guise d'échelle, de simples troncs d'arbre auxquels on avait laissé des tronçons de branches faisant office de marchepieds. Ces explorateurs en abandonnèrent parfois au fond de grottes où on les retrouve en train de se se décomposer lentement... la spéléologie moderne a remplacé ces bois lourds et peu commodes à transporter par des mats métalliques démontables s'emboîtant les uns dans les autres, faits d'alliages légers et pouvant être maintenus par des haubans.

Avancement et exploitation dans une galerie au moyen de la désagrégation des roches par le feu.
(D'après Agricola, 1556)

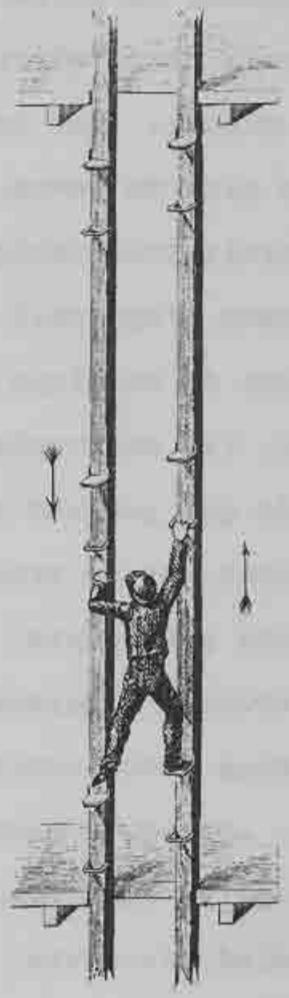


Le transport à dos d'homme du minerai par échelle mobile de palier en palier jusque vers le puits d'extraction.

(Gîte de cuivre de Campiglia en Toscane vers 1850)

Echelles à vapeur

Toujours pour faciliter le mouvement des ouvriers en augmentant le rendement on eut recours aux "échelles à vapeur". Dans son ouvrage sur "La vie souterraine", L. Simonin nous donne une description de ces curieux engins: ..."Ces échelles ont pris naissance, il y a une trentaine d'années, dans les mines métalliques profondes du Harz, en Allemagne, et de là sont passées sur celles du Cornouailles en Angleterre, puis sur les houillères de Belgique et de France. Aujourd'hui (1867), nombre de mines les emploient. On les appelle "fahrkunst" (en allemand, chemins artificiels ou mécaniques), "men engines" (en anglais, machines à hommes), ou "warocquères", du nom de l'ingénieur belge Warocqué qui les a perfectionnées. Les ouvriers français les désignent sous le nom de "machines à monter". Le principe en vertu duquel ces échelles fonctionnent, selon qu'elles sont établies sur un puits incliné ou vertical, est le suivant: si l'appareil est double, c'est-à-dire à deux échelles, imaginez deux fortes tiges parallèles, munies de distance en distance de marchepieds. Par le jeu de la machine motrice installée à l'orifice, une des tiges s'élève, l'autre s'abaisse d'une certaine amplitude, deux mètres par exemple. Survient un très-petit temps d'arrêt. L'ouvrier passe alors immédiatement du marchepied sur lequel il est sur le marchepied vis-à-vis. Nouvelle oscillation, cette fois en sens contraire, nouveau mouvement du mineur. On comprend que de cette façon, si l'ouvrier descend ou monte, il s'abaisse ou s'élève de deux mètres à chaque oscillation et sans fatigue; le seul mouvement qu'il ait à faire n'est qu'un mouvement latéral à chaque temps d'arrêt. Bientôt il atteint le fond ou



Pour parer aux inconvénients des échelles fixes, des Allemands inventèrent vers 1840, pour leurs mines du Harz, un curieux système d'échelles mobiles mues grâce à une machine à vapeur installée à la surface.

(D'après L. Simonin, 1867)

Echelle à vapeur donnant accès à des paliers successifs dans un puits de mine.

(D'après L. Simonin, 1867)

le sommet du puits, en dix minutes, par exemple, si le puits a trois cents mètres et si la machine fait quinze oscillations par minute. Par les échelles fixes, il faudrait deux ou trois fois plus de temps, sans arrêt à aucun étage, et l'ouvrier arriverait très-fatigué.

Dans l'appareil de M. Warocqué, le plus commode qui existe, et qui de Belgique est passé en France, notamment à Rive-de-Gier, les marchepieds sont remplacés par des paliers à balustrade qui peuvent recevoir deux hommes. L'amplitude des oscillations est de trois mètres, et celles-ci varient de douze à quinze par minute. Une vingtaine d'ouvriers peuvent à la fois se trouver répartis sur les divers paliers, sans inconvénient.

Nous avons expliqué le mécanisme de l'échelle mobile double. Quand la machine est simple, ce qui a lieu surtout dans les puits inclinés, on passe de l'échelle mouvante sur un marchepied vis-à-vis, fixé aux parois du puits. On s'y tient debout, et l'on attend une nouvelle oscillation pour prendre le palier de l'échelle. Il ne faut pas d'hésitation. Si la place est déjà occupée sur l'échelle ou le marchepied fixé contre le puits, par exemple par un ouvrier qui monte quand on descend, on doit rester prudemment à sa place, en attendant une seconde pulsation. Le moindre embarras peut causer le plus grave malheur, et la machine brutale, dans son mouvement subit de retour, vous broyer sur le coup ou vous briser un membre..."

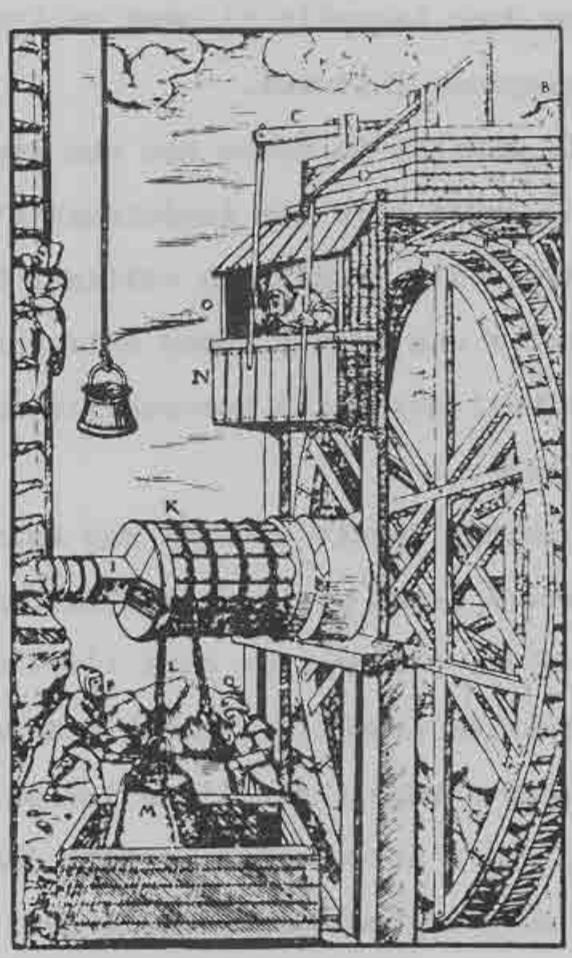
Toujours plus profond !

Pour voyager au "centre de la Terre", un treuil peut s'avérer indispensable. Cet engin, une très ancienne invention de l'Antiquité et perfectionnée par les Romains sert à élever ou à tirer des objets lourds en se servant d'un cylindre que l'on fait tourner à bras d'homme ou avec des moyens mécaniques et autour duquel s'enroule une corde permettant de hisser des fardeaux. Pour les matériaux très denses, et jusqu'à l'invention de la machine à vapeur (XVIIIe siècle) on se servit de la force musculaire humaine grâce à des manivelles ou en faisant aussi monter des manoeuvres dans une grande roue, ou en travaillant de la même façon avec un cheval se comportant, toutes proportions gardées, comme l'écureuil auquel on donne une cage mobile et tournante dans laquelle il peut se livrer "pour s'amuser" à des galopades infinies.

Dans l'industrie minière du Moyen Age non seulement ces procédés furent conservés mais des ingénieurs n'hésitèrent pas, lorsque l'endroit s'y prétait, à utiliser la force hydraulique pour mouvoir une roue à aubes entraînant le cylindre (tambour) du treuil destiné à remonter le minerai hors des puits d'extraction.

Ce curieux dispositif décrit en 1556 par Agricola ("De re metallica") consiste à faire arriver de l'eau dans un canal en bois au-dessus d'une grande roue dont l'axe surmontant le puits sert de tambour au treuil. A cette grande roue sont adaptées deux rangées d'aubes: sur l'une les pales sont tournées dans un sens, sur l'autre elles le sont dans le sens opposé. Le préposé au fonctionnement, posté dans une guérite dominant de haut l'entrée du puits de mine afin de contrôler

Hommes faisant tourner la roue d'une "machine pour des cendre dans les mines". (D'après Oleüs Magnus, XVIe siècle, in Sebillot)



Moteur hydraulique d'extraction.
(D'après Agricola, 1556)

Treuil à manivelle au-dessus d'un puits de mine.

(D'après Agricola, 1556)

Manège à bras pour treuil d'extraction.

(D'après Agricola, 1556)

la marche des bennes, dispose de deux commandes de vannes s'ouvrant dans le fond du canal d'amenée et correspondant aux deux rangées d'aubes. Il peut ainsi faire fonctionner la roue soit dans le sens de la montée de la benne pleine de minerai, soit pour sa descente lorsqu'elle est vide. Placé sous la roue, un canal de fuite emporte l'eau au loin afin qu'elle ne pénètre pas dans la mine.

Ailleurs, la mise au point des manèges horizontaux à double tournant utilisant des engrenages dits à lanterne (ou d'angle) mûs par des hommes ou des chevaux a été un grand progrès pour faciliter la marche des machines d'extraction. Un tel manège était relié au tambour du treuil par une transmission composée d'un pignon de bois et d'une roue dentée en bois également.

Et pendant plus de 2000 ans, pour pénétrer dans les entrailles de la terre, il fallut bien se contenter de ces procédés qui ne furent que peu améliorés au cours des siècles, et cela jusqu'à l'invention de la machine à vapeur...

En 1689, l'anglais Savery imaginait ce qu'il appela une "pompe à vapeur". Ce système consistait à utiliser la pression de la vapeur pour élever l'eau d'un réservoir en ouvrant et en fermant alternativement les robinets commandant l'admission du fluide sur la nappe d'eau tout en se servant d'un jeu de soupapes. En 1705 il s'associa avec les mécaniciens Newcomen et Cauwly. A eux trois ils réalisèrent une machine à vapeur rudimentaire qui ne devint réellement opérationnelle qu'à la suite des transformations que lui apporta quelques années plus tard l'ingénieur écossais James Watt. La machine à vapeur fut tout d'abord consacrée uniquement à l'industrie

Embarquement dans une tonne et départ pour le fond d'un puits de mine. Un câble tendu sert de guide auquel on se tenait à la main au cas où la cuve viendrait à se balancer dans le vide.

(Mines du Creusot, XIXe siècle)

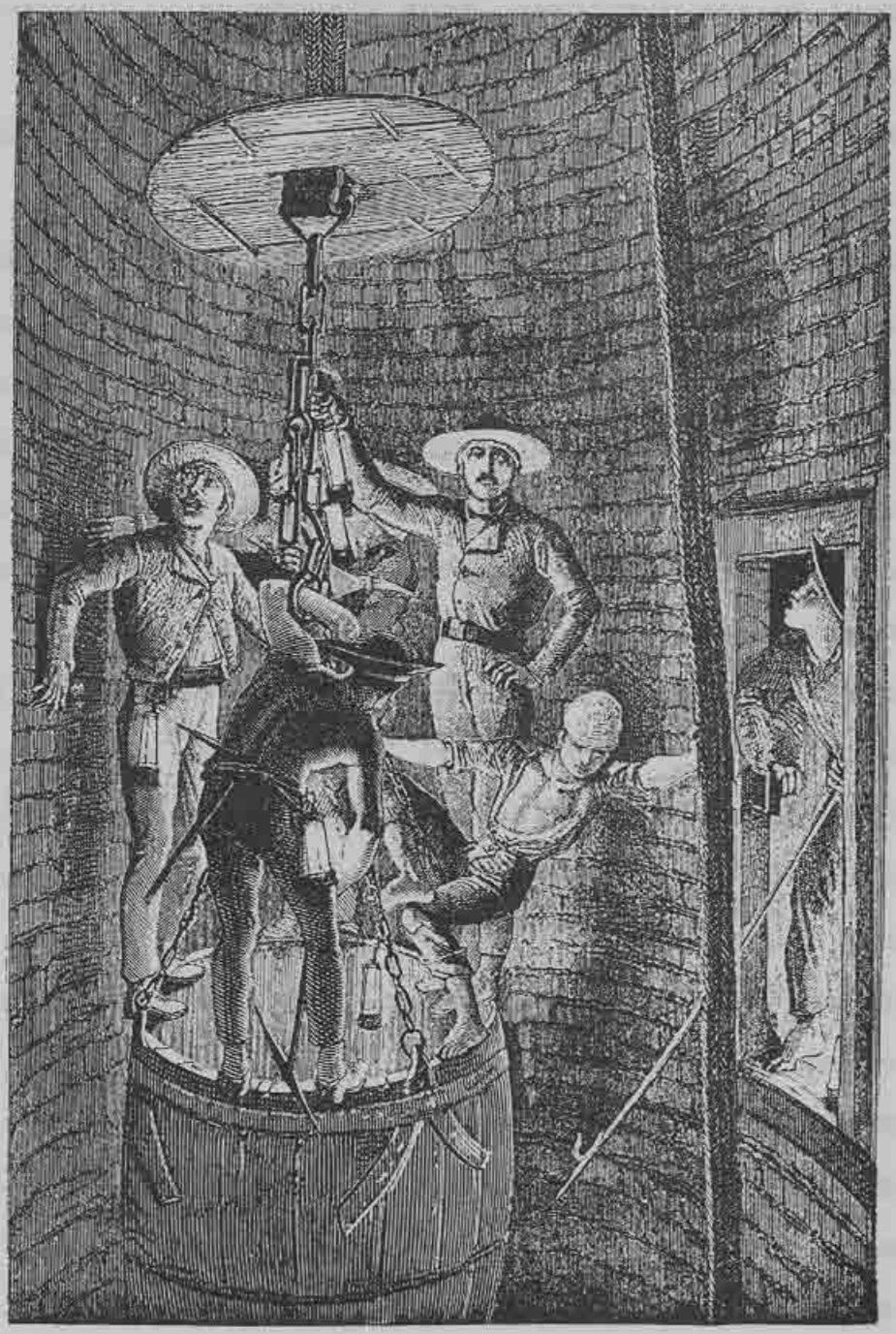
A la suite d'une brusque secousse du câble porteur, le tonneau d'un ingénieur des Mines de Méons (Loire) se renverse...

(Gravure sur bois, 1867)

minière en vue de l'exhaure des eaux stationnées au fond des gisements. Mais rapidement la nouvelle énergie va trouver de nombreux emplois et notamment, toujours pour les mines, elle sera utilisée pour le fonctionnement de grands et rapides treuils d'extraction.

Les spéléologues, eux aussi, vont se servir de treuils pour aller visiter les grands puits que sont les abîmes ouverts dans l'écorce terrestre par la nature. Il existe une grande variété de ces appareils car ils sont pour ainsi dire imaginés et construits en vue d'une expédition particulière en tenant compte des problèmes de transport et de la nature du trou à explorer. Certains utilisent la force motrice d'un moteur thermique ou électrique, mais la plupart, plus légers et plus simples font appel à l'énergie humaine (treuils à manivelle, à pédales ou les deux).

Les puits de mine les plus profonds dépassent souvent le kilomètre, le record étant de nos jours détenu par la mine d'or Western Deep Levels à Carletonville en Afrique du Sud avec ses 3582 mètres !... Tout au long du Moyen Age le muraillement destiné à soutenir les parois des puits a été réalisé en bois. Plus tard on a utilisé des moellons et des briques, puis le fer et le béton firent leur apparition. Enfin, pour traverser des terrains instables soumis à de fortes pressions on eut recours à des cuvelages en acier. Dans les mines profondes il a été prévu d'ouvrir plusieurs puits, les uns destinés au mouvement du personnel et des minerais, d'autres servant à l'aération ou à l'évacuation des eaux. Ces derniers sont les plus bas car ils récoltent dans leurs puisards la totalité des eaux souterraines qui circulent d'étage



La descente au treuil dans un profond puits de mine de la région du Creusot au siècle dernier. Les occupants de la cuve sont protégés contre les chutes de pierres par un disque en bois. Un gamin maintient la cuve le long d'un guide pour l'empêcher de se balancer, tandis qu'un autre, à l'étage désiré (ici à 200 mètres de la surface) s'apprête au moyen d'une gaffe à attirer les voyageurs auprès du palier demandé.

Plus tard, vers la fin du siecle, l'usage des cages-bennes de mine glissant ou roulant sur des guides, rails verticaux les maintenant en place, va peu à peu se généraliser.

(D'après L. Simonin, 1867)

en étage au travers de toute l'exploitation. L'enlèvement continuel de ces dernières, nous l'avons vu, a toujours représenté de très grandes difficultés pour les mineurs jusqu'à la mise en service des puissantes pompes refoulantes modernes.

Avant l'invention, en 1833, des cages guidées sur rails, ascenseurs de plus en plus rapides des exploitations souterraines, les hommes et les minerais empruntaient de grands tonneaux (cuves ou tonnes) suspendus au câble du treuil; ceux-ci étaient surmontés d'un disque en bois pour protéger les occupants des chutes de pierres ou de matériaux. Un gamin maintenait la cuve le long d'un guide pour l'empêcher de se balancer dans le vide. Arrivée à l'étage désiré, un jeune apprenti attirait celle-ci vers le palier au moyen d'une gaffe. Chutes dans la nuit ou collisions entre tonnes montantes et descendantes étaient des accidents qui pouvaient arriver trop souvent...

Lors de l'exploration de grands gouffres un inconvénient bien connu des spéléologues était la mise en rotation de la charge suspendue au câble du treuil. C'est la raison pour laquelle on a été amené à construire des câbles antigiratoires en modifiant l'enroulement des torons.

C'est en Europe que se trouvent les plus profonds abîmes naturels étudiés à ce jour. C'est ainsi que le Gouffre Jean-Bernard, dans la commune de Samoëns en Haute-Savoie a une dénivellation de 1490 m. En Espagne, au Sima de Las Puertas de l'Illamina on descend à 1398 m sous terre. La célèbre Pierre-Saint-Martin, dans les Pyrénées, à la frontière franco-espagnole, s'enfonce à 1360 m au-dessous de la surface. En Au-

Rencontre de deux cuves montantes chargées de houille d'une mine de Saint-Etienne avec celle, descendante, dans laquelle avaient pris place deux hommes. Elle se détacha sous le choc, mais les occupants réussirent à se cramponner au câble.

(Gravure sur bois, 1867)

triche, le Mammuthöhle est à -1175 m, tandis que le gouffre Berger, dans l'Isère, atteint la cote de -1141 m. La Suisse possède le plus long réseau souterrain de l'Europe (139 km et demi dans le canton de Schwyz), deuxième dans le monde, le gigantesque Mammoth cave system (Kentucky, U.S.A.) se développant sur 306 km ! Par contre, le plus profond gouffre helvétique connu à ce jour n'atteint pas encore le kilomètre: - 860 m dans le réseau des Siebenhengste.

On constate, par ces lignes, que les hommes ont, dans un but industriel, réussi à s'enfoncer eux-mêmes et artificiellement plus profondément dans le sol qu'on a pu le faire jusqu'ici dans les cavités naturelles...

Descente, au siècle dernier, au moyen d'une simple corde enroulée sur le tambour d'un treuil primitif.

(Gisements de cuivre-étain du Cornouailles)

Quand il faut absolument passer...

Dans le Grand Nord, les prospecteurs d'or doivent foncer des puits dans des alluvions gelées pour en étudier les teneurs en minerais. Ne disposant pas de moyens mécaniques puissants, ils allument des feux aux endroits propices, creusent, puis recommencent un foyer et ainsi de suite jusqu'à la profondeur désirée.

Mais il est d'autres cas où, au contraire, il faut se servir du gel pour traverser des terrains aquifères instables. Nous avons eu le privilège en tant que jeunes étudiants de prendre connaissance, en Belgique, d'une grande première de l'emploi de ce système alors révolutionnaire en ce qui concerne les mines très profondes. Il s'agit du riche gisement de charbon de Beeringen, dans la Campine belge, situé à plus d'un kilomètre sous terre.

Le gisement ayant été soigneusement délimité par des sondages nombreux, il fut décidé de construire un grand puits de 6 m de diamètre utile, ce dernier devant assurer les services de l'exploitation.

Les roches stériles rencontrées se composent, de haut en bas, de 378 m de tertiaire formé d'une succession de bancs de sable et d'argile; puis de 244 m de crétacé composé de craie plus ou moins compacte et aquifère ainsi que de marnes imperméables. Jusqu'à cette profondeur de 622 m tout alla bien et le puits fut revêtu de cuvelages assurant sa solidité.

Mais à partir de ce niveau, impossible de creuser plus bas ! On était arrivé à une couche de sables boulants qui comblaient immédiatement les moindres trous qu'on essayait d'y faire...

Les sondages avaient bien montré la présence de ces sables

sur une épaisseur de 14 m, mais il n'avaient pu indiquer leur nature fluante. Sur place, au fond du trou, des essais montrèrent que cette couche croulante était en plus soumise à une pression de 63 atmosphères ! Il était donc absolument exclu de pouvoir y travailler...

Et pourtant il fallait passer si l'on voulait atteindre le charbon ! Que faire ? Les travaux furent interrompus et la Société chargea son directeur technique, M. Louis Sauvestre, ingénieur des mines, de trouver une solution.

Ce dernier décida de procéder à une congélation de la couche de 14 m. Le système consistant à geler des couches aquifères profondes est en effet utilisé pour de nombreux travaux souterrains et notamment dans le cas des sondages pétroliers. Mais on ne savait pas encore si un terrain gelé sur un si grand pourtour résisterait à la pression au moment où on se mettrait à le creuser au moyen d'explosifs. D'autre part, on n'avait encore jamais monté une installation frigorifique à une pareille profondeur...

Une série d'expériences démontra que la résistance du sable gelé croît avec l'abaissement de la température: à -10 degrés il faut une pression de 40 kg pour le déformer, tandis qu'à -25 degrés cette pression doit atteindre 80 kg.

Munis de ces renseignements, les hardis ingénieurs entreprirent ce travail gigantesque, tenté pour la première fois à une telle profondeur, de geler un terrain instable afin de le traverser avec un grand puits. On décide d'envoyer le froid au travers de 60 sondages forés autour et au milieu du puits, à la profondeur de 622 m, et au fur et à mesure que les sables gèleront, les ouvriers installés au fond l'approfondiront et

placeront les cuvelages de mètre en mètre. Il a été prévu que ces travaux dureront 100 jours, au cours desquels les hommes seront environnés de parois ne demandant qu'à s'écraser sur eux. Mais tous avaient confiance en leurs ingénieurs qui étaient continuellement avec eux et personne ne se déroba à l'ouvrage.

Les 60 sondages furent effectués et l'on procéda à la pose des tuyaux congélateurs à l'intérieur des tubes de sonde. Puis on essaya l'étanchéité absolue des tubes congélateurs: si les saumures pénétraient dans le terrain il ne serait plus possible de le geler ! Les joints subirent une pression de cent kilos qui démontra qu'ils étaient tous bons.

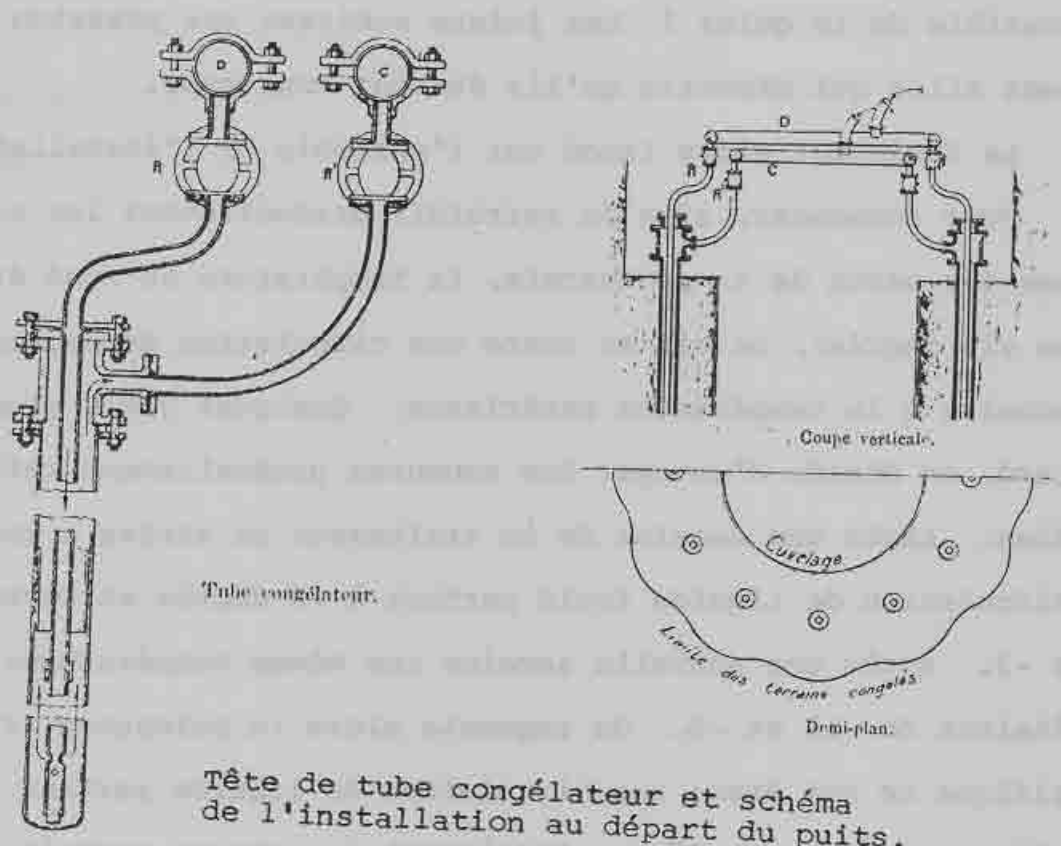
Le froid fut alors lancé sur l'ensemble de l'installation...

Pour commencer, afin de refroidir graduellement les colonnes (en vertu de la géothermie, la température au fond était de +25 degrés), on mit en route une circulation de saumure soumise à la température extérieure. Quelques jours plus tard, on décida d'envoyer des saumures graduellement refroidies. Après une semaine de ce traitement on arriva à une circulation de liquide froid partant à -6 degrés et revenant à -3. Après une nouvelle semaine ces mêmes températures étaient de -11 et -8. On augmenta alors la puissance frigorifique ce qui donna une circulation de liquide partant à -20 et revenant à -17,9. Finalement la saumure partait à -30 pour revenir à -29,5.

Alors le creusement put débuter. Le terrain gelé était aussi dur que roche et pouvait se travailler aux explosifs. Peu à peu le percement se poursuivit et le cuvelage fut posé mètre par mètre tandis qu'on maintenait le courant froid à

-30. Et c'est ainsi qu'on passa la fameuse couche et l'on atteignit des schistes solides: le creusement pouvait continuer sans risques.

Une solide armature métallique, devant protéger le dangereux passage en résistant à la libre poussée des sables, fut installée. On cessa alors la circulation de saumure et on démonta l'installation frigorifique. Et comme nous avons pu le constater nous-mêmes, ça tient très bien !



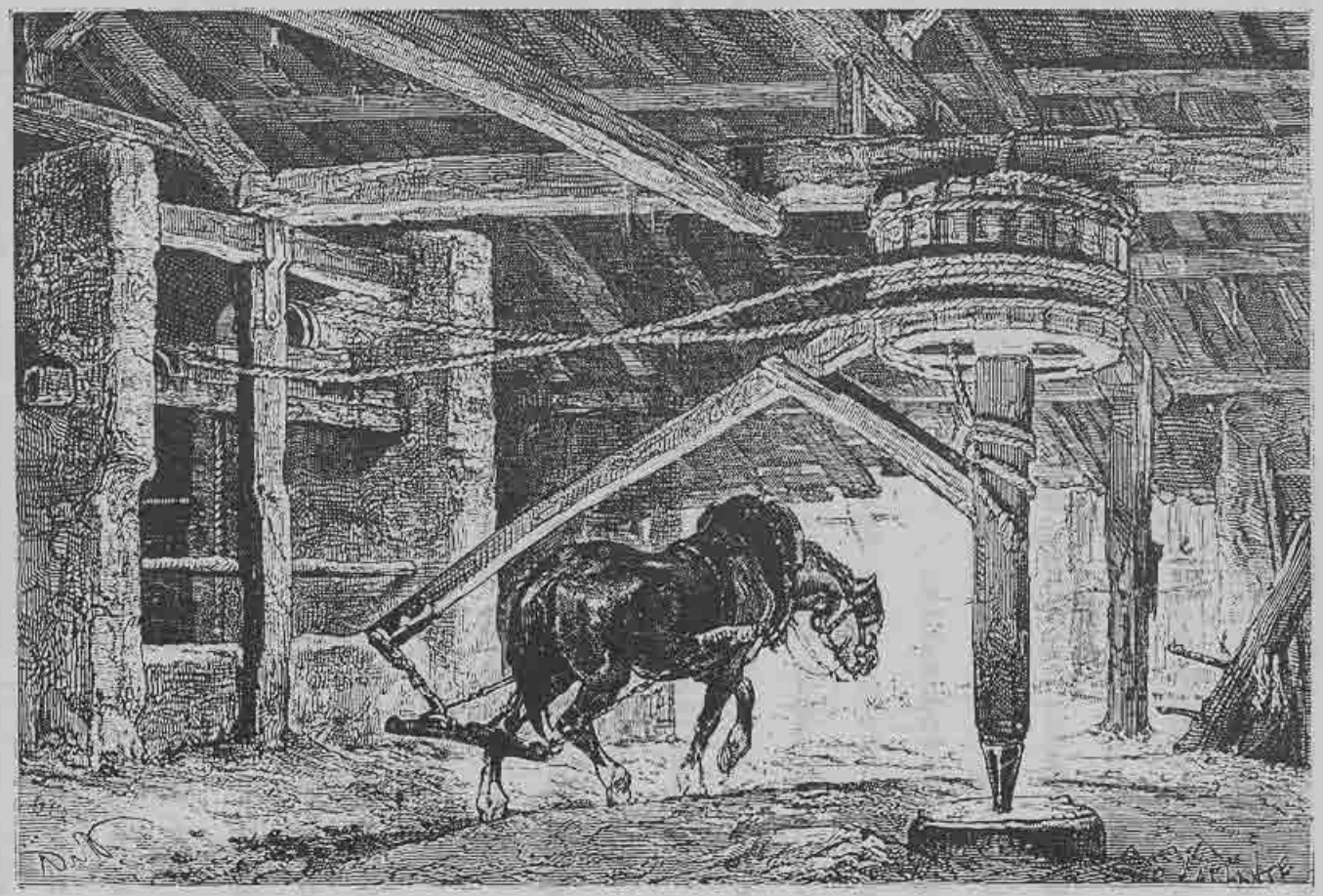
Tête de tube congélateur et schéma de l'installation au départ du puits.

Le problème de l'énergie

Dès que l'homme, il y a bien des milliers d'années, s'est occupé d'obtenir d'une façon régulière les produits du sol pour son alimentation et du sous-sol pour son industrie naissante, il a dû faire appel à une énergie étrangère de plus en plus importante pour suppléer à celle de sa seule force musculaire. Alors ce sont les esclaves qui furent asservis à ces nécessités nouvelles ainsi que les animaux que l'on avait pu contraindre à fournir une part toujours plus grande à cette énergie indispensable.

Le principal effort demandé étant la traction de lourdes charges, on utilisa aussi bien le cheval que les bovidés. Le chien, bien que plus faible dut aussi contribuer à ce travail et cela particulièrement dans nos Alpes. Nous nous souvenons avoir vu bien souvent en Oberland bernois de gros chiens, notamment de la race Saint-Bernard, Pyrénées ou berger bernois, tirer de petits chars remplis de récipients de lait. L'âne et le mulet furent également sollicités, mais principalement pour le portage et surtout en ce qui concerne ce dernier, dans les régions montagneuses.

Pour récupérer l'énergie qu'est susceptible de fournir un cheval, il a été nécessaire d'inventer et de réaliser un attelage, objet qui nous paraît bien simple mais qui a demandé des millénaires pour devenir vraiment opérationnel. Curieusement, en effet, malgré les siècles au cours desquels l'imagination des hommes s'est donnée libre cours, sans toujours réussir il est vrai du premier coup, il n'a été trouvé au sujet du problème de l'attelage que deux solutions pour cap-



Dans les exploitations souterraines de la région Rhône-Alpes les tonneaux de minerai attachés à des câbles ronds, en chanvre, étaient remontés du fond de la mine au moyen du "baritel" , sorte de treuil primitif entraîné par un manège mû par un cheval souvent aveugle : un système imaginé au Moyen Age et qui dura jusqu'au XIXe siècle...

(D'après une gravure sur bois, 1867)

ter la force du cheval: l'antique et la moderne.

Un attelage, nous définit le commandant Levebvre des Noëttes consiste en un harnachement composé d'appareils de traction, de gouverne, de reculement, de conduite et de protection des pieds. Les attelages antiques ne captaient qu'une faible partie de la force de l'animal car dans certains cas le collier de l'harnachement plaquait sur la gorge, la comprimait, génant la respiration, obligeant le cheval à relever instinctivement la tête pour tendre les muscles de la gorge. "Or cette attitude redressée est la plus défectueuse que le cheval de trait peut prendre car elle rejette son centre de gravité en arrière, l'empêchant d'utiliser son poids pour tirer". Dans ces conditions, cet étrange collier ne pouvait capter la force motrice du cheval que dans une infime proportion.

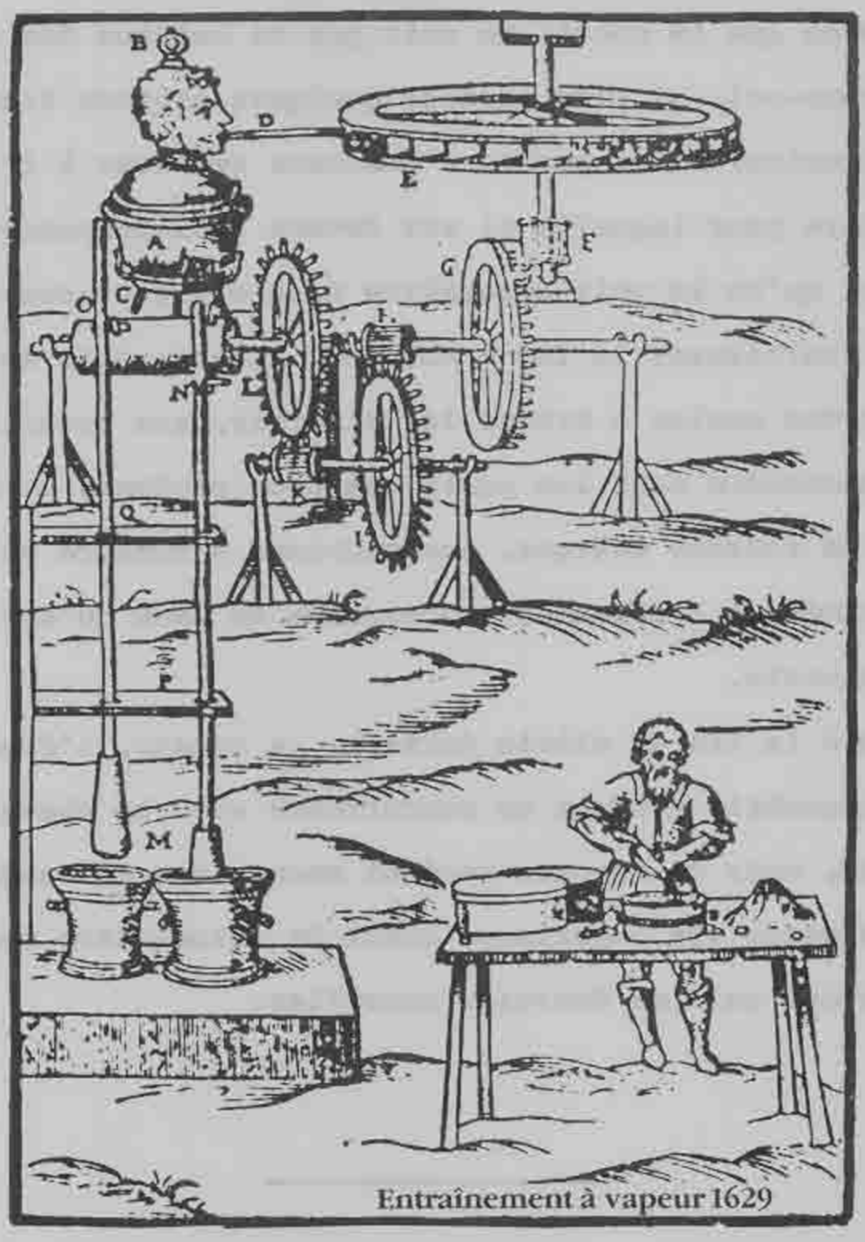
Cependant les Anciens trouvèrent aussi une nette amélioration à ce système. Elle consista à obtenir du cheval une traction plus convenable grâce à une courroie de poitrail ne faisant plus pression sur la gorge. Dans ses "Etudes expérimentales sur l'attelage" (1981), J. Spruytte estime que ce procédé était le plus courant et que la faible énergie fournie par les équidés provenait avant tout de leur petite taille (1,25 m environ) et ce ne sera, dit cet auteur, que vers les Xe et XIe siècles que les utilisateurs comprendront enfin que la puissance de traction dépendait surtout du poids de l'animal.

On se contenta de cette misérable puissance de traction durant plus de 3.000 ans ! Ce ne sera donc qu'au Moyen Age que les anciens systèmes seront enfin transformés grâce à la

création de collier d'épaule qui prend son appui sur la base des omoplates du cheval et permet ainsi de prendre toute la force de l'animal en décuplant son rendement. C'est, avec l'emploi d'animaux plus lourds, cette invention qui aurait permis la disparition progressive de l'esclavage, la force motrice humaine étant alors irrésistiblement dépassée par celle du cheval. Remarquons à ce propos qu'à la suite de leur conquête de l'Amérique du Sud les Espagnols constatèrent l'absence du cheval dans ce continent. Désireux cependant d'exploiter rapidement les immenses richesses minières de ces pays, il leur fallait pour cela pouvoir disposer de la force motrice indispensable pour exécuter dans de bonnes conditions certains travaux et les transports nécessaires. N'ayant pas trouvé d'animaux dans ce but, ils s'emparèrent des indigènes et les soumirent à des travaux forcés si durs que ces populations ne tardèrent pas à être décimées. C'est alors qu'en 1517 Charles Quint autorisa le recrutement et le transport des nègres d'Afrique jugés plus résistants...

Dans l'Europe de Moyen Age, grâce au manège et à des jeux d'engrenages, le cheval va pouvoir transmettre son énergie au loin pour actionner des meules, norias, treuils, etc. dans des conditions de force et de durée bien meilleures qu'autrefois. C'est naturellement aussi les travaux de l'agriculture, de même que les transports, qui profitèrent largement du procédé actuel d'attelage, de nouvelles techniques de roulement et de chevaux sélectionnés permettant une si nette amélioration du rendement énergétique de l'animal. C'est ainsi que se développa de plus en plus l'emploi des chevaux pour les labours, le hersage, le battage par des grosses moisson-

Une nouvelle énergie va bientôt naître... Mais durant longtemps encore hommes, enfants et chevaux ne pourront être remplacés !...



Entraînement à vapeur 1629

Dès le début du XVIIe siècle on eut beaucoup d'idées en ce qui concerne les possibilités d'emploi de la vapeur. Nombreux furent les projets qui virent le jour, mais ils étaient irréalisables avec les moyens et les conceptions de l'époque.

En 1629, le physicien Giovanni Branca imagina un système destiné à l'industrie minière pour le broyage des minerais, de même que pour la pulvérisation de n'importe quelle substance. Mais cet original entraînement par jet de vapeur sur une turbine n'aurait pas eu la force de faire mouvoir l'ensemble des engrenages nécessaires au fonctionnement des lourds marteaux du boccardage de durs minéraux.

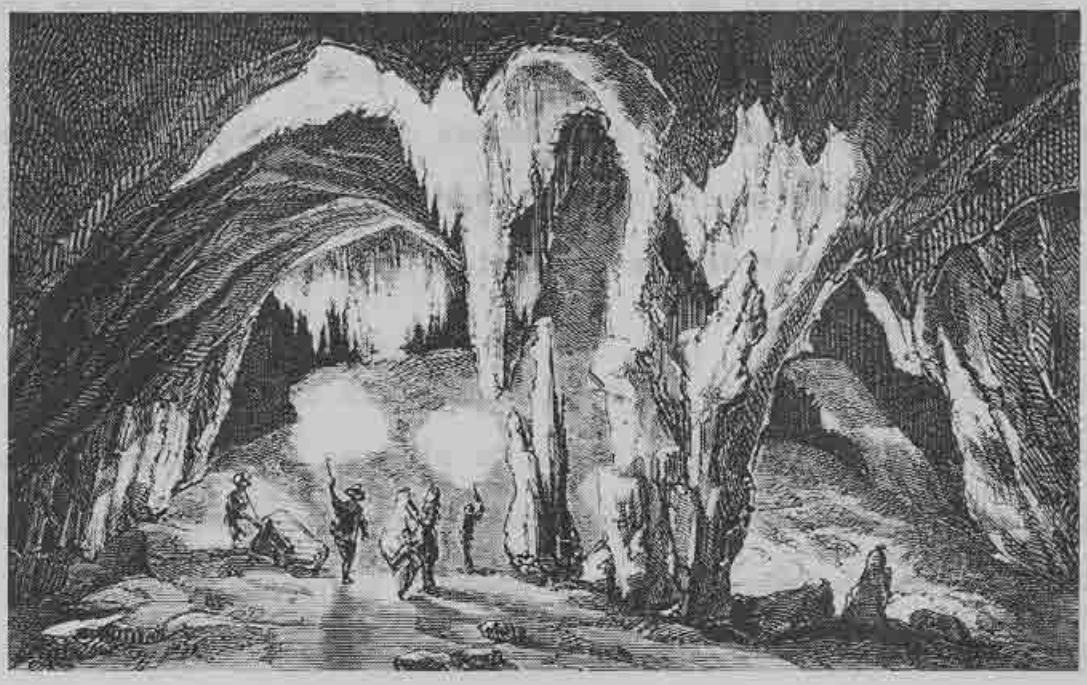
(D'après un dessin de la Rev.Polytechnique, Genève, 25-12-83)

neuses fonctionnant exclusivement avec la puissance animale, la traction de locomobiles et machines à distiller, le halage des bateaux, le transport de matériaux lourds par fardiers et de voyageurs par diligence...

Bien que le cheval ne soit pas un habitué des cavernes et du sous-sol, si l'on excepte quelques grottes transformées en écuries, il va rendre d'immenses services à l'industrie minière pour laquelle il est devenu indispensable. C'est ainsi qu'on le voit apparaître dans des gravures du XVIe siècle fournissant la force motrice indispensable au fonctionnement des meules à broyer les minerais, aux treuils permettant de descendre dans les puits les plus profonds et d'en remonter de lourdes charges, aux machines d'exhaure et à celles destinées à l'aération souterraine de même qu'aux divers transports.

Dès la fin du siècle dernier, la vapeur, l'électricité et l'automobile entrent en concurrence avec le cheval-force motrice, mais ce dernier pendant encore une soixantaine d'années garde son importance avant de disparaître peu à peu remplacé par les énergies nouvelles.

Dans cette caverne, en Franche-Comté, nous dit A. Badin, l'intendant de la province, Toulongeon, donna en 1763 une fête brillante qui se déroula à la lueur d'un grand nombre de torches.



Dans les grottes, et jusqu'au début de notre siècle, pour se diriger et pour admirer on utilisait la lumière des torches, celle des lampes à huile étant beaucoup trop faible. Promenade dans la grotte d'Osselle (Roset-Fluans, Doubs).

Lieu dit "Le Tombeau" dans la grotte d'Osselle.
(d'après les dessins de Camille Soglio, 1870)

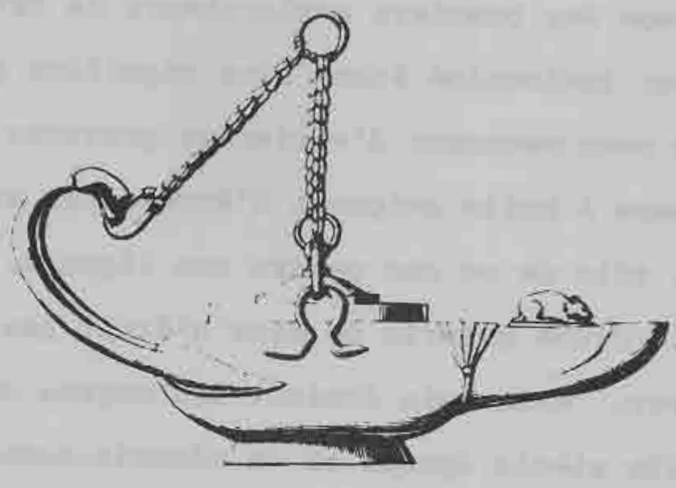
Pour y voir clair...

Pour explorer ou se promener dans le sous-sol, comme pour y vivre ou y travailler, il faut bien sûr de la lumière. Habitant dans des cavernes les hommes de la Préhistoire, dès qu'ils eurent découvert le feu, éprouvèrent le besoin de dissiper les ténèbres de leurs grottes autrement que par les lueurs du foyer.

Torches brûlant de la poix, baguettes imprégnées de résine, récipients grossiers faits de pierres évidées ou de coquilles de mollusques contenant des graisses animales, plus tard lampes en terre cuite alimentées d'huile, furent les premiers luminaires de nos ancêtres. Et c'est aussi avec ceux de ces éclairages les plus primitifs que les Magdaléniens ornèrent, il y a plus de dix-mille années, de splendides peintures le fond de grandes cavernes !

Dans les mines devenant de plus en plus profondes le problème de la lumière était rendu plus compliqué encore du fait du dégagement de poussières provenant de l'exploitation. Au Moyen Age, pour éclairer certains gisements peu profonds on imagina d'y envoyer les reflets du soleil au moyen d'un jeu de miroirs, mais ça n'allait pas très loin et les jours de pluie... Aussi pendant des millénaires l'antique lampe à huile restera la reine de ces antres.

Les bougies de cire employées déjà au temps des Romains étaient réservées aux travaux délicats de la recherche car c'était là un éclairage de luxe. Meilleur marché mais peu pratique était la modeste chandelle de suif faite d'un mélange de graisses solides de boeuf et de mouton auxquelles on ajoutait parfois des résines. Remarquons que les bougies de



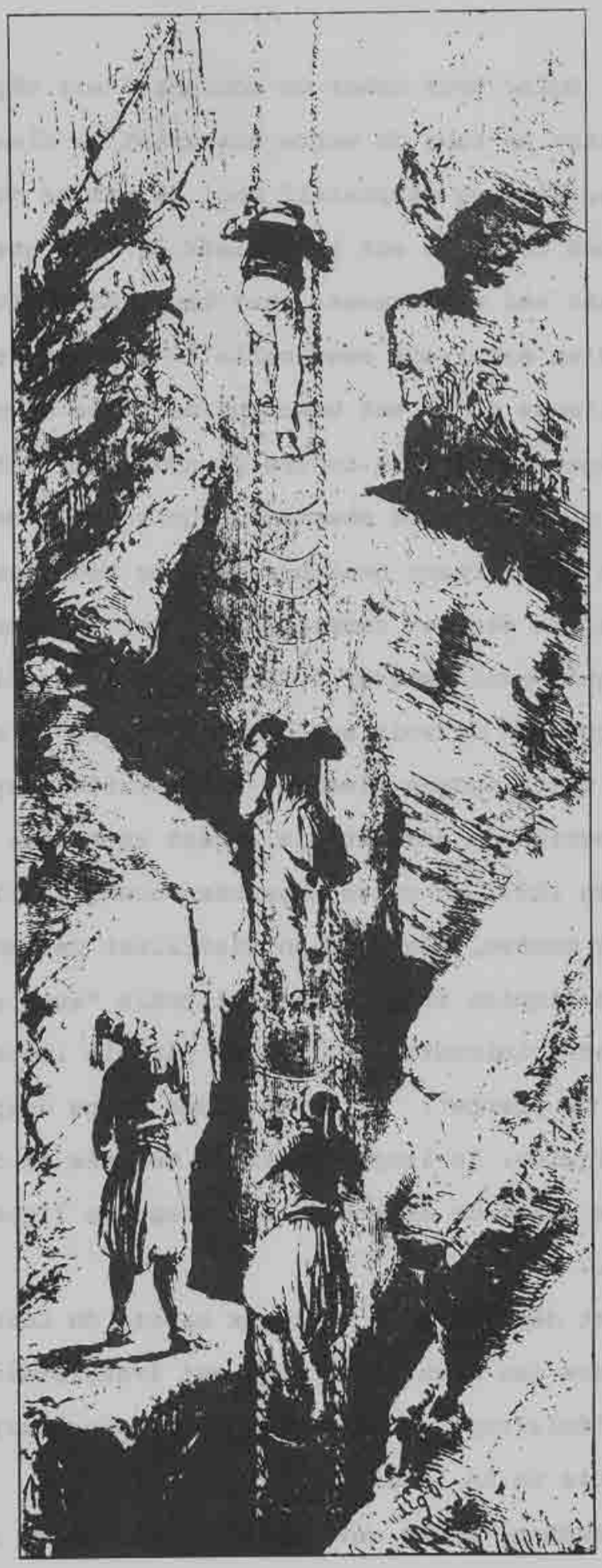
Lampe romaine à huile. Toutes ces lampes dont le principe resta le même durant des siècles, fonctionnent à l'huile végétale. La mèche est simplement inserrée dans le bec.

L'éclairage à l'huile a été utilisé dans les mines jusqu'à l'invention des lampes à acétylène (1892).

stéarine apparues bien plus tard ont joué un grand rôle dans l'éclairage des premiers explorateurs de cavernes et de gouffres, leur luminosité étant plus régulière que celle des torches que nous montrent d'anciennes gravures de grottes.

La lampe à huile exigeait d'être posée sur un support horizontal afin de ne pas perdre son liquide, ce qui au front de taille d'une galerie de mine n'était pas toujours facile à réaliser. Mais tels étaient les moyens de s'éclairer jusqu'au XVIe siècle époque où un médecin-mathématicien et philosophe italien, Jérôme Cardan, né à Pavie en 1502, inventa un mode de suspension des lampes permettant de les maintenir dans une verticalité telle qu'elles ne pouvaient plus laisser couler leur huile. Cette "suspension à la cardan" fut généralisée dans toutes les mines et il arrive encore de nos jours d'y trouver parfois une de ces lampes oubliée dans un coin. L'usage du verre à vitre permit la fabrication de lanternes pouvant braver les courants d'air, mais elles étaient bien délicates pour la plupart des services miniers.

Graisse et huile brûlant à feu nu ne donnent qu'une médiocre lumière dont on se contenta jusqu'à la remarquable invention d'un Genevois, François-Pierre-Ami Argand originaire d'une famille de Bonne (Haute-Savoie), et qui prit en 1784 un premier brevet pour un dispositif qu'on peut qualifier de révolutionnaire pour l'époque. Il pensa qu'il fallait donner à la flamme un double courant d'air, ce qui en augmenterait considérablement le pouvoir éclairant. Pour cela il imagina de substituer aux mèches plates ou roulées utilisées depuis des siècles une mèche cylindrique que l'air traverserait de façon à activer la combustion sur chacune des deux



La célèbre grotte d'Antiparos (Grèce) explorée du temps de Louis XIV par de Nointel, ambassadeur du roi, ne pouvait se visiter jusqu'à nos jours que grâce à un éclairage par porteurs de torches installés sur des relais.

(D'après un dessin de Rouargues)

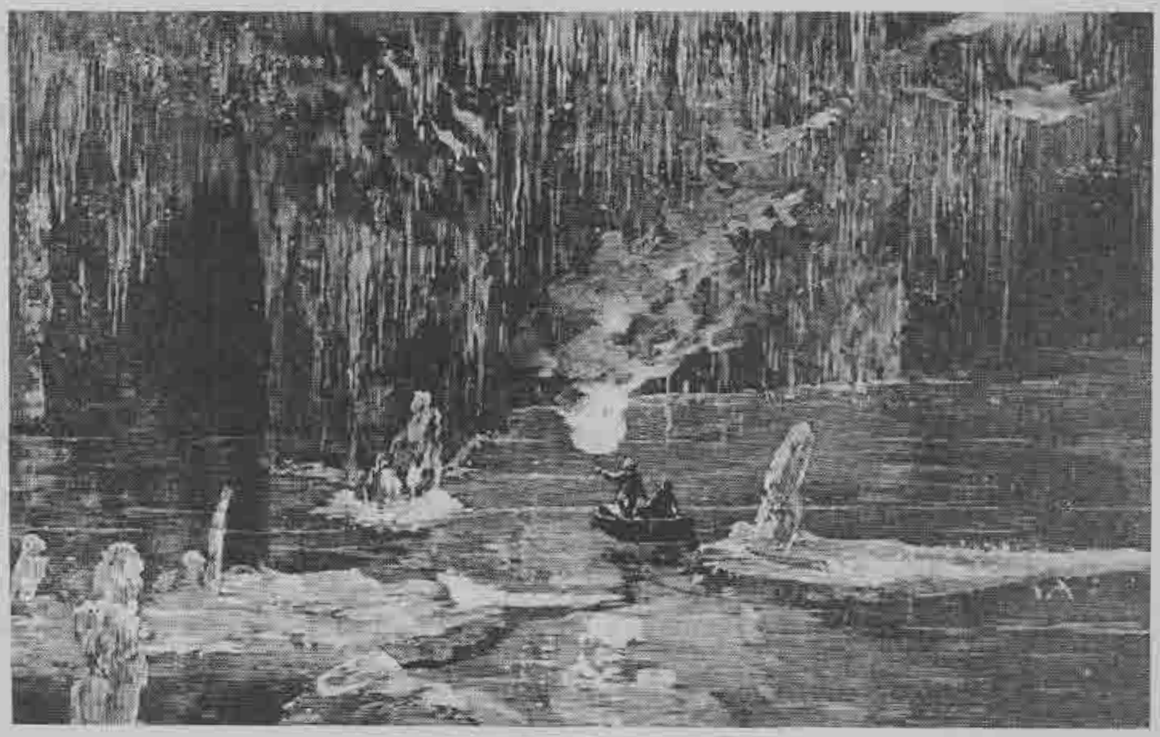
faces. Puis, pour créer un courant d'air régulier, il fit construire un tube de verre entourant la flamme et fixé, à sa base, dans un dispositif muni de petits trous. Ayant réalisé tout cela, il eut le plaisir de voir que son invention dépassait ses espérances: pour la première fois on disposait enfin d'un éclairage convenable ! Son invention était si merveilleuse qu'il eut beaucoup de peine malgré ses brevets à protéger ses droits contre de nombreux contrefacteurs. A Paris, notamment, le pharmacien Quinquet s'empara de l'invention en y apportant quelques petites modifications. Bon commerçant, ce dernier réussit à imposer sa fabrication et Argand, qui devait mourir à Genève seize ans plus tard eut le grand chagrin de voir ses lampes prendre le nom de quinquets...

Dès cette époque diverses améliorations ayant trait à la distribution du combustible furent apportées à ces luminaires. En 1837, un autre physicien nommé Selligues, né lui aussi à Genève, découvre en distillant des schistes bitumineux un liquide transparent qui brûle "avec une flamme excessivement éclairante". C'est le pétrole lampant dit alors "huile de pierre". Il inventa une lampe adaptée à ce nouveau liquide: la lampe à pétrole est née et c'est elle qui sera le point de départ du démarrage de l'industrie pétrolière...

C'est donc dans le lumineux bassin du Léman que prirent naissance les deux inventions qui transformèrent radicalement l'éclairage et cela jusqu'à la découverte de l'acétylène puis de la lumière électrique !

Cependant, en ce qui concerne les mines, si la trouvaille d'Argand était susceptible de rendre de grands services aux

ingénieurs et dessinateurs dans leurs bureaux, il n'en était pas de même au fond de la terre où ce luminaire n'eut guère d'emplois, un fragile tube de verre n'aimant pas le contact avec les rocs ni les vifs mouvements des pics et des pioches virevoltant à ses côtés...



Dans les cavernes comme dans les mines, durant des millénaires et jusqu'à la fin du siècle dernier, on ne connut pour s'éclairer que les torches, les lampes à huile et les bougies...

Le célèbre spéléologue français F.-A. Martel naviguant sur le lac Miramar de la grotte du Dragon (Cueva del Drach, Majorque).

(D'après un dessin de Slom. 1896)

Les ténèbres enfin dissipées

On a de la peine à concevoir que jusqu'à l'orée de notre siècle, alors que l'industrie et les chemins de fer en pleine expansion demandaient aux mines de houille et de fer desservies par leurs dizaines de milliers d'ouvriers une extraction de plus en plus abondante, l'éclairage en soit depuis l'Antiquité resté à l'huile et cela même après 1892, date de l'apparition des premières lampes à acétylène !

Dans les gisements de houille, la lumière à feu nu avait l'inconvénient de faire exploser le grisou, gaz méthane qui se dégageant dans certaines galeries forme avec l'air un mélange détonnant. Aussi pour se débarasser de ce gaz qui s'accumulait au toit des souterrains on le faisait brûler par un "pénitent", un homme, parfois un condamné, vêtu de cuir et armé d'une longue perche à l'extrémité de laquelle une torche était allumée. Rampant sur le sol, le pénitent élevait alors sa perche aux endroits voulus et enflammait ainsi le gaz nocif... mais les accidents n'étaient pas rares, justifiant le nom qu'on lui avait donné.

Un ingénieux bricoleur pensa pouvoir supprimer les lampes en les remplaçant par un éclairage à étincelles, le "flint-mill". Ce moulin à silex était composé d'un cadre de fer; il renfermait une roue dentée qui engrenait dans un pignon, sur le même axe duquel était une petite roue d'acier. A l'aide de ces moulins, nous dit Sébillot, "un homme pouvait éclairer cinq ou six ouvriers en appuyant cette machine contre son ventre d'une part, et un endroit fixe de l'autre, un rocher par exemple. D'une main il tenait une pierre à fusil contre la roue d'acier, et de l'autre il tournait une mani-

Le "Flint-Mill" ou "Moulin à Silex", un curieux procédé d'éclairage par étincelles pour mines grisouteuses, aussi dangereux que peu lumineux...

(D'après Jars, "Voyages metallurgiques" Lyon, 1774)

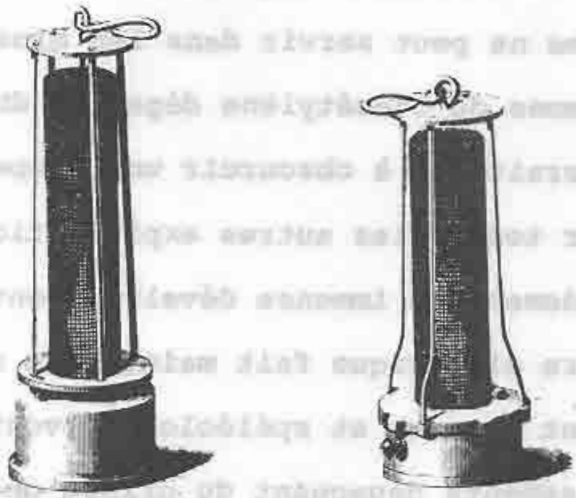
velle adaptée à l'arbre de la grande roue dentée qui par son engrènement faisait aller fort vite la roue d'acier: celle-ci donnait beaucoup d'étincelles par son frottement contre le silex. Cette machine n'était pourtant pas des plus sûres, puisque les étincelles qu'elle produisait étaient capables d'allumer le grisou !" D'autre part, la lumière fournie était coûteuse et si douteuse que le système ne connut guère de succès.

Et cette dramatique situation va durer jusqu'en 1816, date où le physicien anglais Humphry Davy découvre que les flammes ne peuvent traverser un treillis métallique. Il conçoit alors la célèbre lampe de sûreté dont la flamme luit à l'intérieur d'une enceinte en toile métallique: le gaz traverse cette dernière, pénètre dans la lampe et s'y enflamme en petite quantité non dangereuse, mais le feu ne peut franchir en retour le fin grillage.

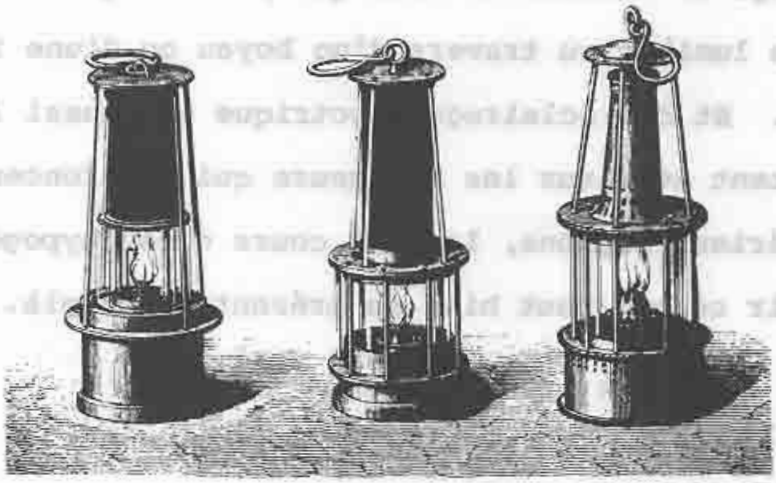
C'est à la suite de la fabrication industrielle du carbure de calcium mise au point par le chimiste français Moissan que le gaz acétylène pourra être obtenu facilement et économiquement à partir de 1892.

Enfin ! Après des milliers d'années de travail dans la pénombre des souterrains apparaît maintenant une vraie lumière bien éclairante. Une flamme éclatante produisant une vive lueur blanche pouvant être émise aussi bien par de gros générateurs qu'au moyen de petits appareils légers et facilement portatifs se mettait au service des mineurs.

Cet éclairage à l'acétylène obtenu à partir des lampes à carbure est aussi celui qui est le plus prisé des spéléologues auxquels il rend les plus grands services par la puis-



Eclairage de sûreté pour mines grisouteuses dû au physicien Humphry Davy qui découvrit que les flammes ne peuvent traverser un treillis métallique (1816).



Diverses améliorations de la lampe Davy.

sance de son éclairement, la simplicité de son fonctionnement, sa légèreté et son économie, sa sécurité aussi lorsqu'il est utilisé convenablement.

Ce système ne peut servir dans les mines grisouteuses car les flammes de l'acétylène dégagent du noir de fumée qui ne tarderait pas à obscurcir une lampe de sûreté. Par contre, pour toutes les autres exploitations cet éclairage connut rapidement un immense développement.

La lumière électrique fait maintenant son apparition et naturellement mineurs et spéléologues vont s'y intéresser. Pour les gisements dégageant du grisou on réalise des lanternes à accumulateurs et ne pouvant produire d'étincelles dangereuses. Mais lourdes, éclairant moins que celles au carbure de calcium et exigeant d'être rechargées à heures fixes dans une lampisterie spécialisée, elles ne pouvaient convenir pour l'exploration souterraine qui se tourna alors vers les petites et légères lampes à pile employées pour l'éclairage de secours de même que pour braquer un faisceau précis de lumière au travers d'un boyau ou d'une fissure de la roche. Et cet éclairage électrique est aussi le seul qu'emportent avec eux les plongeurs qui s'enfoncent dans les mystérieux siphons, lacs et cours d'eau hypogés pour aller voir ce qui peut bien se présenter au-delà...

Respirer sous terre

Dans leurs cavernes, nos ancêtres n'avaient aucun souci à se faire en ce qui concerne l'aération de leur habitat. Mais la vie souterraine prit un tout autre aspect avec la mise en exploitation des richesses minières. L'abattage était péniblement réalisé au pic ou parfois au feu, ce dernier faisant éclater le roc... tout en rendant toxique l'air de la galerie. Plus la mine devenait profonde plus son aération s'avérait difficile. Le gaz carbonique plus lourd que l'air s'accumulait à la base des travaux tandis que la température s'élevait de plus en plus...

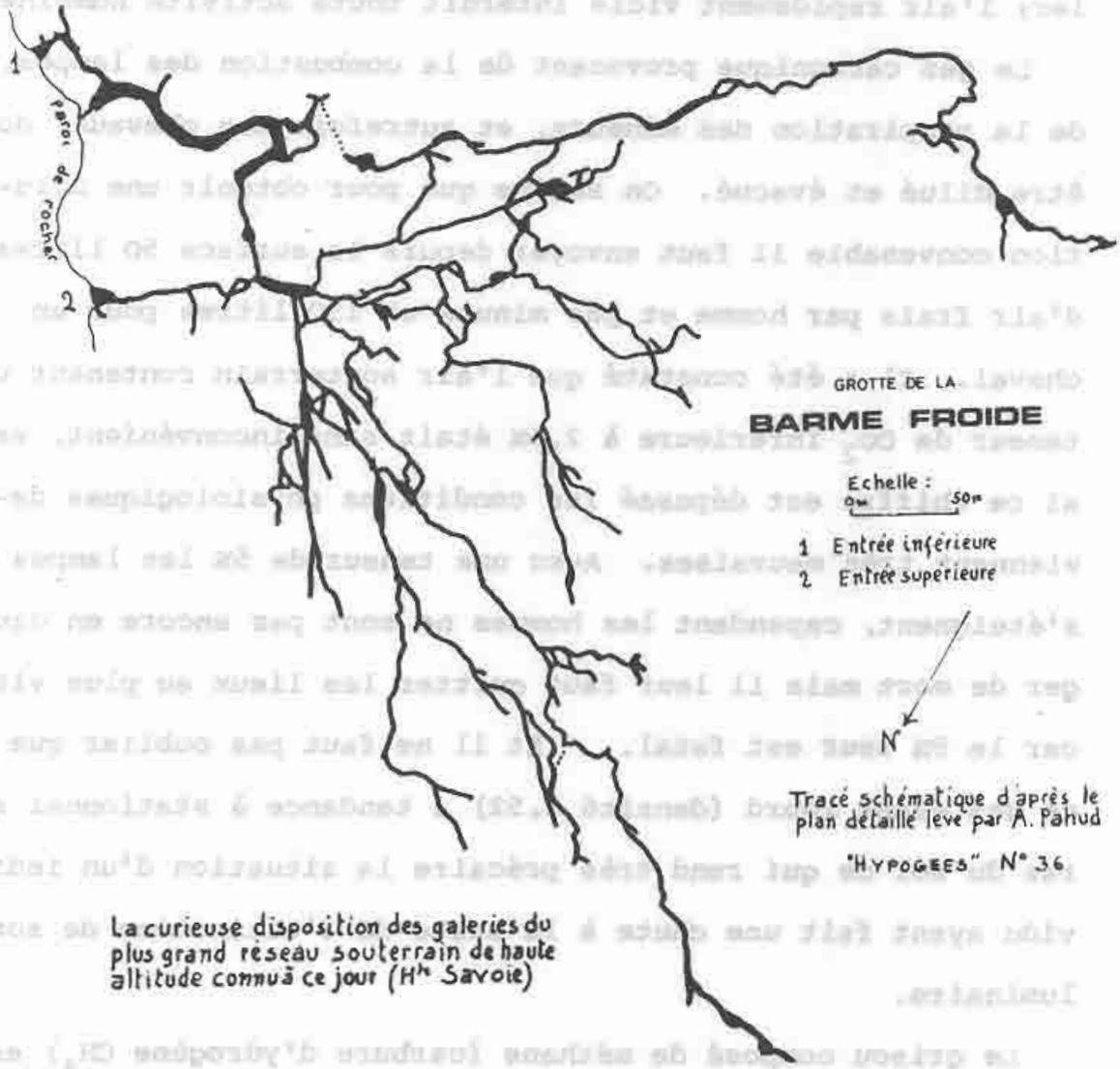
Au fur et à mesure que l'on s'enfonce dans la terre on constate une augmentation de la température dont la valeur moyenne (degré géothermique) est de 1° pour 33 m. Ce phénomène est bien observé dans les travaux souterrains, sondages, grands tunnels et mines. Par contre il est beaucoup moins marqué (à part quelques exceptions) et même nul dans la plupart des cavernes à causes des fissures, fentes ou puits affectant les roches encaissantes. Cette fissuration facilite la circulation de l'air qui vient refroidir toutes ces cavités, s'opposant ainsi au développement normal de la géothermie. La puissance de cet air souterrain est extrêmement variable, pouvant passer d'un faible souffle à un vent violent (dans la grotte d'Urunlu, en Turquie, on a pu mesurer un vent dont la vitesse atteint, en été, jusqu'à 120 km/heure !).

D'une manière générale le problème de l'aération ne se pose donc pas pour le spéléologue qui se trouve toujours environné d'air en suffisance et même parfois trop en cas de très forts vents. Il peut cependant et dans des situations particuli-

ères, être gêné par la présence de gaz carbonique stationnant dans des poches dont certaines ont été fatales aux explorateurs. Par exemple, le géologue Jacques Martini explorant des grottes en Algérie a été arrêté dans ses travaux par une nappe de ce gaz, semblable à celui de la célèbre Grotte du Chien près de Naples. Le spéléologue Georges Amoudruz et ses compagnons faillirent être asphyxiés dans la Tanne aux Raveirs, un aven savoyard dans lequel se dégageaient des éléments gazeux irrespirables. Nous nous souvenons avoir dû interrompre la visite d'une vieille mine de charbon de nos Alpes, nos lampes à acétylène s'étant éteintes dans l'anhydride carbonique. Parfois il s'agit de méthane se formant à la suite de la décomposition de débris organiques accumulés au fond d'un gouffre. Et n'oublions pas que quelques grottes de régions volcaniques émettent des gaz sulfureux...

En face de telles situations il est évidemment possible de se munir d'appareils respiratoires analogues à ceux qu'utilisent les pompiers pour respirer au travers de nappes de gaz empoisonnés. Mais rares sont les spéléologues estimant nécessaire de se munir de tels engins et seuls les plongeurs à la conquête de mystérieuses eaux souterraines sont équipés de scaphandres autonomes. Dans les profondes cavernes où circulent des cours d'eau hypogés recoupés de siphons, il peut arriver que l'air comprimé à la voûte dans des sortes de cloches naturelles étanches, par suite d'une élévation du niveau de l'eau, devienne irrespirable, n'étant plus renouvellé. Mais les explorateurs ne restent heureusement pas trop longtemps en de tels endroits pour en polluer cet air en réserve.

Venir à manquer d'air dans une grotte ou dans son réseau est une calamité qui n'est pas à redouter dans les hautes régions des paysages karstiques calcaires, ceux-ci étant affectés d'un nombre incroyable de fissurations de toutes dimensions.



Le réseau complexe de la Barme Froide. Le développement d'un tel réseau au travers de roches plus ou moins fissurées assure continuellement une circulation d'air venu de l'extérieur. Ce courant peut être inversé, aspirant ou refoulant selon la situation climatérique et l'état de la température, mais les explorateurs ne risquent pas de périr asphyxiés par manque d'oxygène.

(G. Favre et J.-D. Bourne : "La Barme Froide", Hypogées, No 36, 1975)

Curieux procédés d'aérage dans les mines d'autrefois

Si dans la plupart des grottes des territoires karstiques les gaz toxiques, à part les exceptions dont nous avons parlé, ne sont généralement pas une entrave à l'exploration, il n'en est pas du tout de même dans les mines, cavités voulues par l'homme et souvent creusées en terrains imperméables. L'atmosphère ne peut y pénétrer normalement et s'y renouveler: l'air rapidement vicié interdit toute activité humaine.

Le gaz carbonique provenant de la combustion des lampes, de la respiration des mineurs, et autrefois des chevaux, doit être dilué et évacué. On estime que pour obtenir une dilution convenable il faut envoyer depuis la surface 50 litres d'air frais par homme et par minute et 150 litres pour un cheval. Il a été constaté que l'air souterrain contenant une teneur de CO_2 inférieure à 2,5% était sans inconvénient, mais si ce chiffre est dépassé les conditions physiologiques deviennent très mauvaises. Avec une teneur de 5% les lampes s'éteignent, cependant les hommes ne sont pas encore en danger de mort mais il leur faut quitter les lieux au plus vite car le 8% leur est fatal... Et il ne faut pas oublier que ce gaz étant lourd (densité 1,52) a tendance à stationner au ras du sol ce qui rend très précaire la situation d'un individu ayant fait une chute à la suite de l'extinction de son luminaire.

Le grisou composé de méthane (carbure d'ydrogène CH_4) est un gaz léger (densité 0,56) qui contrairement à l'anhydride carbonique se concentre dans les parties hautes des galeries. En dehors de son terrible pouvoir explosif il est lui aussi un gaz asphyxiant qui bien que non toxique peut entraîner la

Sauveteur équipé d'une outre en peau de bouc remplie d'air qu'on y avait injecté au moyen d'un soufflet. L'autonomie n'étant que de 15 minutes, il était souvent nécessaire d'emporter plusieurs sacs de rechange.

(Syatème Galibert, milieu du siècle dernier)

mort par insuffisance d'oxygène.

Afin de pouvoir venir au secours des malheureux tombés inanimés dans une nappe gazeuse asphyxiante on avait imaginé des appareils respiratoires composés de sacs étanches remplis d'air et provenant à la bouche par l'intermédiaire d'un tuyau, système qui fut perfectionné par le physicien et aéronaute Pilâtre de Rozier (1754-1785). Plus tard, l'ingénieur Galibert utilisa des outres en peau de bouc gonflées avec un soufflet. Une conduite en caoutchouc reliait ce réservoir à la bouche du sauveteur dont la langue faisait office de soupape tandis que son nez était fermé au moyen d'une petite pince à ressort. L'outre se vidant en moins de 15 minutes, il était nécessaire d'en emmener une certaine réserve.

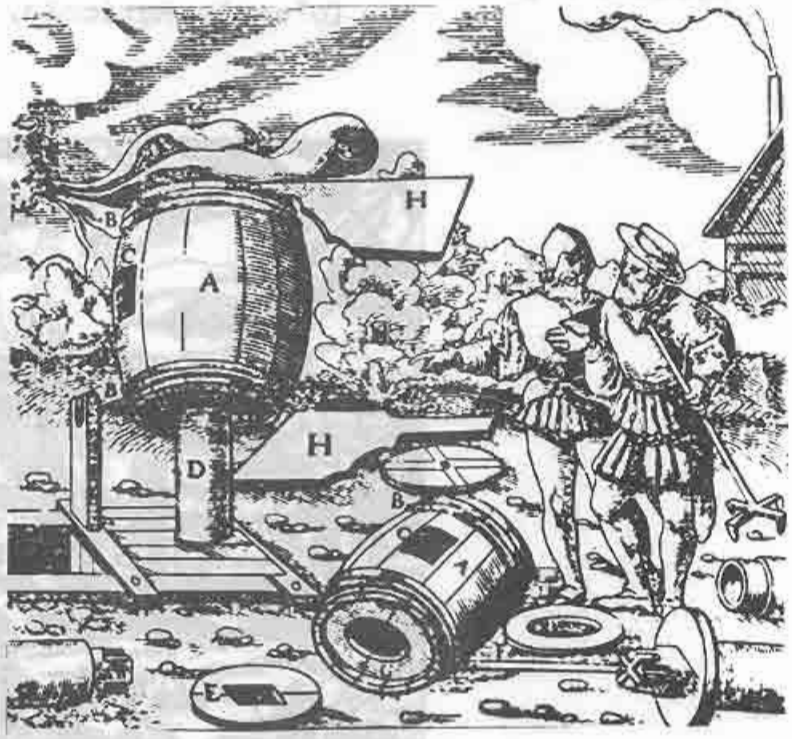
On doit à Rouquayrol l'invention, au milieu du siècle dernier, d'un respirateur métallique fonctionnant à l'air comprimé à 25 ou même 40 atmosphères distribué avec régularité dans la bouche du mineur grâce à un dispositif de soupapes.

De nos jours, les spéléologues qui poursuivent leurs explorations dans les eaux souterraines ont à leur disposition des scaphandres autonomes équipés de solides bouteilles, en acier ou en duralumin, pouvant contenir de l'air comprimé jusqu'à 200 et même 300 atmosphères et de détendeurs perfectionnés réalisant une pression équilibrée entre l'air entrant dans les poumons et l'eau.

Au Moyen Age, à une période où beaucoup de mines deviennent de plus en plus profondes, l'aérage ne tarda pas à poser de difficiles problèmes. On imagina alors de curieux

Secouriste muni d'un appareil Rouquayrol composé d'un récipient métallique rempli d'air comprimé. Ce dernier parvient à la bouche et au nez grâce à un tube souple et son réglage est obtenu par un disposi sitif de soupapes.

(D'après L. Simonin,1867)



Le tonneau capte-vent destiné à l'aérage des travaux souterrains.

(d'après Agricola,1556)

Aérage des mines au XVIe siècle. En haut, soufflerie mise en marche au moyen d'un manège; au milieu, c'est un cheval qui actionne directement un ventilateur; en bas, un homme fait fonctionner des soufflets avec un système à pédales.

(D'après Agricola, 1556)

Dispositif destiné, selon Agricola, à refouler le vent jusqu'au fond du puits de mine.

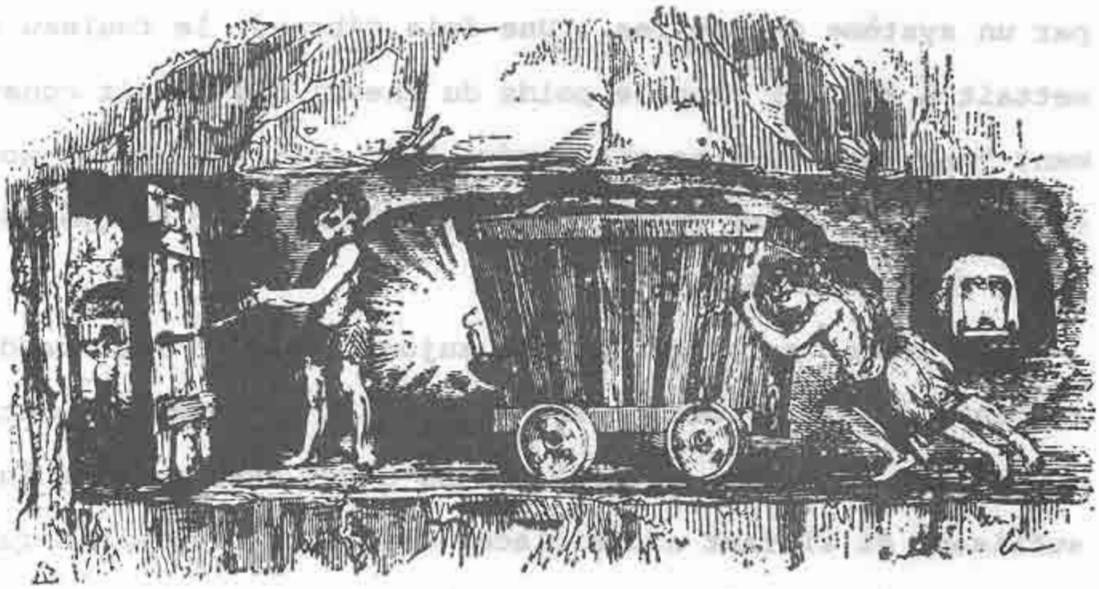
procédés dont le plus simple était le "tonneau capte-vent". Surmontant le puits, un gros tonneau, muni d'une girouette lui permettant de présenter au vent une large ouverture latérale, pouvait tourner sur un axe creux relié à la canalisation se rendant au fond de l'exploitation. C'était assez aléatoire, surtout les jours de faible brise, et ne pouvait servir qu'à des chantiers pas trop profonds.

Plus fiables étaient les ventilateurs à palettes de bois, de même que des batteries de soufflets de forge. Ces derniers étaient actionnés par des hommes appuyant sur des pédales. On utilisa aussi la force motrice du cheval pour assurer le fonctionnement de ce dispositif. Installé sur une estrade assez étroite, l'animal était obligé de poser ses pattes antérieures sur un gros cylindre relié aux soufflets par un système de bielles. Une fois débrayé, le rouleau se mettait à tourner sous le poids du cheval qui devait constamment "marcher" pour ne pas perdre l'équilibre... et ce moteur de fonctionner ainsi toute la journée pour envoyer de l'air frais aux mineurs !

Tout comme on le fait encore aujourd'hui, on réalisa des courants d'air en reliant les galeries à un deuxième puits facilitant un tirage naturel. Mais c'est bien souvent insuffisant et il faut alors placer des ventilateurs généralement aspirants placés sur le puits de sortie; soufflants, on les installe sur le puits d'entrée de l'air.

A l'intérieur de la mine il faut régulariser ces courants d'air pour que toutes les galeries en reçoivent de la même façon. On arrive à ce résultat par l'emploi de portes qui doivent être disposées de manière à s'ouvrir du côté d'où

vient le vent pour que celui-ci ait tendance à les tenir fermées. Pendant longtemps le travail d'ouvrir ces portes au passage des convois de minerai fut confié à de jeunes enfants qui vivaient là dans des conditions hygièniques déplorables. Et ce n'est que vers la fin du siècle dernier qu'on y renonça, l'air comprimé parcourant en abondance de nombreuses canalisations dans lesquelles il est réglable ayant permis enfin de se passer des services des petits gars.



Dans beaucoup de mines profondes, l'aérage des galeries était obtenu par des mouvements de portes qu'il fallait refermer à la suite du passage de chaque convoi de minerai : un travail fastidieux réservé aux enfants employés aussi à la poussée des chariots.

("Messager", d'après une gravure du XIXe siècle)

L'obstacle des eaux souterraines

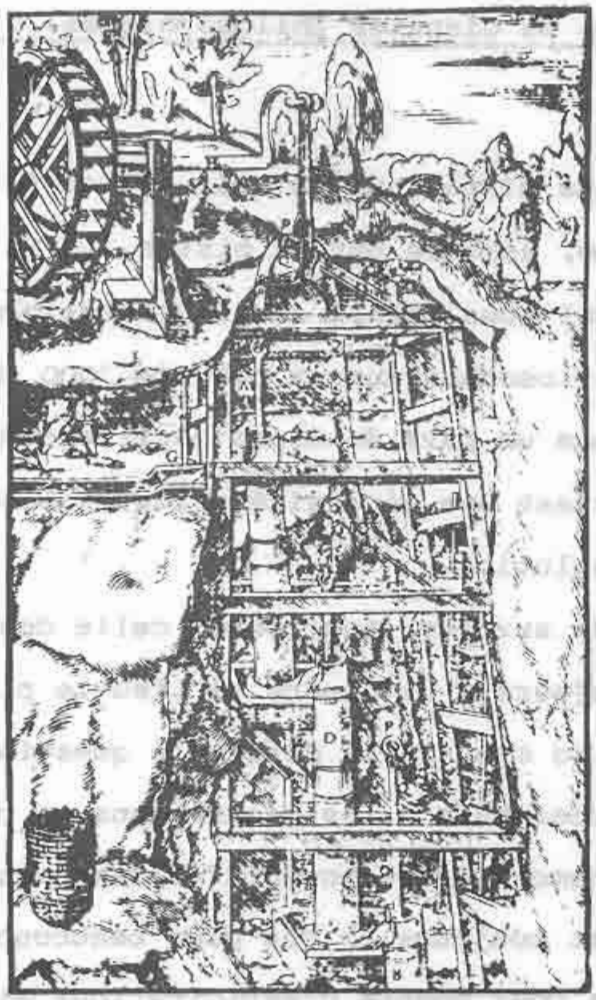
Deux mille ans de disputes philosophiques... à propos d'une pompe !

Quoi de plus simple que de voir monter de l'eau dans un corps de pompe, aspirée par le piston... Et pourtant cette réalisation qui nous paraît si compréhensible a préoccupé prêtres et philosophes durant plus de 2000 ans ! Et c'est finalement dans un pays de mines pour lesquelles l'épuisement des eaux est une nécessité primordiale que ce problème a trouvé sa solution.

Les eaux de surface, tout comme celle des infiltrations cherchent toujours à rejoindre le lieu le plus bas ce qui posait pour les mineurs la difficile question de leur épuisement. On cherchait à les réunir dans un puisard d'où elles étaient remontées au moyen d'un seau suspendu à une corde comme c'est toujours le cas pour beaucoup de puits ordinaires. Mais pour nombre d'exploitations minières ce système était insuffisant et on dut trouver d'autres procédés.

Dans les mines de montagne qui s'y prêtaient on ouvrit des tunnels d'évacuation au niveau le plus bas, une réalisation naturellement impossible en plaine. Au Moyen Age, on eut recours aux chaînes à godets mues par des hommes, parfois par des chevaux marchant sans fin dans une grande roue, ou encore lorsque cela était possible en utilisant la force hydraulique d'un moulin.

On se servit aussi de pompes. Mais ces engins ne pouvaient pas relever l'eau bien haut et pendant longtemps on se demanda pourquoi cette aspiration était limitée: philosophes et



Exhaure de l'eau au XVIe siècle dans un profond puits de mine. Ne pouvant remonter l'eau bien haut, les pompes la déversaient à chaque étage dans un bac d'où elle était reprise par la suivante. L'ensemble était actionné grâce à l'embiellage d'une maîtresse tige reliée à la roue hydraulique d'un moulin.

(D'après Agricola, 1556)

théologiens se penchèrent alors sur cette question, expliquant ce phénomène par la théorie de l'"horreur du vide".

Pour Aristote (384-322 av. Jésus Christ) et les Scholastiques l'espace est limité par les corps qui l'occupent: il n'y a pas d'espace sans corps, donc il n'y a pas d'espace vide car si on retire les corps il n'y a plus d'espace. Par conséquent le vide n'existe pas puisque Dieu c'est la Forme et que le vide n'a pas de forme: "Dieu s'oppose au vide et ne peut l'avoir créé".

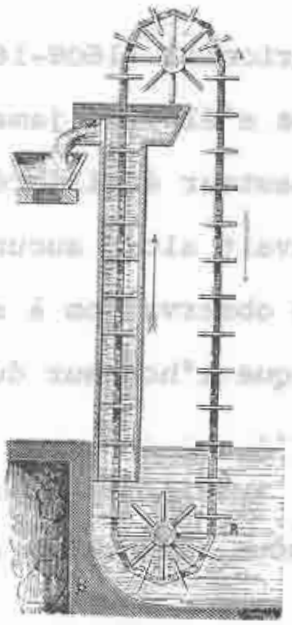
De son côté, le philosophe Héron ayant aspiré avec force l'air d'une bouteille à col très étroit constata soudain qu'elle restait suspendue à ses lèvres à tel point que cela lui faisait mal. La détachant avec souffrance, il en conclut que la nature ne supporte pas le vide: la bouteille reste collée à sa lèvre parce que la chair veut remplacer l'air... Inventeur d'une pompe, il constate que l'eau s'élève dans la machine "par horreur du vide". Et pendant plus de 2000 ans on se contenta de cette explication jugée suffisante par les constructeurs de pompes, et cela jusqu'au XVIIe siècle.

A cette époque Toricelli (1608-1647), un élève de Galilée, remarqua que l'eau ne s'élevait jamais dans un tuyau au-dessus de dix mètres (hauteur équilibrée par la pression atmosphérique dont on n'avait alors aucune idée). Faisant part de cette remarquable observation à son maître, Galilée expliqua tout simplement que l'horreur du vide cessait à la hauteur de 10 mètres !...

On discuta ferme, aussi bien chez les théologiens que chez les savants. Chez nous, Descartes et les gens d'église main-

Au XVIe siècle, le fonctionnement d'une chaîne à godets pour l'épuisement des eaux était assuré parfois grâce à des hommes installés dans une grande roue qu'ils faisaient tourner.

(D'après Agricola, 1556)



Le chapelet : un ancien procédé d'exhaure pour puits peu profonds.

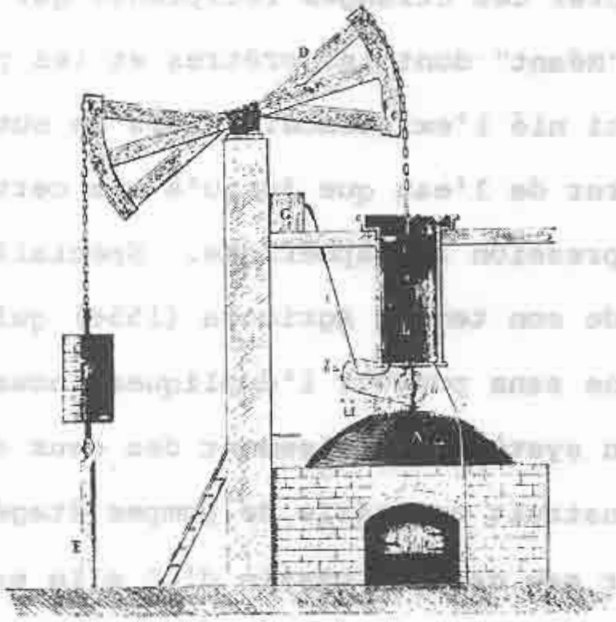
tinrent l'idée que le vide n'existe pas... Cependant, un savant allemand, Otto de Guericke (mort en 1686 à Magdebourg, ville dont il était le bourgmestre) veut prouver le contraire, déclarant, avec beaucoup de prudence à cause de l'Inquisition, qu'on ne peut avoir en horreur quelque chose qui n'existe pas: si la nature a horreur du vide, c'est que le vide est possible, ce qu'il n'allait pas tarder à prouver. Inventeur de la "machine pneumatique", il fit une série d'expériences qui le conduisirent à la construction des célèbres "hémisphères de Magdebourg". Ces deux demi-sphères s'adaptant exactement l'une à l'autre furent reliées par un robinet à une machine pneumatique pour en aspirer l'air et faire ainsi le vide. Cela fait, il fit tirer chaque hémisphère par quatre chevaux sans parvenir à les séparer ! Pour y arriver, il suffisait d'ouvrir le robinet: l'air entrait en sifflant et les hémisphères se détachaient facilement.

On comprit alors ce que signifiait le "vide" et l'on vint en foule contempler ces étranges récipients qui n'avaient contenu que ce "Néant" dont les prêtres et les philosophes avaient jusqu'ici nié l'existence. Alors on sut pourquoi on ne pouvait aspirer de l'eau que jusqu'à une certaine hauteur limitée par la pression atmosphérique. Spécialiste des questions minières de son temps, Agricola (1556) qui avait constaté ce phénomène sans pouvoir l'expliquer, nous donne la description d'un système d'épuisement des eaux dans des puits profonds: on construit une série de pompes étagées déversant chaque fois leur eau dans un bassin d'où elle est reprise par la suivante. On pouvait naturellement mettre à chaque étage un homme chargé de pomper l'eau du bassin précédent, mais c'était lent, coûteux et compliqué... Alors on imagina de

réunir l'ensemble de ces pompes à l'embiellage d'une maîtresse tige actionnée depuis la surface du sol.

On était bien loin de nos actuelles et puissantes pompes aspirantes et foulantes pouvant débiter d'énormes masses d'eau comme le fait par exemple le jet d'eau de Genève équipé de deux motopompes mues à l'électricité et totalisant 1360 CV. Ces engins envoient 30.000 litres d'eau par minute à la hauteur manométrique de 160 mètres à la vitesse de 200 km à l'heure. Le poids de l'eau suspendue en l'air atteint 7 tonnes !

Avec de tels engins le problème de l'épuisement des eaux dans la profondeur des mines est résolu, mais il a fallu attendre le XVIIIe siècle pour le voir peu à peu surmonté grâce à la vapeur comme nous l'avons vu plus haut à propos de la machine de Savery, Newcoman et Cauwly. Et maintenant, grâce à la puissance de l'électricité, l'exhaure est facilement réalisée: on est bien loin de l'"horreur du vide" !



La "machine atmosphérique" de Newcomen est la première pompe à vapeur utilisée industriellement pour l'exhaure des eaux des mines profondes. Elle a été mise en service en 1705.

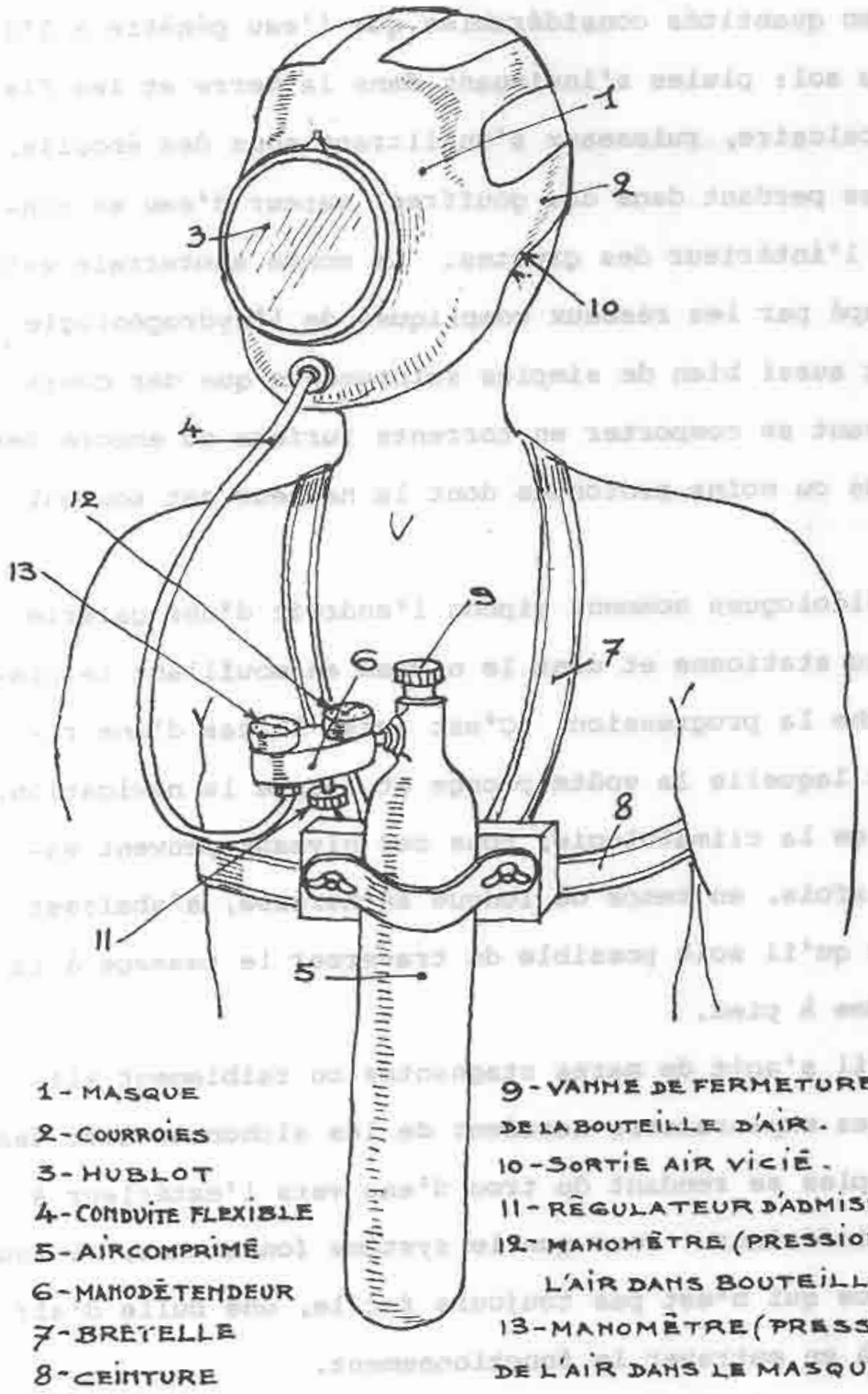
Pour traverser l'eau au fond des grottes

C'est en quantités considérables que l'eau pénètre à l'intérieur du sol: pluies s'insinuant dans la terre et les fissures du calcaire, ruisseaux s'infiltrant sous des éboulis, rivières se perdant dans des gouffres, vapeur d'eau se condensant à l'intérieur des grottes. Le monde souterrain est ainsi occupé par les réseaux compliqués de l'hydrogéologie comportant aussi bien de simples suintements que des cours d'eau pouvant se comporter en torrents furieux ou encore des nappes plus ou moins profondes dont la hauteur est souvent instable.

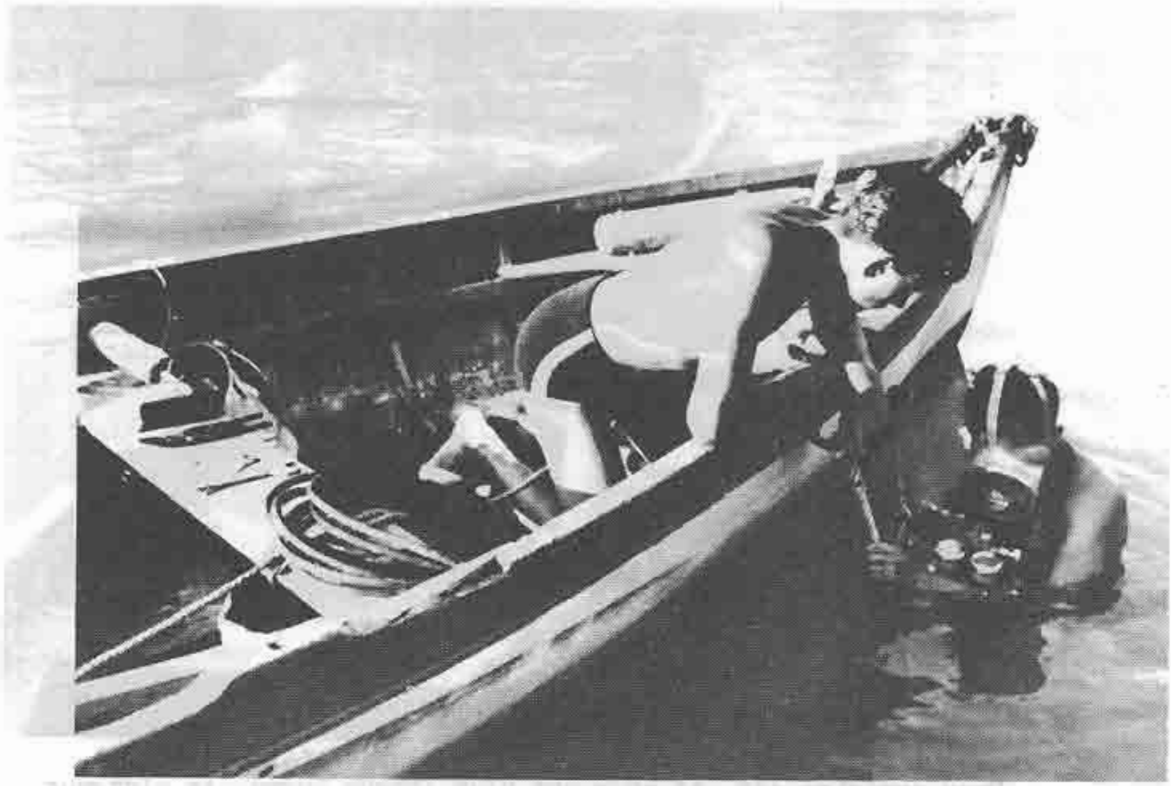
Les spéléologues nomment siphon l'endroit d'une galerie où de l'eau stationne et dont le niveau en mouillant le plafond empêche la progression. C'est aussi le cas d'une rivière dans laquelle la voûte plonge et stoppe la navigation. Dépendant de la climatologie, tous ces niveaux peuvent varier et parfois, en temps de longue sécheresse, s'abaisser assez pour qu'il soit possible de traverser le passage à la nage ou même à pied.

Lorsqu'il s'agit de mares stagnantes ou faiblement alimentées, les explorateurs essaient de les siphonner avec des tuyaux souples se rendant du trou d'eau vers l'extérieur à un niveau inférieur. Pour que le système fonctionne, il faut l'amorcer ce qui n'est pas toujours facile, une bulle d'air suffisant à en entraver le fonctionnement.

Chez nous et à plusieurs reprises il a été possible d'abaisser de cette façon le niveau de l'eau pour pouvoir passer de tels obstacles en rampant dans la boue. Ce fut notamment le cas pour atteindre l'extrémité de la grotte du Jourdy



Scaphandre autonome Le Prieur. C'est avec cet appareil que nous avons pu réaliser, en 1936, le premier relevé subaquatique photographié ensuite du haut d'un avion, d'une station lacustre dans le Léman.



Recherches subaquatiques d'une station lacustre à la Vorze (Chens-sur-Léman, Hte-Savoie) en 1936. Pour la première fois le scaphandre autonome et l'avion sont utilisés pour de telles investigations dans les lacs. Le plongeur équipé du système Le Prieur s'enfonce dans le lac. (Photo J.-J.Pittard)

Exploration sous-lacustre de 1936 à la Vorze. Descente d'un plongeur autonome. (Photo J.-J. Pittard)

Dans certains cas, et pour une plus longue durée, le plongeur travaillait à proximité du bateau auquel il était relié par un tuyau souple lui envoyant l'air comprimé à la pression convenable, provenant d'une grande bouteille restée à bord et dont un surveillant contrôlait soigneusement le débit.
(Photo J.-J. Pittard)

Exploration sous-lacustre de 1936 à la Vorze. Quittant le bateau, le plongeur part à la recherche des pilotis qu'il va marquer au moyen de planchettes peintes en blanc dont l'ensemble sera ensuite photographié du haut d'un avion, ce qui donnera une image de la forme générale de la station.
(Photo J.-J. Pittard)

au-dessus de Mieussy dans la vallée du Giffre (Haute-Savoie).

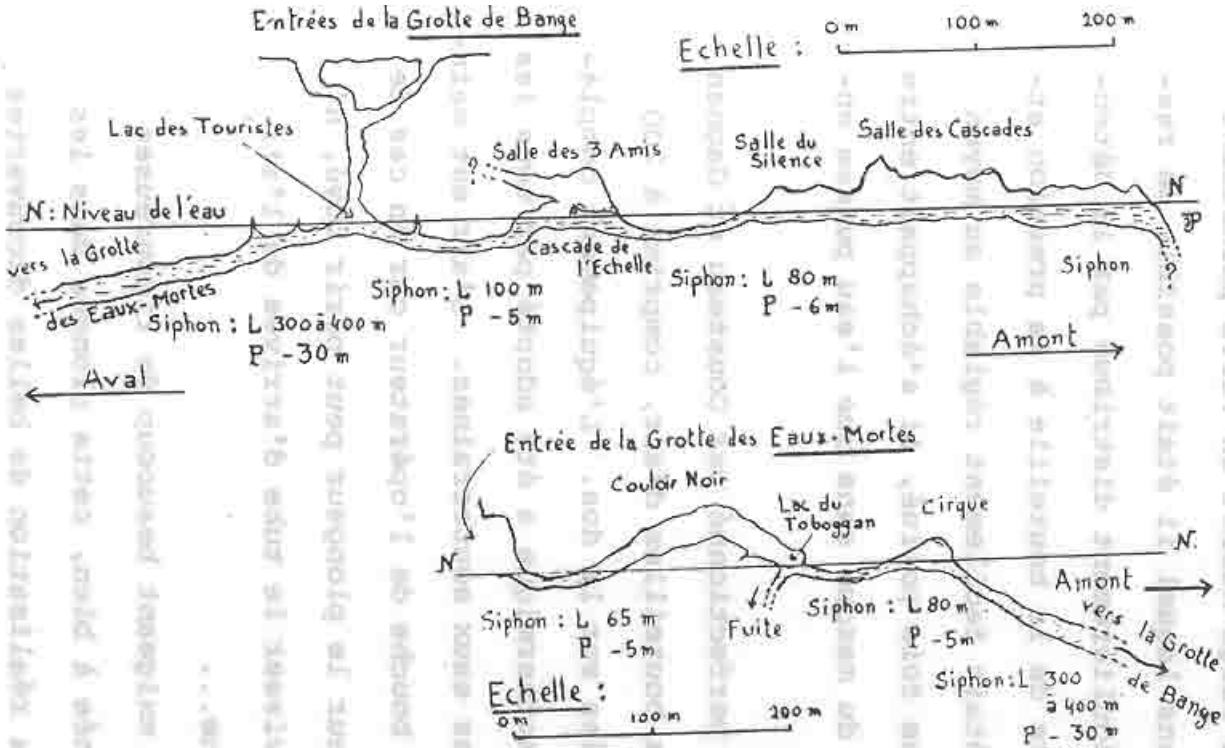
Avec du matériel beaucoup plus lourd et plus encombrant il est souvent beaucoup plus pratique et plus rapide de vider ces laisses au moyen d'une pompe actionnée électriquement, le groupe électrogène fournisseur du courant et fonctionnant à l'essence étant placé à l'extérieur de la caverne afin d'éviter le dégagement de gaz nocifs. La Section de Genève de la S.S.S., a pu réussir de cette façon l'exploration de la Bachai di Fayes, la plus grande grotte du massif du Salève et de plusieurs autres cavernes de cette montagne dont la remarquable découverte de la Grotte de Lesvaux (Mandallaz) à l'intérieur de laquelle furent découverts 4 squelettes humains ("Hypogées", No 44, 1980). Rappelons, en ce qui concerne ce système d'opération, que les spéléologues ne disposent que de matériel mobile fort pesant nécessitant un difficile et très fatiguant portage, engins qui ne peuvent être comparés aux puissantes machines d'exhaure servant à épuiser l'eau du fond des mines.

Certains audacieux n'ont pas hésité à plonger, nus, dans les eaux sombres et mystérieuses de ces siphons pour aller voir ce qu'il y avait de l'autre côté, risquant de rester accrochés aux aspérités de la voûte ! C'est en particulier le cas de Norbert Casteret qui reconnaît lui-même l'énorme danger que représente une telle action et qui la déconseille vivement en ajoutant qu'il est bien heureux que depuis cette époque "on a pu employer la merveilleuse invention du scaphandre autonome de Le Prieur". Il s'agit d'un appareil que nous avons été les premiers, dans notre région, à utiliser avec des membres du fameux "Club des Boueux", ancêtre de la

Les explorateurs savoyards équipés d'un matériel moderne vont plonger dans les eaux inconnues de la grotte de Bange, ce qui va leur permettre de découvrir un curieux réseau souterrain en partie noyé.

Les bouteilles d'air comprimé se portent sur le dos et l'air détendu arrive directement dans la bouche. Le masque de l'ancien appareil Le Prieur permettait, grâce à son large hublot, une excellente visibilité. Parfait pour évoluer sous une faible épaisseur d'eau, il devenait dangereux en grande profondeur en cas de déchirure, accrochage, par exemple, à un rocher dans un étroit boyau : c'était alors la noyade presque assurée.

(Photo Groupe Spéléo de Cluses)



COUPE SCHEMATIQUE DES GROTTES DE BALME ET DES EAUX-MORTES

(Massif du Semnoz, Hte-Savoie)

Dans la grotte de Bange, le lac des Touristes était considéré comme étant le point terminal de cette caverne et cela jusqu'à la fameuse exploration subaquatique des spéléologues de Cluses.

Aux Eaux-Mortes, on ne pouvait pas pénétrer au-delà de la vaste entrée. Aujourd'hui la jonction est faite et le mystère hydrologique est définitivement éclairci.

N Niveau moyen de l'eau
L Longueur du siphon traversé
P Profondeur dàeau dans les siphons

(D'après les levés subaquatiques de Robert Jean-Baptiste Bernard Daviet et Yves Maulet)

Société Suisse de Spéléologie, et c'était pour l'étude subaquatique, en 1936, d'une nouvelle station lacustre que nous venions de découvrir.

Portée sur la poitrine, la bouteille d'air comprimé de cet engin n'assurait qu'une autonomie de 15 à 20 minutes. Le masque était muni d'un large hublot en verre permettant une vision parfaite et dans lequel il était possible de respirer par le nez l'air régulièrement distribué par le détendeur, passant des 120 bars de la bouteille à la pression atmosphérique. Son débit était facilement réglable au moyen d'un robinet-pointeau; une fois pollué, il s'échappait entre la peau et le caoutchouc du masque sans que l'eau puisse entrer.

Ce type de scaphandre perfectionné par Cousteau et Gagnan comprend aujourd'hui deux bouteilles d'air, comprimé à 200 ou même à 300 bars, portées sur le dos. L'équipement complété par une combinaison isothermique a été adopté par tous les spéléologues explorant des eaux souterraines. L'air est maintenant distribué dans la bouche de l'opérateur car en cas de rupture du masque Le Prieur le plongeur peut périr noyé, n'ayant pas le temps de dévisser le tube d'arrivée de l'air pour le porter à sa bouche...

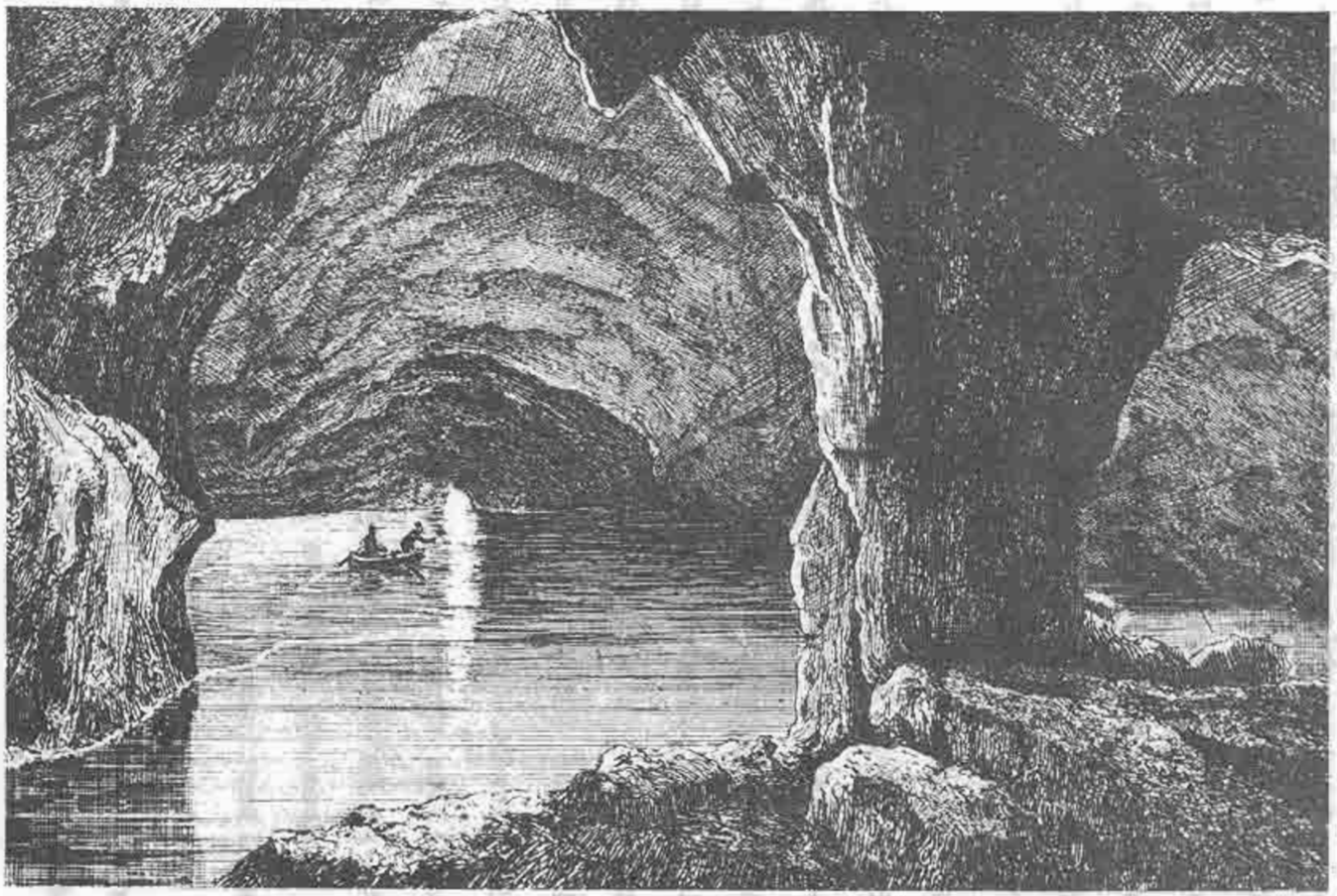
Quoique dangereuse et exigeant beaucoup de rigoureuses précautions pour être menée à bien, cette plongée dans les eaux hypogées a permis la réalisation de belles découvertes que n'auraient jamais pu faire les imprudents nageurs qui, bravant le froid devaient se déshabiller auprès de l'impressionnant trou d'eau avant de s'y lancer en retenant leur respiration sans trop savoir où ils pouvaient peut-être ressortir...

Non loin de Genève, au bord du Rhône et à proximité du Fort l'Ecluse, l'immense galerie de la grotte de la Bouna entrecoupée de siphons jusqu'alors inaccessibles a pu être parcourue grâce aux modernes scaphandres par des membres de la S.S.S. sous la direction du géologue Michel Septfontaine et dont la topographie comprenant plus de 700 m sous l'eau a été dressée par l'ingénieur Jean Vigny ("Hypogées", No 39).

Il en a été de même pour la curieuse Grotte des Huguenots qui s'ouvre dans la chaîne du Grand-Colombier (Jura méridional) et dans laquelle circulent quatre torrents différents dont l'eau peut s'élever en période de crue à plus de 40 mètres au-dessus de l'entrée ("Hypogées", No 39, 1977)!

Le fond de la Grotte de Bange, dans la vallée du Chéran (Haute-Savoie) est occupé par un vaste lac. De courageux chercheurs savoyards bien équipés, supposant que la grotte se prolongeait à partir du fond de ce lac n'hésitèrent pas à y plonger... Ils découvrirent ainsi 660 mètres de galeries nouvelles dont 485 sous une eau profonde parfois d'une trentaine de mètres. Cette intrépide équipée leur valu une belle trouvaille: celle de la communication entre la Grotte de Bange et la caverne des Eaux-Mortes (travaux de l'équipe spéléo de Cluses et levés de Bernard Daviet, Yves Maulet et Robert Jean Baptiste).

Ces quelques exemples pris parmi beaucoup d'autres et ne concernant que des grottes régionales nous prouvent les progrès réalisés dans ce genre d'exploration.



La "Grotta Azzurra" (Italie) d'après une gravure du XIXe siècle.
(Collection A. Cigna)

En bateau sous la terre

Les Anciens étaient persuadés que seuls leurs dieux avaient le pouvoir de voguer sur les eaux inconnues des rivières et des mers hypogées. Amon Rê, dieu solaire égyptien, trône dans la barque du Soleil et navigue durant la journée sur la Terre, puis le soir s'y enfonce avec son bateau pour aller éclairer les demeures du monde souterrain. C'est en barque aussi que les morts des pays de l'Egypte quittent cette terre pour aller rejoindre le royaume des trépassés où ils sont jugés sur le comportement qu'ils eurent durant leur vie.

Selon la mythologie grecque, pour rejoindre l'empire d'Hadès, souverain des Enfers, les morts devaient traverser un grand fleuve, l'Archéron qui reçoit d'importants affluents tels le Cocyte, le Léthé et le Styx. Pour en franchir les ondes il fallait monter sur la barque du nautonier Charon qui exigeait une obole pour le passage. Si on ne la présentait pas au moment de l'embarquement, il chassait impitoyablement le fautif qui était alors condamné à errer sur la rive déserte du fleuve sans jamais trouver de refuge... Et c'est pourquoi les Grecs avaient toujours soin de mettre une pièce de monnaie dans la bouche du défunt.

Ces extraordinaires aventures nautiques subterrestres ont inspiré Jules Verne qui dans son "Voyage au centre de la Terre" décrit une mer immense pour la traversée de laquelle ses héros construisent un radeau.

Dans la réalité, ce sont les pêcheurs qui les premiers ont exploré les remarquables grottes marines qui s'ouvrent en quelques rivages et qui pénètrent souvent fort loin sous la

C'est en barque que les morts des pays de l'Egypte quittent cette terre pour aller rejoindre le Royaume des Trépassés. Ici, le défunt et sa suite sont conduits à la rame sur les flots de la rivière hypogée afin de rejoindre l'autre monde.

(Barque de la XIIe dynastie, Musée de Turin, photo Alinari)

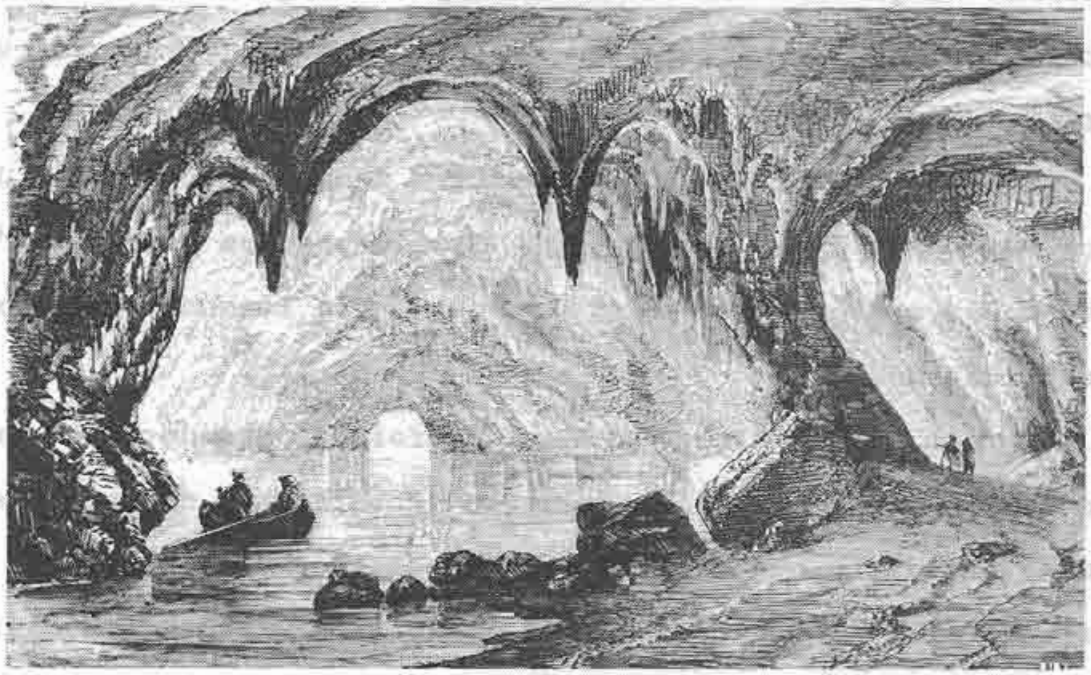
terre. Enquêtes bien anciennes déjà mais qui ne tardèrent pas à devenir un merveilleux périple pour les voyageurs curieux.

Quant aux grottes et aux gouffres donnant accès à des lacs ou des cours d'eau souterrains, il nous faudra attendre l'action des spéléologues pour les voir enfin franchir par des embarcations.

A part les cavernes marines, parfois sièges de fabuleux récits mythologiques, la navigation subterrestre ne prit réellement naissance que dans les temps modernes et à partir de constructions artificielles telles que canaux et égouts souterrains. Par exemple, à Paris on utilisa pour la surveillance du gigantesque égout de cette ville des bateaux dirigés par l'ancien système de traction dit touage. Il s'agit d'une sorte de tracteur qui se déhalait sur une chaîne reposant sur le fond du chenal. Aujourd'hui, pour remonter le courant, les bateaux sont tirés par un filin d'acier s'enroulant autour du treuil placé à bord ou encore ils sont remorqués par l'un des hors-bord de 40 CV du service d'entretien.

A Genève, on ne navigue pas sur ces eaux souterraines de nos égouts, mais une petite voie ferrée avait été installée sur le radier du collecteur de façon à faire circuler un wagonnet destiné aux travaux de nettoyage. Craignant que ce véhicule soit détruit ou même enlevé par le Rhône à la suite de fortes crues, les constructeurs avaient prévu de le relever au plafond du canal au moyen de chaînes et de palans, dispositif qui a été supprimé depuis.

Les explorateurs de grottes qui se virent interdire la suite de leurs opérations par la présence de nappes d'eau se dé-



Les pêcheurs sont les premiers explorateurs venus admirer l'étrange ambiance bleuâtre des eaux de la Grotte d'Azur (côte nord de Capri, Italie). Conr des Romains, puis oubliée, elle ne devient touristique qu'en 1826. Et maintenant elle reçoit environ 350.000 visiteurs chaque année !

(D'après C. Saglio, 1870)

Exploration, au siècle dernier, d'une rivière souterraine dans la grotte du Mammouth (Kentucky) au moyen d'une barque en bois et d'une simple torche.

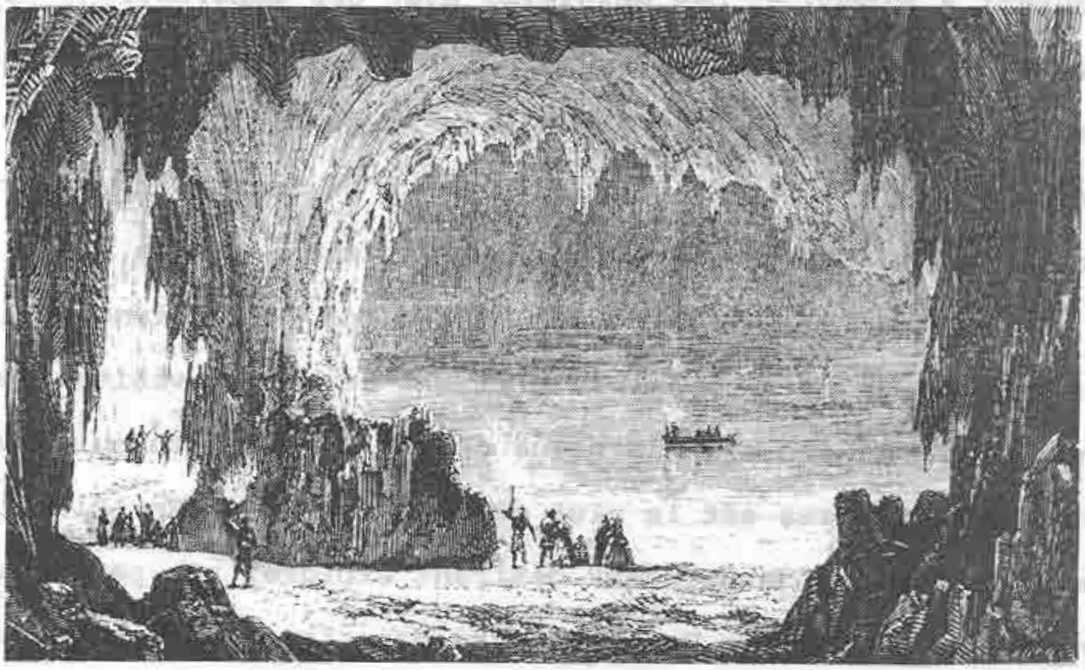
(D'après L. Figuier, 1884)

cidèrent à surmonter ces dernières avec des embarcations diverses allant de la simple planche au radeau et au petit bateau de plaisance ou de pêche. Mais amener ces engins, non prévus pour de tels emplois, au travers du dédale des cavernes ou au fond des gouffres n'était pas chose facile !

Au début du XIXe siècle, les Américains utilisèrent de lourdes barques en bois, à faible tirant d'eau, pour visiter les zones inondées de la gigantesque grotte du Mammouth qui avec ses 362 kilomètres est la plus grande du monde. En 1818, le comte de Robiano de Borsbeck désirant explorer une partie inconnue des grottes de Han-sur-Lesse dans la province de Namur, en Belgique, s'embarqua dans une petite cuve, une sorte de seille dite cuvelle. Mais cette frêle nacelle difficile à diriger ne tarda pas à chavirer dans le courant du gouffre... Le comte, heureusement, s'était attaché à une corde dont l'autre extrémité était tenue par des témoins restés sur la berge.

Après avoir utilisé des bateaux en bois aussi légers que possible, Martel en fit construire de démontables afin de pouvoir les hisser plus facilement dans les pays de montagne. Puis il imagina d'en faire fabriquer en toile imperméabilisée, tel celui qu'il utilisa en 1898 pour explorer le cours d'eau de la grotte belge de Remouchamps (Province de Liège).

Depuis cette époque on produit toute une gamme d'esquifs gonflables en caoutchouc toilé ou en matières plastiques diverses. Ces canots pneumatiques à une ou deux places sont parfois munis de compartiments étanches assurant la flottaison en cas de déchirure sur des rochers. Comme au temps du comte belge dont nous avons parlé, il est utile et même souvent indispensable de se munir de cordelettes flottantes et de couleur

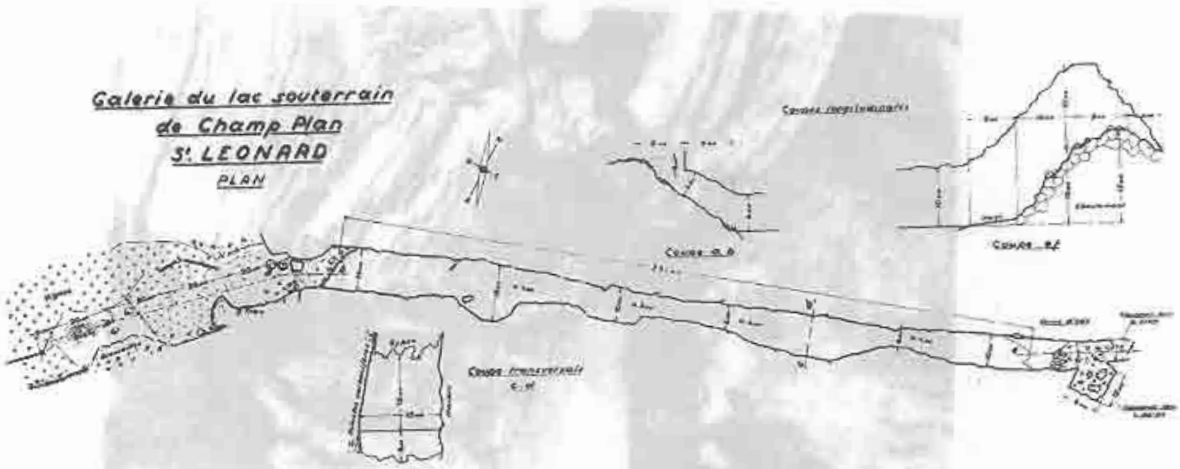


Bateau venant rejoindre le rivage de la vaste "Mer Morte"dans la gigantesque grotte du Mammouth (Kentuky, U.S.A.) au siècle dernier.
(D'après un dessin de Camille Saglio)

/ la découverte du sous-sol savoyard. Navigateur solitaire explorant la rivière souterraine de la Grotte de la Diau.

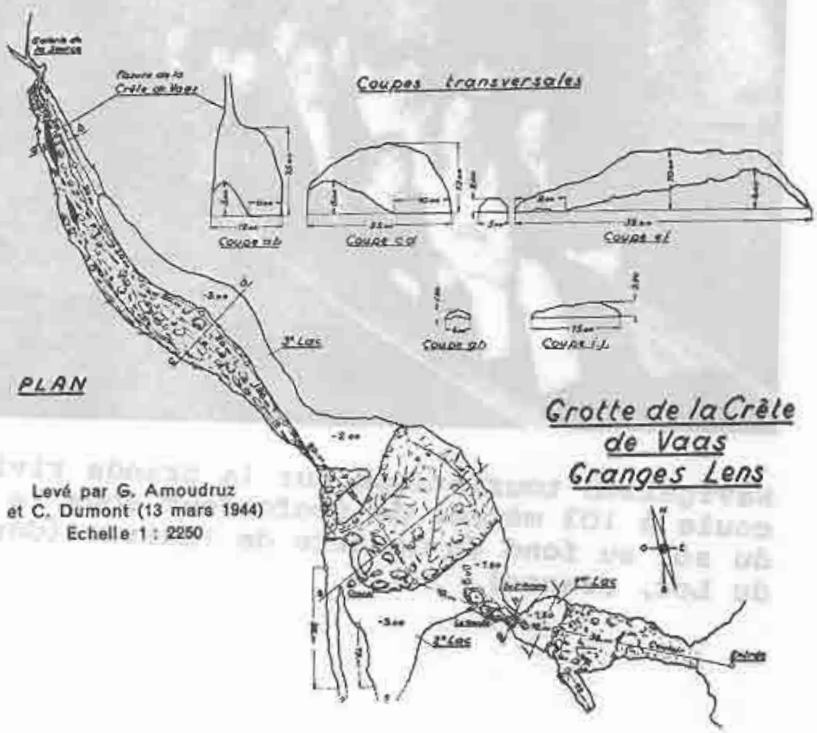
Navigation touristique sur la grande rivière qui coule à 103 mètres de profondeur sous la surface du sol au fond du Gouffre de Padirac (département du Lot, France).

L'exploration des grands lacs souterrains des Alpes faite pour la première fois en 1943 par Jean-Jacques Pittard et Jean Della Santa, a exogé l'emploi de petits canots pneumatiques.



Levé par G. Amoudruz et C. Dumont (8 mars 1944)
Echelle 1 : 2500

"La grotte et le lac de Saint-Léonard (Valais)" par J.-J. Pittard et J. Della Santa.
(Rev.Polythique et Bull. SSS, 25-11-1943)



Levé par G. Amoudruz
et C. Dumont (13 mars 1944)
Echelle 1 : 2250

"La grotte de la Crête de Vaas (Valais)" par J.J. Piztard, G. Amoudruz et J. Della Santa.
(Rev. Polytechnique et Bull.SSS, 25-08-44)

blanche (pour mieux les repérer) lorsque les équipes ont à effectuer des navettes sur une centaine de mètres de distance.

C'est avec une de ces embarcations que nous avons pu explorer en 1943 les beaux lacs souterrains de Saint-Léonard et de Vaas en Valais, les plus grands de l'Europe Centrale. C'est aussi, en Haute-Savoie cette fois, que de belles découvertes ont pu être réalisées dans la vaste grotte de la Diau. Aujourd'hui, la plupart des sociétés ou des clubs de spéléologie sont propriétaires d'une "flotte gonflable" leur permettant de longs périples dans l'inconnu.

En ce qui concerne les grottes ouvertes au tourisme et qui possèdent des lacs ou des cours d'eau navigables, on a rapidement saisi la nécessité d'édifier des ports d'embarquement souterrains et de mettre de solides et grandes barques à la disposition des visiteurs émerveillés de pouvoir cingler sur des flots si profondément enfouis sous la terre. C'est en France que l'on trouve les grottes offrant aux visiteurs les plus longs parcours sur des rivières navigables: à Bétharram et à Labouiche il est possible de faire plus de deux kilomètres et demi en bateau !

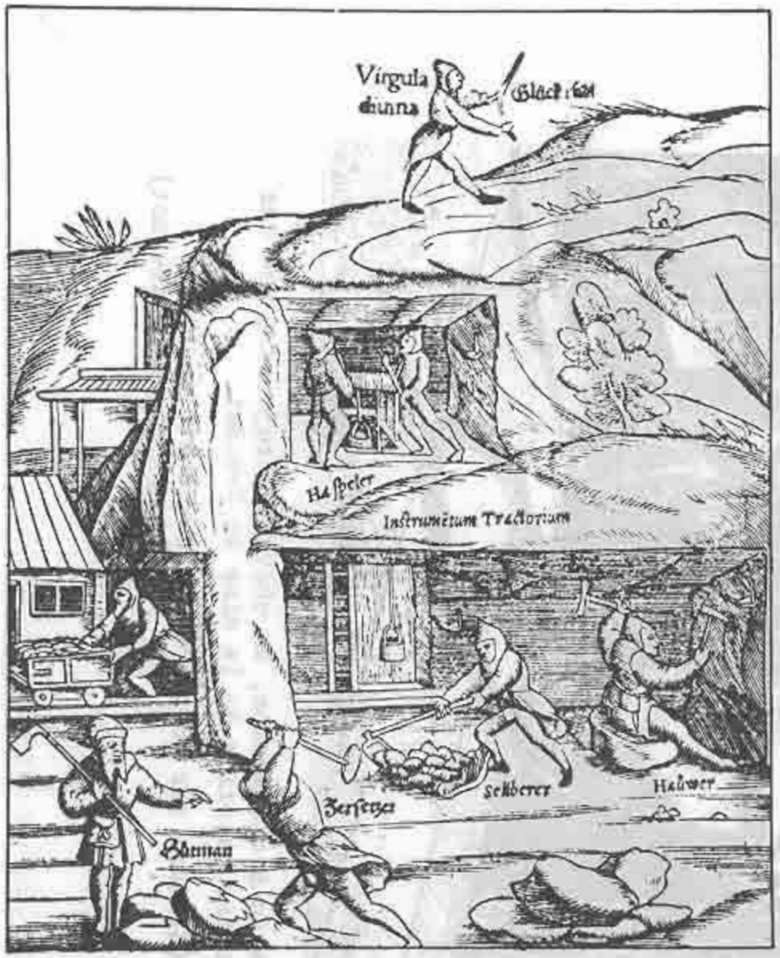
Du chien de mine au petit train

Les premiers véhicules utilisés pour le transport des hommes et des marchandises à l'intérieur du sol sont ceux qui furent élaborés pour le service des mines, conçus tout spécialement pour le charroi des minerais. Réalisés en solides planches et roulant sur des sortes de rails en bois, ils étaient désignés au XVIe siècle par le nom de "chiens de mine" à cause du bruit qu'ils faisaient en se déplaçant et qui ressemblait paraît-il aux lamentables aboiements d'un chien.

Leurs mouvements étaient assurés par des manoeuvres, des enfants ou des condamnés qui les poussaient ou les tractaient. Plus tard, et seulement lorsque la hauteur des galeries le permettait, on utilisa également le service des chevaux, ce qui n'empêcha pas, et jusqu'au début de notre siècle de contraindre de jeunes garçons à fournir la force motrice nécessaire à ces roulements.

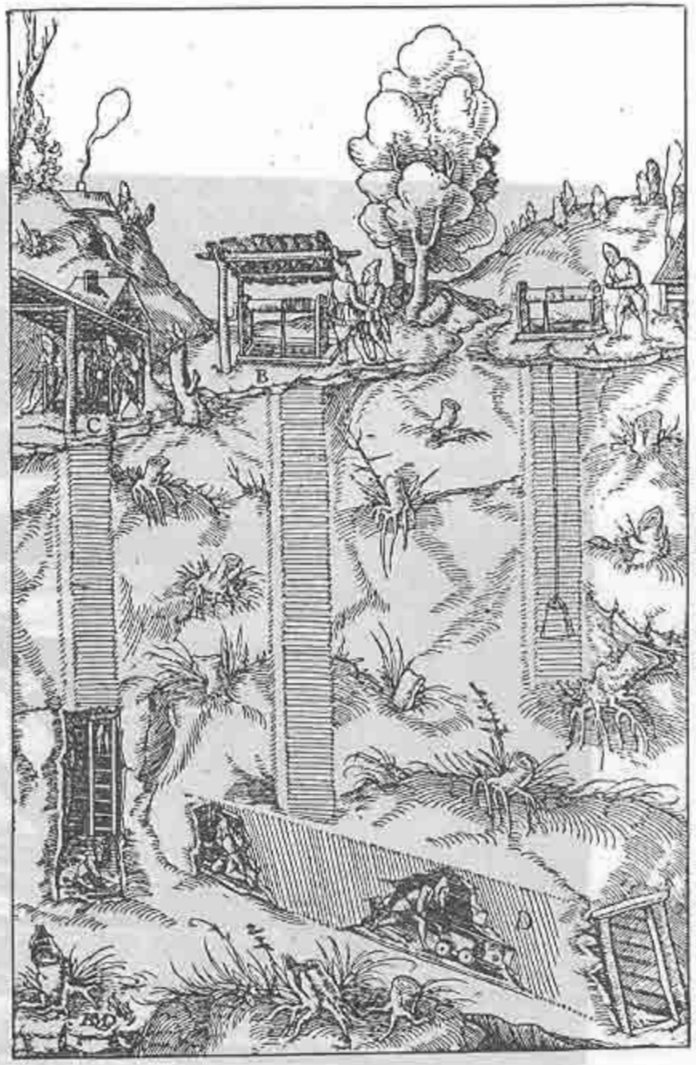
En ce qui concerne les chevaux, on pensait qu'ils étaient bien plus heureux sous terre que dans les champs comme nous le montrent ces lignes d'un ingénieur des mines écrites en 1867: ..."Les chevaux qui traînent les wagons sur les chemins souterrains sont descendus dans la mine attachés au câble, soit dans des filets, soit par des courroies. Quand cette manoeuvre s'opère, ils ne font pas le moindre mouvement, transis d'effroi et comme morts...

"Arrivés dans la galerie, ils reprennent peu à peu leurs sens. Ces intelligentes bêtes s'habituent vite à leur nouveau métier, et savent bientôt reconnaître tous les passages, les courbes, les points dangereux. Il faut voir avec quel soin elles évitent, dans les garages, les rencontres de



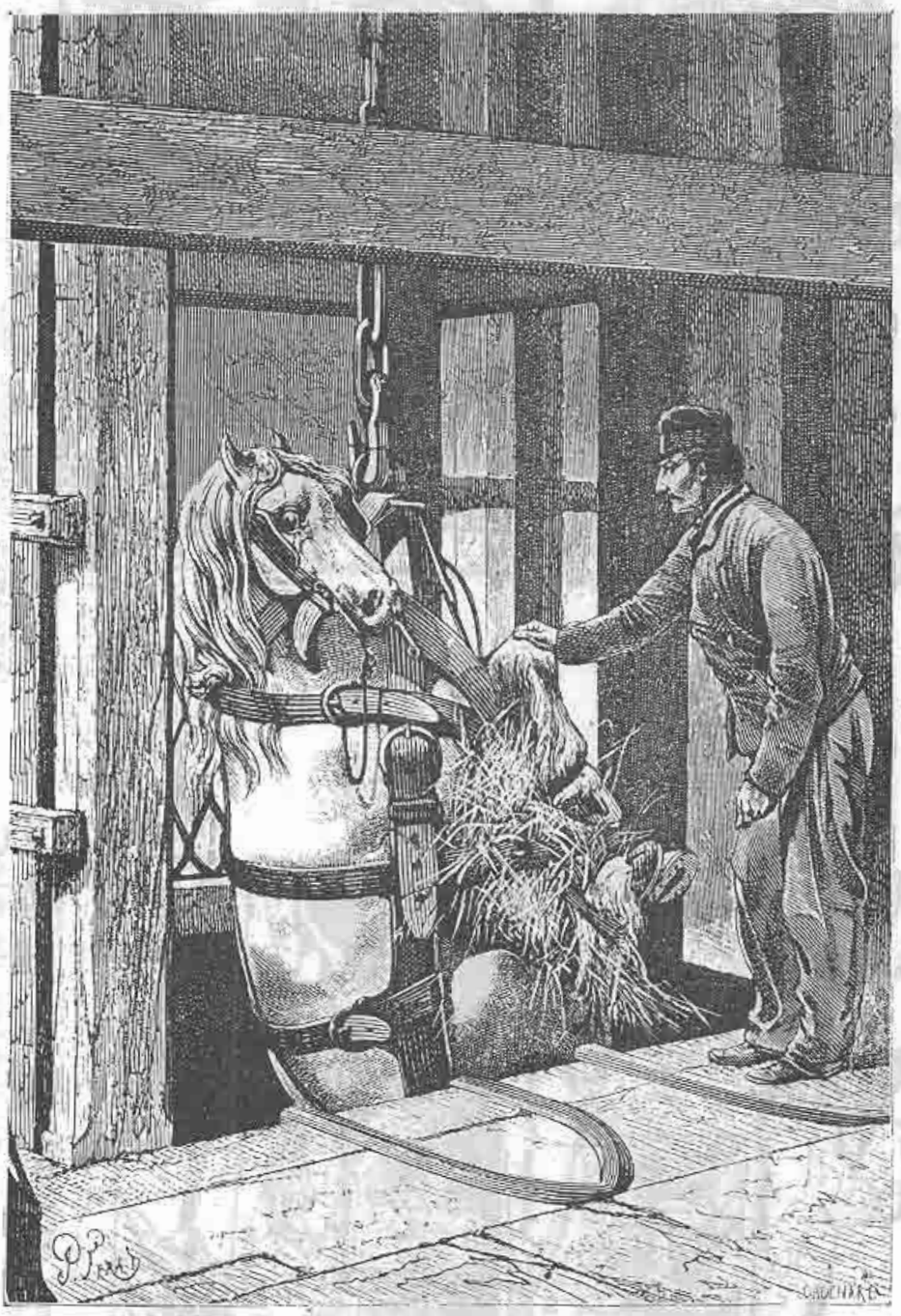
Intérieur d'une mine au Moyen Age. Avancement dans la roche au moyen du ciseau de carrier ou du pic; transport au moyen du "chien de mine" roulant sur voie en bois; tri et remontée du minerai par treuil à bras.

(D'après la "Cosmohraphie de Munster", (Bâle, 1550)



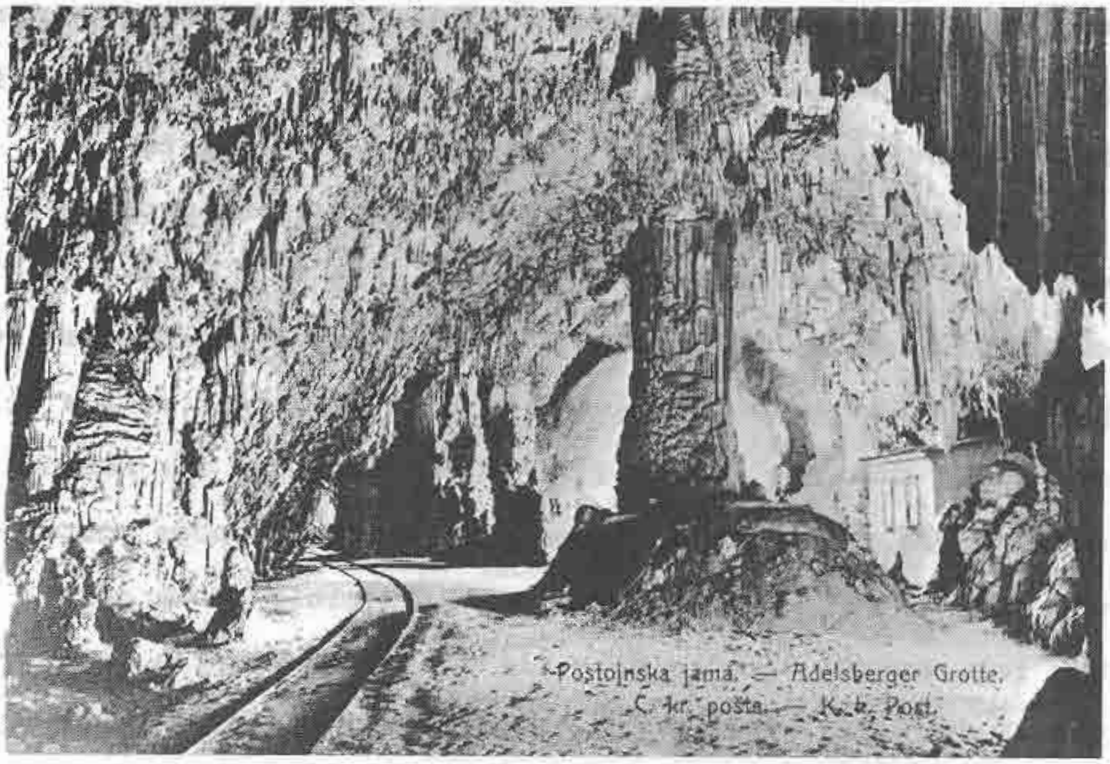
Ouvriers poussant des "chiens de mine" au fond d'une galerie dont l'accès se fait par des puits soigneusement boisés. Le nom ce ces chariots destinés au transport des minerais provient du bruit "semblable aux aboiements d'un chien" que font les roues en bois de ces primitifs véhicules.

(D'après Agricola, 1556)



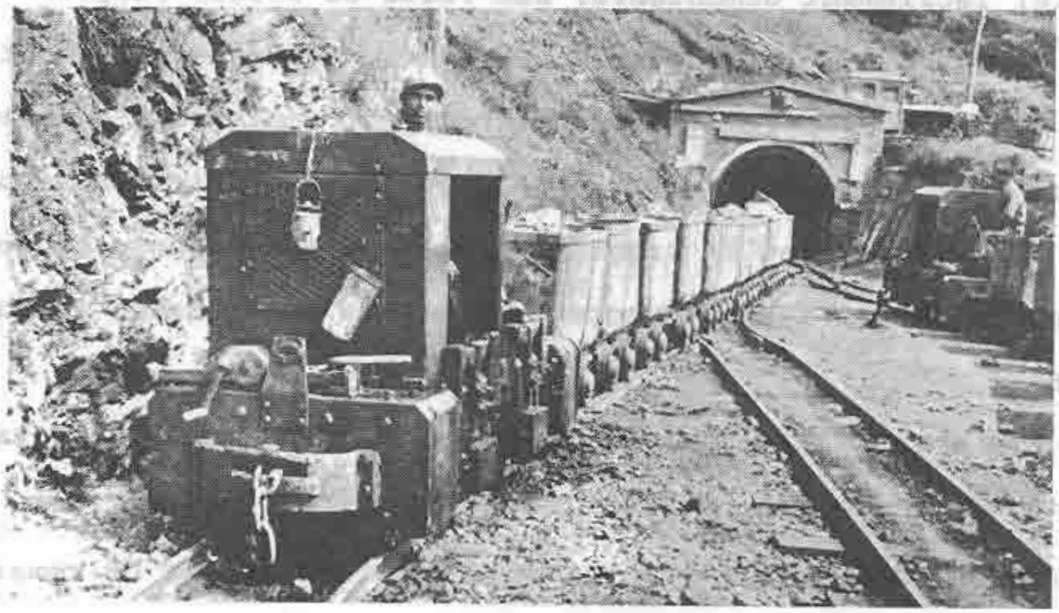
Suspendu à une chaîne, un cheval va rejoindre une des profondes galeries de la mine du Creusot.

(Gravure sur bois d'après une photo de la Sté des Mines du Creusot)



Paul Decauville est le créateur, au cours de la deuxième moitié du XIXe siècle, d'un petit chemin de fer industriel léger, à voie de faible écartement rivée sur traverses métalliques, facile à transporter, à installer ou à démonter.

Voie Decauville dans la grotte d'Adelsberger, la première qui a été établie dans une caverne (1872).



Voie Decauville d'un chemin de fer minier avec rails renforcés dans la région métallifère (cuivre, fer, plomb) des environs de Tchiprovtzi (Bulgarie).

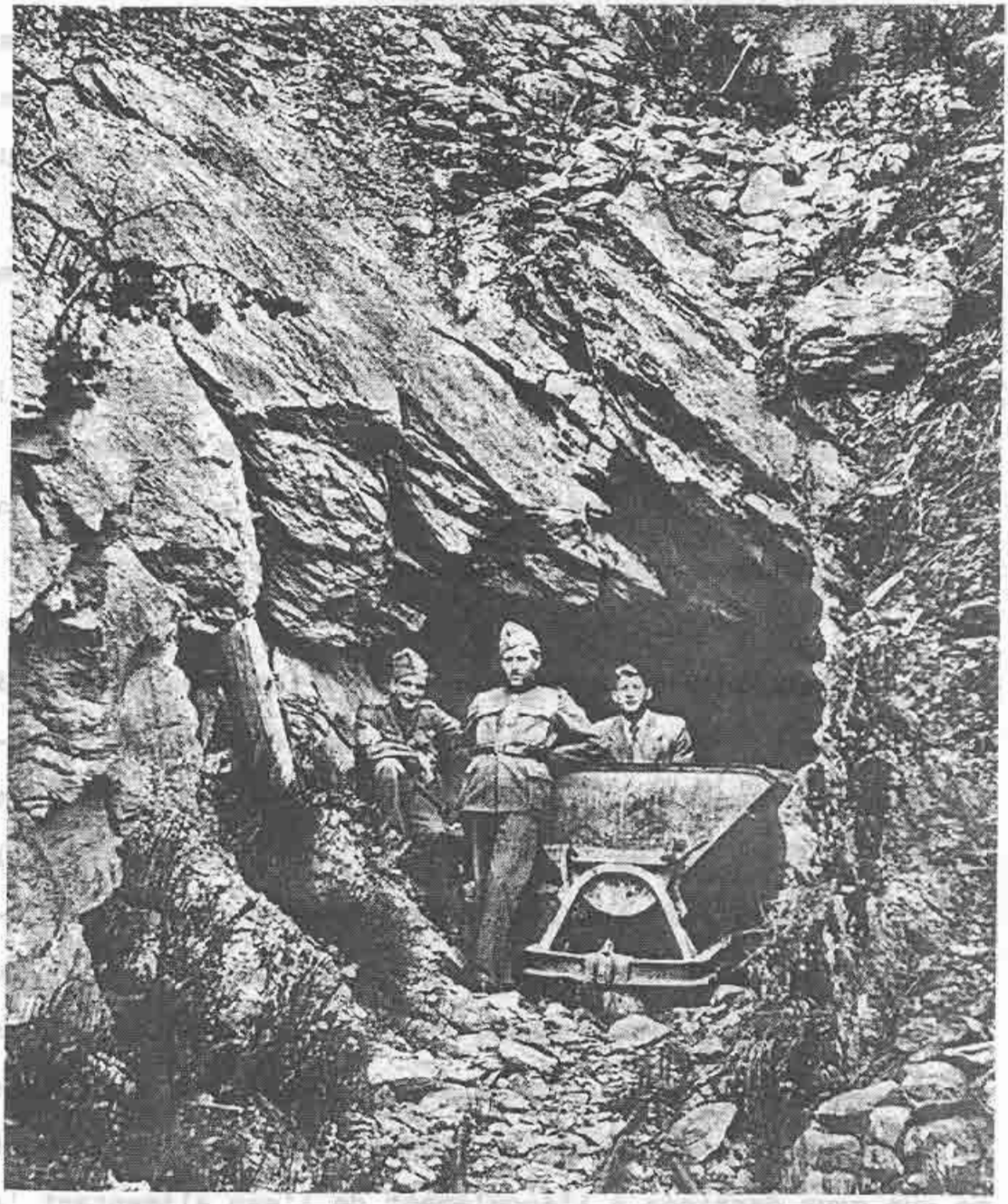
trains, et comme elles savent s'arrêter à distance aux portes d'aérage, afin de laisser au conducteur ou au gamin qui veille l'espace nécessaire pour l'ouverture de la porte.

"On les soigne comme d'utiles serviteurs. L'écurie est vaste, la litière renouvelée souvent. Le foin, l'avoine d'excellente qualité, garnissent les râteliers à l'heure des repas. Les chevaux deviennent gras et dodus, leur poil s'allonge et ils semblent préférer le séjour dans cet air humide, chaud et de température égale, à celui des grandes routes ou des champs, par le soleil, le vent, la pluie ou la gelée. Une fois entrés dans la mine ils n'en sortent plus. Ils y travaillent des années, et achèvent leur vie dans ce service utile..."

Evidemment ces animaux ne pouvaient dire si ils se souvenaient du soleil, des prairies et des arbres !

Les très pénibles exercices de traînage dans la nuit des mines ne seront facilités qu'à la suite de la création par Paul Decauville (1846-1922) d'un petit chemin de fer industriel facilement démontable, aux voies de faible largeur (0 m 40 à 0 m 60). Cette innovation va rapidement connaître un grand développement dans le transport souterrain qui ne tarda pas également à être de plus en plus amélioré surtout en ce qui concerne la traction grâce aux inventions successives des divers types de moteurs que nous connaissons aujourd'hui.

Des entreprises minières travaillant dans des gisements intéressants aussi par leur valeur historique ou par les beautés naturelles qui s'y trouvent ou encore par de remar-



L'emploi du chemin de fer Decauville a étérapidement généralisé pour les transports dans les galeries étroites et basses du monde souterrain. Mines de fer magnétique du Mont-Chemin sur Martigny (Valais).

(Photo J.J. Pittard)

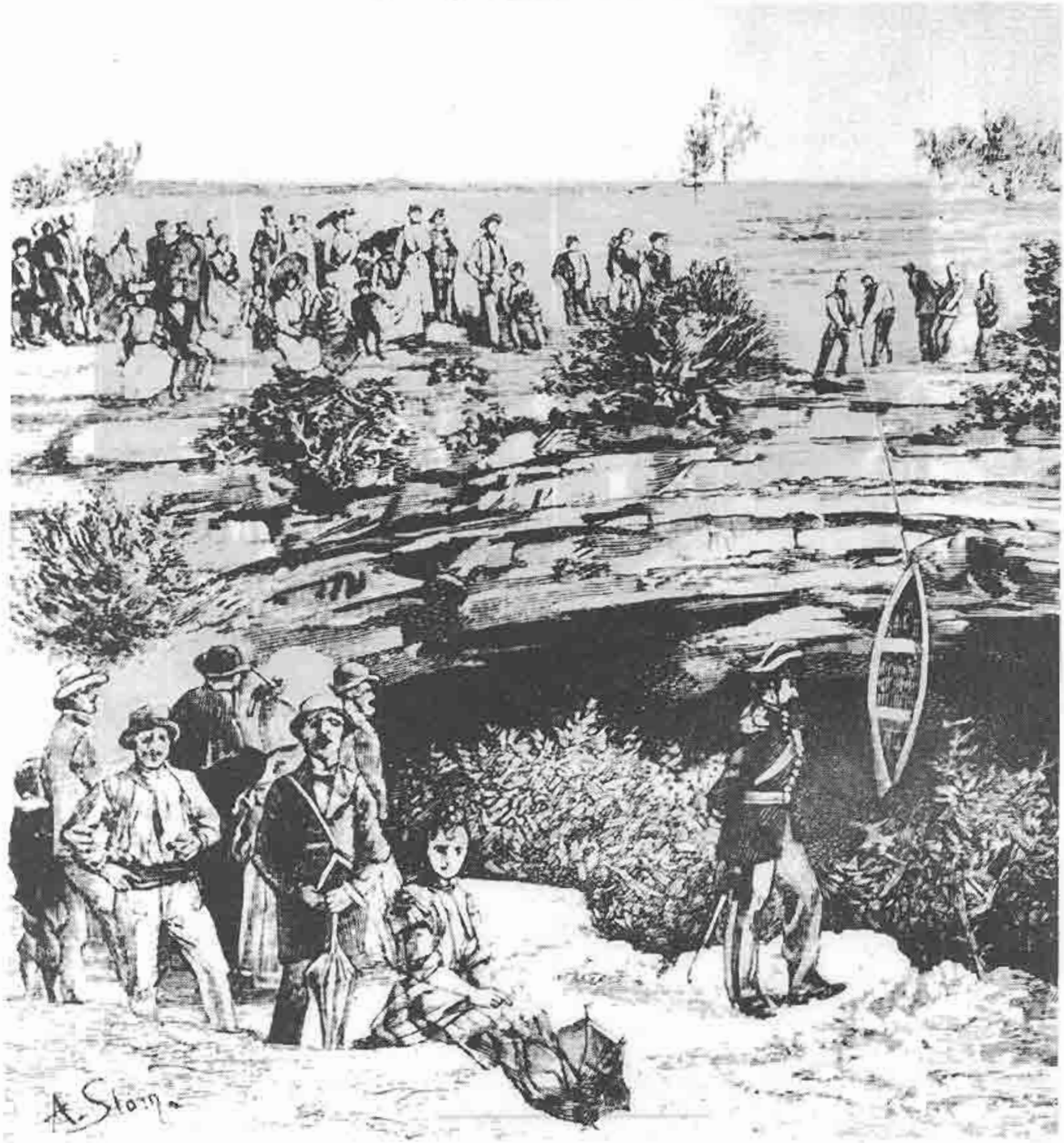
quables agencements techniques se sont également ouvertes aux excursions souterraines. C'est le cas, entre autres, à Bex en Suisse, à Hallein en Autriche, où des petits chemins de fer électriques emportent les voyageurs loin sous la terre.

Les promoteurs et les organisateurs du tourisme dans les grandes cavernes ont vite compris l'intérêt de pouvoir disposer d'une petite voie ferrée permettant de débiter rapidement et d'une manière pittoresque un nombre toujours plus grand de visiteurs enchantés. Le plus ancien chemin de fer souterrain construit dans ce but a été établi il y a plus d'un siècle dans la grotte d'Adelsberg ou Grotte de Postojnska (Yougoslavie). Cette caverne est la plus visitée de toutes celles qui ont été aménagées: chaque année, environ 700.000 voyageurs empruntent le petit train construit en 1872 !

En France, la belle grotte de Lacave (Lot) est desservie par un convoi électrique menant de l'entrée jusqu'à un ascenseur conduisant au coeur de la caverne. D'autres grottes telles Les Demoiselles (Hérault) ou l'Aven Armand (Lozére) ont eu recours au funiculaire pour transporter leurs visiteurs, ce que font par contre l'Aven d'Orgnac (Ardèche), de même que le Gouffre de Padirac (Lot) au moyen d'ascenseurs.

Les tunnels de plus en plus longs forés pour le service de la circulation ferroviaire, routière ou maritime, de même que ceux destinés à l'écoulement de l'eau alimentant les grands barrages de nos Alpes ou encore ceux des chemins de fer métropolitains n'ont évidemment rien à voir avec l'exploration souterraine telle que la conçoivent les spéléologues, pas plus qu'avec les problèmes techniques de la re-

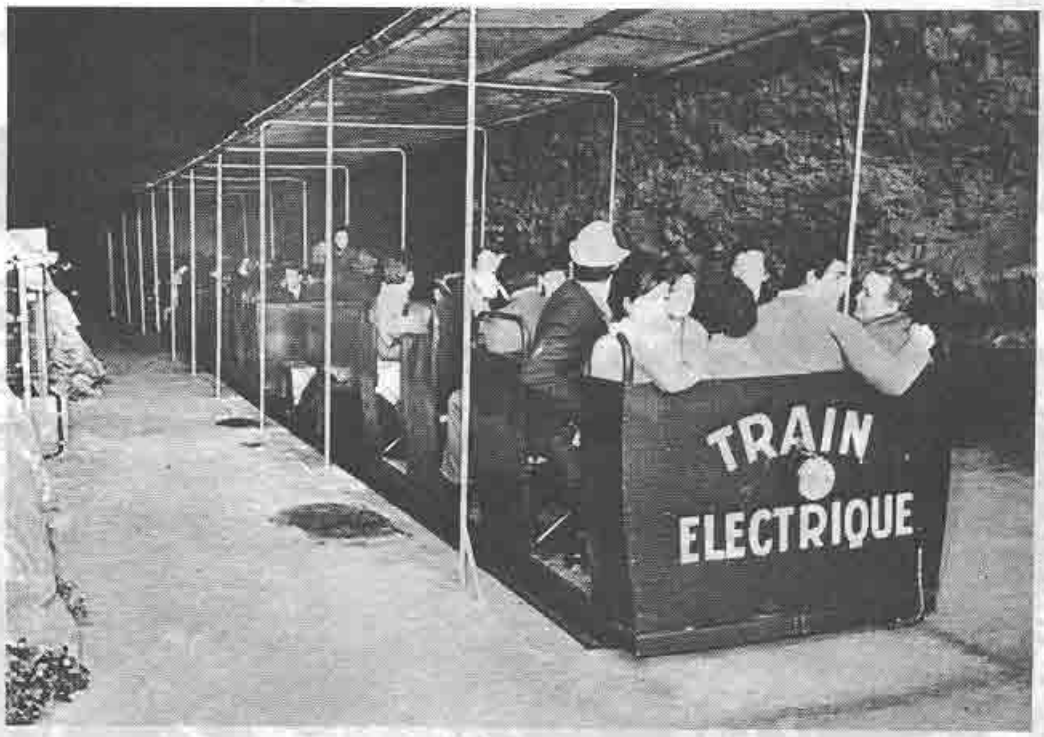
Avant la construction des ascenseurs pour grottes et abîmes...



La descente d'un bateau dans le gouffre de Padirac. Expédition Martel en 1889.

D'après un dessin de Slom)

cherche et de l'exploitation de richesses minières. Cependant ces diverses constructions hypogées ont permis parfois, et bien involontairement, de belles trouvailles dues au hasard de l'avancement: grottes, cascades, remarquables cristallisations, rivières souterraines, etc.



Un voyage pas trop fatiguant pour aller visiter la grotte de Lacave dans le département français du Lot.

Enigmes souterraines

Comment au cours des siècles des hommes ou des animaux ont-ils réussi à pénétrer dans certaines grottes dont beaucoup seraient inaccessibles aux explorateurs d'aujourd'hui sans les possibilités modernes que leur offrent pompes, scaphandres, agrès perfectionnés ou explosifs, toutes choses alors inexistantes ?

Les artistes qui, il y a des millénaires, ornèrent de magnifiques peintures les parois de nombreuses et profondes cavernes dans but de magie ou de cultes mystiques choisissaient presque toujours des hypogées si difficiles d'accès qu'on se demande parfois comment ils ont pu s'y rendre. Par exemple, quels chemins prenaient-ils, ces ancêtres, pour entrer dans la grotte espagnole de Pindal s'ouvrant sur la mer dans une falaise abrupte ?

* * *

Pour atteindre une salle remarquablement décorée par les Magdaléniens dans la grotte des Trois Frères (Ariège), les jeunes spéléologues fils du comte Begouën, le célèbre préhistorien, durent agrandir un trou soufflant et descendre dans un aven de 20 m de profondeur avant de pouvoir rejoindre le lieu secret des dessins. Ils purent ressortir au jour en rampant dans un boyau plein de boue. Comment les artistes d'il y a une douzaine de milliers d'années ont-ils fait pour empêcher leurs misérables lampes à graisse de s'éteindre sous les gouttes d'eau et les courants d'air à l'intérieur d'un

souterrain bas, étroit, suintant et boueux alors qu'avec les moyens de l'époque il était impossible de les rallumer en ces lieux venteux et humides. Transportaient-ils avec eux des braises incandescentes dans un récipient de "secours" ? On ne peut faire que des suppositions...

* * *

A la fin du siècle dernier, un cultivateur de La Mouthe, près des Eyzies en Dordogne, possédait à côté de sa maison une minuscule caverne au plafond très bas et dont il voulait faire un abri pour son matériel. Il en fit creuser le sol afin de pouvoir y circuler debout. Au cours de ces travaux, à une assez grande profondeur, apparut l'ouverture d'un étroit boyau dans lequel s'insinua un jeune et mince garçon muni d'une chandelle. Après un parcours de quelques mètres il se trouva dans une salle contre la paroi de laquelle il vit des peintures d'animaux. Par quelle voie les artistes de la Préhistoire étaient-ils venu là ? Il faut admettre que la grotte a subi un lent remplissage au cours des siècles... Mais comment ?

* * *

Pour s'introduire dans le Tuc d'Audoubert (Ariège), la fameuse grotte aux bisons d'argile, les Begouën durent remonter avec une embarcation un profond cours d'eau souterrain qui les amena à une cheminée escarpée puis à une minuscule chatière infranchissable. Il fut nécessaire de la dé-

sobstruer péniblement au marteau avant de pouvoir enfin accéder dans la salle très humide où reposaient les célèbres bisons sculptés en argile crue, entourés d'empreintes de pieds nus marqués dans une glaise restée moite depuis une douzaine de milliers d'années. Le pertuis avait-il été lentement muré au cours des temps par le développement des concrétions calcaires ? C'est la seule explication paraissant valable.

* * *

Il existe à Lesvaux dans le Mandallaz, montagne qui fait partie de la chaîne du Salève, une grotte dans laquelle nous avons été arrêtés par la présence de plusieurs siphons et d'étroitures infranchissables. En 1980, des membres de la Section de Genève de la S.S.S. munis d'une perforatrice électrique actionnée par le courant d'un groupe électrogène resté à l'extérieur réussirent non sans peine à ouvrir le passage. Puis, toujours grâce à cet engin ils purent vider au moyen d'une pompe les laisses d'eau qui occupaient une série de gours. Alors seulement, ils pénètrent enfin dans une galerie longue de 700 m à l'extrémité de laquelle ils eurent la stupeur de découvrir cinq squelettes humains !

Il s'agissait de personnes ayant appartenu à une tribu du Néolithique qui occupait ce pays il y a plus de 4000 ans. Que sont-elles venues faire là au fond ? La position de deux squelettes permet de penser qu'elles se sont allongées là pour mourir (les os des autres ont été dispersés par le ruisseau souterrain), n'ayant pu retrouver le jour. Leurs tor-

ches se sont-elles éteintes ? Ces gens ont-ils été surpris par une brusque montée de l'eau qui leur aurait interdit la sortie en siphonnant sous la voûte basse ?... On n'en sait rien ! Et comment sont-ils parvenus dans cet hypogée ? Toutes les recherches entreprises démontrent qu'il n'y a aucune autre issue possible que celle de l'entrée et ces Néolithiques ne disposaient ni de perforatrice ni de pompe... Le boyau était-il moins concrétionné que de nos jours ? C'est possible mais non certain et le mystère reste entier...

* * *

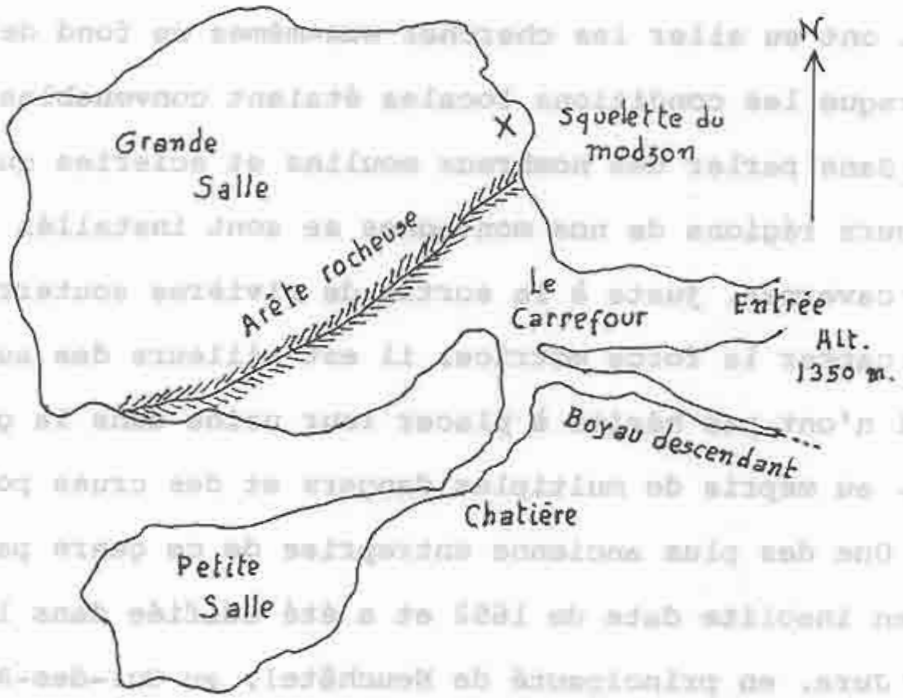
Il n'y a pas que les hommes qui nous posent de tels problèmes: il existe dans le Pays de Gex, dans la commune de Saint-Jean-de-Gonville près de Genève, une curieuse grotte, la Tanière du Modzon dont l'orifice s'ouvre au levant, à 1350 m d'altitude.

L'entrée fort basse n'est pas très engageante et fait penser à un terrier en partie comblé par de l'humus. En s'insinuant à plat ventre dans un étroit conduit long de deux mètres on arrive dans une très petite salle, Le Carrefour, d'où partent trois galeries dont l'une n'est qu'un boyau devenant vite impénétrable. Une autre amène à une petite salle presque remplie de gravier pour l'entrée de laquelle il faut d'abord ramper, puis se faufiler dans une étroiture. Revenons maintenant laborieusement au Carrefour pour prendre le troisième corridor donnant sur une chambre plus vaste et dont la première partie est entièrement et curieusement traversée par une étrange arrête de roche haute de trois mètres. La

pièce spacieuse est longue de 7 m, large de 6 m avec un plafond se situant à 5 m de hauteur environ.

Oh, mais que voit-on là dans l'angle de cette salle et de l'autre côté de la lame rocheuse ? Le squelette d'une petite vache portant des cornes ! Par quel sortilège est-il venu mourir en cet endroit, ce modzon qui a donné son nom à la grotte ? Avec son corps plus gros que celui d'un homme, il n'a pas pu ramper et d'ailleurs ces bêtes ne rampent pas ! Et comment passer par dessus une barre rocheuse haute de trois mètres après s'être glissé dans une très étroite chatière ?

Alors ? Eh bien, la Tanière du Modzon garde toujours son secret...



Une énigme : comment une petite vache (modzon) a-t-elle fait pour pénétrer dans cette grotte ?
La "Tanière du Modzon", plan-croquis S.S.S. d'après E.Pellaton. Coordonnées : 876,3/143,1. Altitude : 1350 m. (Carte Saint-Julien-en-Genevois, Feuille 2. 1/20.000).

Emplois anciens et curieux de l'énergie hydraulique souterraine

Quand on parle d'énergie souterraine, on pense naturellement à celle pouvant produire de la chaleur soit grâce à la géothermie, soit à partir de phénomènes volcaniques. Il existe en effet des manifestations de ce genre dans les pays qui s'y prêtent. C'est ainsi qu'en Toscane, les vapeurs émises par les suffioni et captées en profondeur font mouvoir des turbines assurant le 11ème de l'électricité fournie au réseau italien. Mais cette importante puissance utile on va la chercher loin sous la terre au moyen de sondages: personne ne peut y aller voir.

Les forces dont nous voulons parler sont infiniment moindres, mais elles mettent en valeur l'ingéniosité des hommes qui ont su aller les chercher eux-mêmes au fond des grottes lorsque les conditions locales étaient convenables.

Sans parler des nombreux moulins et scieries qui en plusieurs régions de nos montagnes se sont installés à l'entrée de cavernes, juste à la sortie de rivières souterraines pour en capter la force motrice, il est ailleurs des audacieux qui n'ont pas hésité à placer leur usine dans la grotte même, au mépris de multiples dangers et des crues possibles.

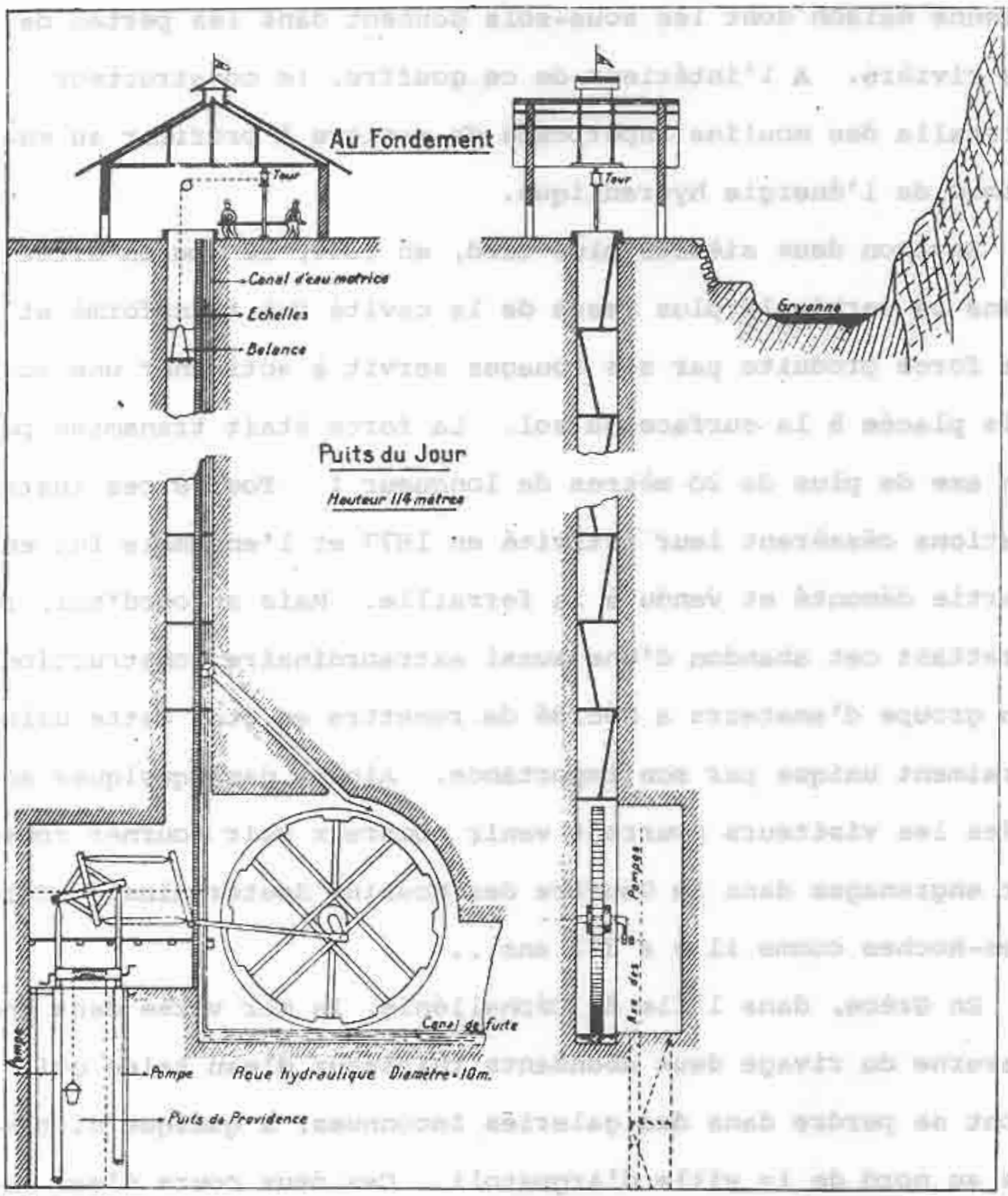
Une des plus ancienne entreprise de ce genre paraissant bien insolite date de 1652 et a été édifiée dans les monts du Jura, en principauté de Neuchâtel, au Cul-des-Roches (actuellement Col-des-Roches) à l'intérieur d'une perte du Bied, la rivière qui arrose la vallée du Locle avant d'aller s'abîmer dans son exutoire souterrain.

L'entrée de la cavité se trouve à l'intérieur d'une ancienne maison dont les sous-sols donnent dans les pertes de la rivière. A l'intérieur de ce gouffre, le constructeur installa des moulins superposés de manière à profiter au maximum de l'énergie hydraulique.

Environ deux siècles plus tard, en 1844, le moulin situé dans la partie la plus basse de la cavité fut transformé et la force produite par ses rouages servit à actionner une scierie placée à la surface du sol. La force était transmise par un axe de plus de 20 mètres de longueur ! Toutes ces installations céssèrent leur activité en 1877 et l'ensemble fut en partie démonté et vendu à la ferraille. Mais aujourd'hui, regrettant cet abandon d'une aussi extraordinaire construction un groupe d'amateurs a décidé de remettre en état cette usine vraiment unique par son importance. Ainsi, dans quelques années les visiteurs pourront venir nombreux voir tourner roues et engrenages dans le Gouffre des Moulins Souterrains du Col-des-Roches comme il y a 332 ans...

En Grèce, dans l'île de Céphallénie, la mer verse dans une caverne du rivage deux abondants ruisseaux d'eau salée qui vont se perdre dans des galeries inconnues, à quelque distance au nord de la ville d'Argostoli. Ces deux cours d'eau marins qui deviennent souterrains sont assez considérables pour mettre en mouvement les roues de grands moulins dont l'un d'eux date de 1835.

Que l'eau de la mer aille continuellement se perdre dans des gouffres en faisant tourner des moulins, c'est facile à concevoir, mais dans quel abîme souterrain va-t-elle se perdre sans jamais le remplir ? Bien des hypothèses ont été



Le grand "Puits du Jour" à l'intérieur des vastes mines de sel de Bex avait été construit au XVIIIe siècle dans la montagne pour relever l'eau salée d'un niveau inférieur. Il fonctionnait grâce à une énorme roue motrice de 10 mètres de diamètre mise en marche par l'eau de la Gryonne dérivée dans une conduite, puis évacuée au dehors par un niveau intermédiaire. Pour surveiller la bonne marche de l'installation, les ouvriers devaient s'appuyer 114 mètres d'échelles souterraines... Le matériel nécessaire à l'entretien était acheminé par un élévateur actionné manuellement.

(D'après un document des Mines de Bex)

émises. On a imaginé, fait remarquer le géographe E. Reclus, d'immenses lacs hypogés dont "l'évaporation constante au travers des roches suffirait pour compenser l'arrivée des eaux marines". D'autres, comme le géologue Wiebel ont pensé que ces eaux se répartissaient dans les innombrables fissures du sol d'où elle était ramenée dans l'atmosphère "par un phénomène d'aspiration hydrostatique dans des ruisseaux d'eau douce, ce qui expliquerait la présence de plusieurs sources d'eau saumâtre qui jaillissent en divers endroits à la base des collines de cette île".

Le sol de la Céphallénie très fissuré est percé de nombreux entonnoirs qui absorbent le peu d'eau de pluie tombant dans ce pays assez sec et chaud. Favorisée par les vents, l'évaporation est si intense dans un tel territoire qu'elle compenserait l'arrivée du flux marin... Certains ont vu aussi dans cette étrange situation une relation possible avec de lointains phénomènes volcaniques dont la chaleur serait suffisante pour vaporiser cette eau au fur et à mesure de son arrivée.

Près de chez nous, à l'intérieur des grandes mines de sel de Bex, les ingénieurs avaient installé au XVIIIe siècle une très grande roue motrice de 10 mètres de diamètre mise en marche par la chute d'eau provenant d'une conduite souterraine dérivée de la rivière Gryonne qui coule à la surface de la montagne. Cette installation des plus remarquable pour l'époque avait pour but de relever par pompage l'eau salée d'un niveau inférieur de la mine.

Quel travail, et que de difficultés à vaincre pour venir à bout d'un tel ouvrage au coeur de la montagne alors que

l'on ne connaissait ni perforatrice, ni excavatrice et qu'on ne disposait que du pic, du burin et du marteau pour attaquer la roche !

Les trois exemples que nous avons mentionné montrent que le dangereux et imprévisible monde souterrain des grottes et des gouffres, comme celui des mines, n'était pas un empêchement lorsque avec beaucoup d'ingéniosité on voulait absolument en obtenir de la force motrice pour autant qu'un courant d'eau, de même qu'une situation géographique compatible, le permettaient.

Nombreuses sont aujourd'hui les modernes et puissantes installations souterraines productrices d'énergie qui laissent bien derrière elles les fameux "moulins sous la terre".

Une puissante énergie hydraulique souterraine surgit de la caverne de la Jogne à Jaun, dans le canton de Fribourg...
(Photo J.J. Pittard)

Les limites de l'exploration de notre sous-sol

Dans un précédent chapitre nous avons vu que des spéléologues étaient descendus à près de 1500 mètres sous terre (gouffre "Jean-Bernard" près de Samoëns, le plus profond du monde connu à ce jour) dans des cavités naturelles. Dans les mines, l'homme n'hésite pas à aller travailler à 3582 mètres de profondeur ! Et on ne tardera pas à descendre encore plus bas...

Un fabuleux projet étudié en 1980 est actuellement en voie de réalisation: il s'agit du gisement sud-africain de la Western Deep Levels auquel nous avons fait allusion plus haut et que l'on va encore approfondir pour aller chercher de l'or à 4265 mètres sous la surface du sol, travaux estimés à 716 millions de rands. Déjà s'élève au-dessus du puits d'extraction une tour de béton haute de 86 mètres destinée à la circulation en deux étapes des ascenseurs et qui permettra dès 1986 de remonter 400.000 tonnes par mois de roche destinée à être travaillée dans les usines de la surface pour en extraire le précieux métal. Comme là au fond la température dépassera 50° malgré l'aérage par courant d'air, il a été nécessaire de construire une installation d'air conditionné.

Des forages s'enfoncent bien plus profondément encore, mais là, les hommes ne peuvent y aller étudier les roches. Des sondages pétroliers descendent souvent à plus de 5000 mètres. Les Américains ont réalisé avec le "Glomar Challenger", dans le cadre du projet "Deep See Drilling", un forage en mer à plus de 7 kilomètres sous la surface.

On procède aussi à de nombreux forages profonds pour l'exploitation de la géothermie dont certains fournissent directement de la vapeur d'eau surchauffée et sous pression, com-

me celui de la "Sonota" en Californie qui renvoie ce fluide venant de couches situées à près de trois kilomètres de profondeur.

Le gaz aussi, on va le chercher bien loin sous la terre. C'est ainsi qu'à Washita County en Oklahoma, la Compagnie américaine "Loffland Brothers Drillings" fait remonter le gaz naturel dans un tube long de 9.500 mètres ! Et là au fond il fait vraiment bien chaud: pas moins de 215° ! Mais c'est là, encore une fois, des trous où il serait impossible à des explorateurs de se rendre et les renseignements d'ordre géologique indispensables ne peuvent être obtenus que par l'étude des carottes extraites par les foreuses.

On aimerait tellement savoir ce qu'il y a beaucoup plus bas encore, et comme on ne peut pas y aller soi-même, les savants ont échaffodé des théories basées sur l'observation des ondes sismiques traversant l'écorce terrestre et la connaissance de ce qui se passe dans les régions volcaniques comme dans celles affectées par les tremblements de terre.

On sait que les continents sont constitués dans leur ensemble par des roches granitiques pouvant être masquées ici ou là et en diverses régions par des dépôts sédimentaires. Les dérivés du silicium et de l'aluminium sont les éléments dominants de cette écorce terrestre, le sial, de densité 2,7 et d'épaisseur approximative de 35 kilomètres. Ce sial flotte sur un magma plus ou moins fluide, le sima, de densité 3, constitué de roches basaltiques contenant moins de silice mais plus de magnésium et de fer.

On a pu constater, par voie sismique, que le sial n'a pas partout la même épaisseur et qu'il s'amoindrit dans le fond

des grands océans. Cette discontinuité sismiquement remarquée par le géologue et sismologue yougoslave Mohorovicic, indique un changement dans la propriété des roches à 35 kilomètres de profondeur sous le continent et à 5 kilomètres seulement dans les grands fonds sous-marins.

Nos continents se comportent donc comme d'immenses radeaux (on dit des plaques) dérivant sur un épais magma en fusion plus ou moins pâteuse. Ces déplacements créent dans le fond des océans des fissures d'où émergent aux frontières des plaques des torrents de lave, ce qui n'a pu être vraiment constaté qu'en 1974. Ces gigantesques mouvements, Wegener les avait présenti en 1915 en établissant sa théorie de la dérive continentale qui, à l'époque, fut considérée par beaucoup comme une rêverie de poète. Or, Wegener avait raison, ce qui a pu être démontré par la célèbre expédition franco-américaine "Famous" (1974) descendue à 3000 mètres sous les eaux de l'Atlantique.

C'est grâce au bathyscaphe imaginé et construit par Auguste Piccard, de Lutry (canton de Vaud), que de telles explorations purent être enfin envisagées, ouvrant alors aux hommes l'accès aux grandes profondeurs sous-marines. Rappelons que le "Trieste" piloté par Jacques Piccard, fils de l'inventeur, a pu atteindre 10.910 mètres dans la fosse des Marianes. Ce sont les bathyscaphes Alvin, américain, et Archimède français qui, accompagnés par la soucoupe Cyana, plus mobile, ont participé à cette sensationnelle recherche dans le Rift, une gigantesque vallée sub-atlantique.

Le but des chercheurs était d'identifier les phénomènes qui se produisent sur la marge d'une plaque dans le Rift

médio-atlantique à 3000 mètres de profondeur et d'étudier la faille la plus proche des pentes de cette vallée.

Cette très remarquable et extraordinaire enquête, la première de ce genre dans le monde, a été décrite par les auteurs Claude Riffaud et Xavier Le Pichon dans leur passionnant ouvrage "Expédition Famous à 3000 mètres sous l'Atlantique".

On est donc pas très loin du sima sur lequel nous flottons et de la discontinuité de Mohorovicic dont on voudrait bien connaître la nature. Ce désir est en voie de réalisation: Russes et Américains ont réalisé dans ce but un projet "Mohole" (de Mohorovicic, et Hole = trou). Actuellement, dans la péninsule de Kola, une exploration géologique par forage a été entreprise en vue de descendre les sondes à 15 kilomètres de profondeur. A ce jour les Russes ont atteint 11 kilomètres et progressent de 11 mètres par jour quand tout va bien.

Selon la géothermie, il régnerait à 15.000 mètres sous nos pieds une température de 550° ! Un terrible frein si on voulait continuer... A 100 kilomètres la chaleur atteindrait théoriquement 3000° ! L'homme et ses machines n'y résisteraient pas...

L'impossible "Voyage au centre de la Terre"

Dans son "Voyage au Centre de la Terre", Jules Verne (1828-1905) imagine une descente dans le profond cratère d'un volcan islandais éteint, le Sneffels, puis dans la cheminée de ce dernier. Cette cheminée (obstruée dans la réalité par les laves refroidies) conduit les explorateurs, après mille péripéties, sur le rivage d'une immense mer souterraine dont la voûte se soutient comme les parois d'une énorme bulle enfermée dans des rocs compacts.

Embarqués sur un primitif radeau vivement entraîné grâce à des vents produits par des phénomènes électro-magnétiques, les navigateurs passent sous le continent européen, arrivent dans une région de volcanisme actif...

Ignorant sa position, la boussole s'étant affolée, le professeur Lidenbrock décide de s'ouvrir un nouveau passage à coups de mine. L'explosion déclanche alors une éruption... et le radeau est soulevé par des laves repoussant devant elles les scories refroidies d'une précédente éruption, écran évitant de trop graves brûlures. Le professeur Lidenbrock et ses deux compagnons sont emmenés ainsi jusqu'au sommet d'une montagne, retrouvent enfin le jour sur les flancs du cratère du Stromboli, dans les Iles Eoliennes, au nord de la Sicile !...

Illustrateur de ce fantastique roman d'aventure, le dessinateur Riou nous donne un aperçu des dangereux et primitifs procédés de descente imaginés pour atteindre le "centre de la Terre".

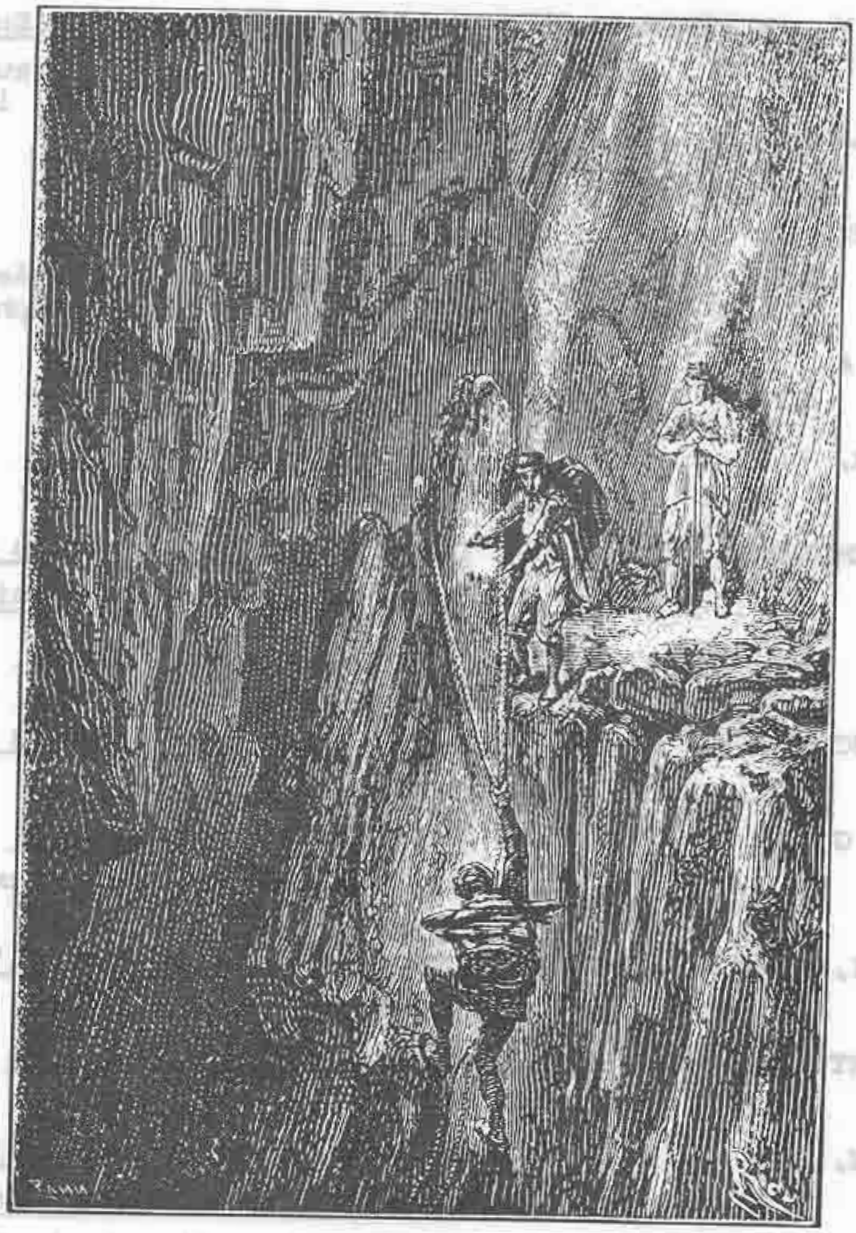
Pour balayer l'objection de la géoth ermie du globe, Lidenbrock s'était inspiré d'une idée d'Humphry Davy imaginant l'existence de températures terrestres régionales et proches de la surface, ces dernières étant dues à des réactions chimiques entre l'eau météorique et des métaux inflammables tels le sodium et le potassium, par exemple.

La descente commença (p. 121).

Pour son voyage au centre de la Terre, l'expédition avait naturellement emporté une grande provision de cordages. Et pour récupérer ces derniers : ..."Mon oncle employa un moyen fort simple. Il dérpula une corde de la grosseur du pouce et longue de quatre cents pieds; il en laissa filer d'abord la moitié, puis il l'enroula autour d'un bloc de lave qui faisait saillie et rejeta l'autre moitié dans la cheminée. Chacun de nous pouvait alors descendre en réunissant dans sa main les deux moitiés de la corde qui ne pouvait se défiler; une fois descendus de deux cents pieds, rien ne nous serait plus aisé que de la ramener en lâchant un bout et en halant sur l'autre. Puis on recommencerait cet exercice ad infinitum."

L'auteur ne se demande pas comment on ferait pour remonter!

(D'après un dessin de Riou)



Descente verticale (p. 169).

C'est au moyen de ces simples cordes que le professeur Lidenbrock, son neveu et son guide vont s'enfoncer verticalement dans les profondeurs du globe...

(D'après un dessin de Riou)

B I B L O G R A O H I E

AELLEN,V. et STRINATI,P, Guide des Grottes de l'Europe. Delachaux et Niestlé, Neuchâtel, 1975.

AGRICOLA De Re Metallica. Basilea, 1556.

AMOUDRUZ, G. Spéléologie. Manuscrits inédits. Musée d'Ethnographie, Genève.

BADIN, A. Grottes et Cavernes. Hachette, Paris, 1870.

BARBIER, V. La Savoie industrielle. Géorg, Genève, 1875.

BERGBUCHLEIN "Ouvrage composé à la fin du XVe siè- siècle pour servir de guide aux aux minerais". Traduit par M. Daubrée.

BIRINGUCCIO, V. La Pyrotechnie ou Art du Feu. Paris, 1556.

BLOCK, G. de Cavernes et souterrains. Editions techniques, Bruxelles, 1980.

CAROZZI,A. et ALBANESI,C. Le Gouffre de la Tanna-L'Oura. Bull. SSS, Genève, 1948.

CASTERET, N. Ma Spéléologie de A à Z. Perrin, Paris, 1968.

DAUBREE, M. La génération des minerais métalliques dans la pratique des mineurs du Moyen Age d'après le Bergbüchlein. Paris, 1890.

DENIS, J. Manuel du Mineur. Ballières, Paris, 1922.

DRESSLER, B. et MINVIELLE, P. La Spéléo. Denoël, 1979.

FAVRE, G. et BOURNE, J.-D. La Barme Froide. HYPOGEES No 36, SSS, Genève, 1975.

FOURNET, J. Du mineur, son rôle et son influence dans les progrès de l'archéologie et de la géologie. Savy, Paris, 1862.

JOLY, R. de — Comment on descend sous terre.
Gap. 1947.

LEFEBVRE DES NOETTES — La force motrice animale à travers les âges.
Berger-Levrault, Paris, 1924.

LE ROYER, A. — "In Memoriam" 1860-1922.
Genève, 1926.

MARTEL, E.-A. — Les Abîmes.
Paris, 1894.

MARTEL, L. — La technique du mineur.
Dunod, 1929.

MUNSTER — Cosmographia universalis.
Bâle, 1550.

PITTARD, J.J. — La recherche et l'exploitation des mines au Moyen Age.
Rev. Polytechnique, Genève, 1933.

PITTARD, J.J. et DELLA SANTA, J. — La grotte et le lac de Saint-Léonard (Valais).
Rev. Polytechnique et Bull. SSS, Genève, 1943.

PITTARD, J.J., AMOUDRUZ, G. et DELLA SANTA, J. — La grotte de la Crête de Vaas (Valais).
Rev. Polytechnique et Bull. SSS, Genève, 1944.

PITTARD, J.J. — Le rôle des cavernes et des souterrains dans le folklore savoyard.
Genève, 1974.

PITTARD, J.J. — Les lacs souterrains du Valais central.

PITTARD, J.J. — Petite histoire des égouts de Genève.
Rev. du Vieux-Genève, 1978.

PITTARD, J.J., DELARUE, M. et FAVRE, G. — Le Salève souterrain.
Tribune-Editions, Genève, 1979.

PITTARD, J.J. — Chercheurs d'or au fond des grottes.
HYPOGEES, No 47, Genève, 1982.

RIFFAUD, C. et LE PICHON, X. — Expédition Famous à 3000 mètres sous l'Atlantique.
Albin-Michel, Paris, 1975.

SEBILLOT, P. Les travaux publics et les mines dans les traditions et les superstitions.
Rothschild, Paris, 1894.

SEBILLOT, P. La terre et le monde souterrain.
Paris, 1904. Reprint, Imago, 1983.

SIFFRE, M. Grottes, gouffres et abîmes.
Hachette, 1980.

SIMONIN, L. La vie souterraine ou les mines et les mineurs.
Hachette, Paris, 1867.

SOCIETE SUISSE DE SPELEOLOGIE Grotte de la Bouna, Grotte des Huguenots.
Articles de Jean Vigny et de Michel Septfpntaine, HYPOGEES, No 39, 1977.

SOCIETE SUISSE DE SPELEOLOGIE La Grotte de Lesvaux.
HYPOGEES, No 44, Genève, 1980.

SPRUYTTE, J. Etudes expérimentales sur l'attelage.
Crépin-Leblond, Paris.

VERNE, J. Les Indes noires.
Reprint, Agora, Genève, 1981.

VERNE, J. Voyage au centre de la Terre.
Reprint, France-Loisirs, 1982.

VERPRAET, G. Paris, capitale souterraine.
Plon, 1954.

MOYENS D'AUTREFOIS POUR EXPLORER ET FOUILLER

LES ENTRAILLES DE LA TERRE

Table des Matières

. . .

Aujourd'hui...

Cette descente vers l'inconnu, dans l'abîme de Curçon (Jura) montre ue l'exploration du "sixième continent" exige un matériel aussi léger que résistant (Photo Bernard Pugin, S.S.S.).