

■ POUR LA SCIENCE

VOTRE ABONNEMENT 100 % NUMÉRIQUE

1 an au prix de 48 €

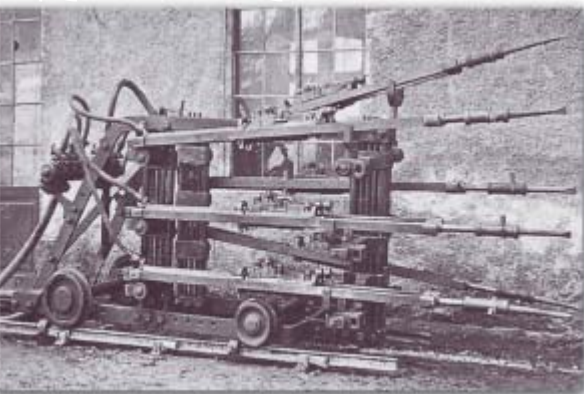
soit **4 € seulement par numéro** au lieu de ~~5,20 €~~

Pour consulter et télécharger
en toute liberté sur www.pourlascience.fr
les 12 prochains numéros
dès leur parution.



Oui, je m'abonne
à *Pour la Science* 100 % numérique
1 an (12 numéros) pour 48 €

Je préfère découvrir toutes
les offres d'abonnement disponibles
en cliquant ici.



Les tunnels alpins

MARIO SINTZEL • GERHARD GIRMSCHEID

À partir de la fin du XIX^e siècle, les tunnels se multiplient dans les Alpes, reflétant le progrès des techniques de construction. Les accidents de chantier diminuent, mais le percement des tunnels reste une entreprise périlleuse.

Les Alpes sont un obstacle majeur à la circulation. Avec leurs 300 milliards de tonnes de roches et de glace répartis sur 72 000 kilomètres carrés, elles forment une barrière entre l'Europe du Nord et l'Europe du Sud. L'histoire du franchissement de ces montagnes, par des sentiers, puis par des routes et, aujourd'hui, par des tunnels, reflète les événements politiques et économiques qui ont eu lieu dans les pays limitrophes, mais aussi l'évolution des techniques.

À partir du XII^e siècle, les personnes qui voyagent entre l'Allemagne et l'Italie empruntent le sentier du col du Saint-Gothard. La gorge de Schöllén est alors barrée par l'éperon rocheux du Chilchberg, que l'on contourne à l'aide d'une rampe en bois, souvent emportée par les eaux. En 1707, l'architecte suisse Pietro Morettini ouvre à l'explosif une trouée de 64 mètres de long dans le rocher, pour former ce que l'on nomme aujourd'hui le trou d'Uri. Avec ses 2,7 mètres de hauteur et presque autant de largeur, cette trouée est saluée comme un exploit. Puis, entre 1818 et 1830, les travaux entrepris par les autorités des cantons d'Uri et du Tessin finissent de rendre cet itinéraire carrossable.

Au XIX^e siècle, un nouveau moyen de transport apparaît : le chemin de fer. La réalisation de voies ferrées à travers les Alpes s'impose. En 1867, les Autrichiens ouvrent la première ligne, qui passe sous le col du Brenner. En 1871, les Français



1. Cette perceuse a été conçue en France et utilisée pour la première fois sur le chantier du tunnel du Mont-Cenis, qui relie l'Italie à la France et qui a été inauguré en 1871.

inaugurent la ligne qui relie l'Italie à la France, en passant sous le col du Mont-Cenis. Entre 1872 et 1882, les Suisses construisent la voie ferrée sous le col du Saint-Gothard, qui relie les villages d'Airolo et de Göschenen. L'ouvrage mesure près de 15 kilomètres de longueur. Pour réaliser ces voies ferrées, on construit des tunnels : les géologues procèdent à des relevés, les ingénieurs établissent les plans, percent des trous de mine et les garnissent d'explosifs. Viennent ensuite les tirs de mines, l'évacuation des déblais et la consolidation des voûtes pour empêcher les glissements de terrain ou l'effondrement de la roche : on pose des poutres de bois pour renforcer la voûte avant de la maçonner. À partir du début du XX^e siècle, les poutres sont remplacées par un coffrage en béton coulé sur place.

Si Pietro Morettini et ses ouvriers perçaient les trous de mine au marteau et au burin dans le front de taille (la surface rocheuse qui barre la section du tunnel), leurs successeurs, qui ont construit le tunnel du Mont-Cenis, puis celui du Saint-Gothard, ont utilisé des marteaux piqueurs à air comprimé qui leur ont facilité la tâche. Ces marteaux piqueurs ont été remplacés ultérieurement par des foreuses hydrauliques : le système de perçage est fixé sur un cylindre, qui tourne sous l'action d'un moteur à air comprimé et qui fait pression sur la paroi rocheuse grâce à un système hydraulique. La foreuse est creuse et munie d'une couronne à trois dents qui attaque et broie la roche.

En 1865, Alfred Nobel invente la dynamite : ce mélange explosif gélatineux constitué de 92 à 93 pour cent de nitroglycérine et



Gesellschaft für Ingenieurkunst, Zürich

2. Le 23 mai 1882, le premier train à avoir emprunté le tunnel du Saint-Gothard atteint Bellinzona.

de 7 à 8 pour cent de nitrocellulose détrône la poudre noire utilisée jusqu'alors. On ajuste sa puissance explosive en ajoutant du nitrate de sodium et de la sciure de bois. Pour percer le front de taille du tunnel du Saint-Gothard, 24 trous de mines remplis de dynamite suffisent, tandis que pour le tunnel du Mont-Cenis, on avait dû utiliser 80 trous remplis de poudre.

Malgré ces progrès, les ouvriers travaillaient dans des conditions d'hygiène et de sécurité précaires. En l'absence de ventilation sur les chantiers, la silicose fait des ravages, mais on n'en comprend pas encore la cause. Les médecins parlent de «faiblesse du sang», de parasitoses, d'eau potable polluée... En réalité, les poussières de quartz microscopiques que les ouvriers respirent atteignent les ramifications les plus fines des lobes pulmonaires et détruisent les tissus. Seul le géologue allemand Friedrich Stapff (1836-1895) comprend, lors du percement du tunnel du Saint-Gothard, que l'air chargé de poussières est la cause de la maladie et recommande aux mineurs de percer dans une atmosphère humide. L'invention des foreuses hydrauliques permet de suivre ce conseil, car un jet d'eau sort de la tête de forage et entraîne les fragments de roches, limitant la formation de poussière de roche. À la fin du chantier du Saint-Gothard, sur les quelque 20 000 ouvriers qui y ont travaillé, on dénombre 146 décès et 350 accidents graves. Plus de 4 000 accidents se sont produits et ces chiffres ne prennent pas en compte les centaines de mineurs qui ont contracté une silicose.

La construction d'un nouveau tunnel à une seule voie sous le massif du Simplon est entreprise en 1898 et achevée en 1906. Une galerie, qui sert de gaine technique, est élargie pour en faire un second tunnel (à une voie), terminé en 1921. Ces tunnels mesurent 20 kilomètres de longueur. Ils relient Brigue, dans le Valais, en Suisse, et le lac Majeur, en Italie. On fabrique la dynamite dans une usine spécialement construite à proximité du chantier, puis on la transporte, sous la surveillance de policiers, sur des chariots tirés par des mules, jusqu'aux lieux de tir.

En 1911, on prolonge cette ligne vers le Nord. Cependant, sous la vallée de Gastner, les ouvriers rencontrent des roches meubles gorgées d'eau : la galerie s'effondre, tuant 25 mineurs. Pour éviter cet endroit, les ingénieurs reviennent le plan du tunnel qui doit désormais décrire trois courbes de 1 100 mètres de rayon chacune, d'une longueur totale de 2 267 mètres. Pour faire leurs calculs, ils matérialisent des polygones de 100 mètres de côté à l'aide de piquets et déter-



3. Cette foreuse hydraulique a facilité les travaux de percement du tunnel du Simplon, au début du xx^e siècle. Elle pouvait réaliser trois trous de mine en même temps.



4. Le transport de la dynamite qui servait à progresser au cœur de la montagne était périlleux, même quand l'usine de fabrication de l'explosif était proche de son site d'utilisation.

Sciences de la vie

Vient de paraître



LA SYMBIOSE
Structures et
fonctions,
rôle écologique
et évolutif

M.-A. Selosse
160 p., 139 FF
ISBN 2 7117 5283 6

Également aux Éditions VUIBERT :

NOUVEAU MÉMENTO DE BIOLOGIE

M. Dupont, J. Sou-
chon
et J.-P. Veillat
272 p., 160 FF
ISBN 2 7117 5252 6



COMMENT RÉSOLURE UN PROBLÈME DE BIOLOGIE

J. Souchon, Cl. Treilhou
176 p., 140 FF, ISBN 2 7117 5251 8

BIOLOGIE & PHYSIOLOGIE HUMAINES

C. Robert, P. Vincent
704 p., 230 FF, ISBN 2 7117 5234 8



**DICTIONNAIRES
ENCYCLOPÉDIQUES**
Ouvrages collectifs
dirigés par
Nicole Aimé-Genty

LE SANG
240 p., 159 FF
ISBN 2 7117 5250 X

LE CERVEAU
208 p., 159 FF, ISBN 2 7117 5249 6

LA CELLULE
256 p., 159 FF, ISBN 2 7117 5248 8

de la Terre & de l'univers

PROBLÈMES RÉSOLUS DE SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

Ouvrage collectif
Coordination :
Ch. Aubourg,
J.-Y. Daniel et
P. De Wever
392 p., 199 FF
ISBN 2 7117 5281 X



SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

A. Brahic, M. Hoffert, A. Schaaf, M. Tardy.
Coordination J.-Y. Daniel
672 p., 255 FF, ISBN 2 7117 5280 1

En vente en librairie. Catalogue sur demande :
Vuibert, 12 rue des Cordelières 75013 Paris
Tél : 01 44 08 49 12
www.vuibert.fr



5. Opération de consolidation du tunnel de Lötschberg, en 1914.



6. Sur le chantier du tunnel du Simplon, les mineurs ont percé les premiers trous de mine, accrochés à la paroi rocheuse par des cordes.

minent les angles avec des théodolites (des instruments de visée munis d'une lunette) et des mires (des jalons pour repérer les directions lors des visées). Ils réalisent «une performance remarquable», comme l'indique le journal local, car le tunnel, une fois terminé, est conforme aux plans ainsi établis : l'erreur sur la longueur se limite à 41 centimètres et sur la hauteur à 10 centimètres.

Au début des années 1950, le développement du tourisme conduit à l'amélioration des routes, que l'on raccourcit en perçant des tunnels routiers. Des tunneliers, mis au point aux États-Unis, en Suède et en Allemagne, remplacent le percement aux explosifs : ces engins gigantesques «rongent» les couches de roches, grâce à une tête de forage rotative appliquée sous pression sur le front de taille. Pour le tunnel routier du Saint-Gothard,

qui relie Göschen à Airolo, comme le tunnel ferroviaire, mais qui suit le tracé du col, on utilise à Göschen des tunneliers équipés de onze bras de forage et montés sur des camions. Ils assurent aux mineurs une protection contre les chutes de roches de la voûte, mais après deux accidents mortels, les ingénieurs renoncent à percer la totalité de la section du tunnel (comprise entre 65 et 80 mètres carrés) en une seule fois : ils procèdent par sections de 250 mètres, creusant d'abord la moitié supérieure du tunnel et la voûte qu'ils consolident à l'aide d'ancrages, de filets et de béton projeté, avant de dégager la moitié inférieure. À Airolo, les tunneliers sont montés sur un plancher mobile, constitué d'éléments coulisants actionnés par des presses hydrauliques, sur une longueur de 240 mètres. La plate-forme est équipée d'un auvent de protection sous lequel se déroulent les travaux de renforcement et de consolidation, ainsi que le chargement des wagons pour évacuer les débris.

Aujourd'hui, l'action combinée de tré-pans de plus en plus résistants et de vitesses de rotation supérieures ainsi que le renfort du tunnel par des éléments de béton préfabriqués, consolidés par du béton projeté, autorisent une progression de 20 à 30 mètres par jour. Les tunneliers assurent l'essentiel du gros œuvre. Les explosifs ne sont plus guère utilisés et l'homme n'intervient plus qu'aux endroits les plus délicats.

Mario SINTZEL est ingénieur à l'École polytechnique fédérale de Zurich. **Gerhard GIRMSCHEID** y enseigne le génie civil.

