

Des tunnels toujours plus extrêmes

Emmanuelle Picaud | le 31/01/2020 | [Tunnel](#), [Tunnelier](#), [Europe](#), [Lyon-Turin](#), [Asie](#)

Travaux souterrains -

De la Norvège à l'Autriche en passant par Hong Kong, le progrès technologique permet de repousser les limites du possible.

Sous la mer, en montagne ou dans le désert, de l'Europe à l'Asie, des projets récents de tunnels spectaculaires requièrent un niveau technique à peine concevable il y a trente ans. « Depuis le tunnel sous la Manche livré en 1994, l'innovation a été permanente dans les travaux souterrains, confirme Olivier Vion, directeur général de l'Association internationale des tunnels et de l'espace souterrain (Aites). Hommes et machines évoluent aujourd'hui dans des contextes encore plus difficiles qu'à l'époque. » En matière de défis constructifs, plusieurs critères entrent en compte pour évaluer la complexité et la faisabilité d'un projet : sa profondeur, sa longueur et, bien sûr, sa géologie, avec pour chaque chantier ses spécificités propres.

Aujourd'hui, creuser en roche dure sous la mer à 150 m de profondeur ne constitue plus un problème insurmontable, surtout en l'absence d'obstacle géologique majeur. Plusieurs techniques de percement sont adaptées à cette nature de sols. Le creusement peut être réalisé au tunnelier, qui peut supporter des pressions allant jusqu'à 17 bars, soit 170 m de profondeur, ou à l'explosif, utilisable encore plus loin sous terre. Certains pays ont même développé une expertise dans ce domaine. « En Norvège, nous avons l'habitude de travailler à l'explosif afin de percer des ouvrages très profonds, y compris avec des pentes de 7 % », assure Øyvind Ellingsen, conseiller principal chargé du tunnel Ryfylke (*lire p. 52 et 53*) au sein de l'Administration publique norvégienne des routes.

Des cas de figure encore exigeants. En revanche, dans des terrains plus instables, comme dans les sols meubles, creuser en souterrain relève encore de la gageure, comme l'expérimentent les équipes chargées de la réalisation du tunnel Tuen Mun-Chek Lap Kok, à Hong Kong (*lire p. 51*). L'explosif n'est pas envisageable ici en raison du risque d'affaissement des terrains, tandis que les opérateurs devant entretenir la roue de coupe sont soumis à de fortes pressions, ce qui rend particulièrement délicates les interventions. Heureusement, de nouvelles technologies simplifient la tâche. Les ingénieurs ont ainsi mis au point des têtes d'abattage devenues visitables : ces dernières sont munies de sas à l'intérieur desquels un opérateur peut changer en toute

sécurité les outils de découpe des sols, avant qu'ils soient acheminés automatiquement sur la tête du tunnelier.

Des bras robotisés peuvent aussi être utilisés afin de changer les pièces défectueuses. Un progrès qui s'inspire de ceux de l'industrie automobile, avec deux différences majeures : « Nous ne travaillons pas dans des usines, mais dans des environnements changeants, soumis à des pressions considérables », relève Bruno Combe, directeur technique chez Bouygues Travaux publics. Pour les situations où une intervention humaine demeure indispensable, les procédés calquent ceux utilisés dans les métiers de l'offshore : ce sont des plongeurs qui interviennent dans des milieux hyperbares grâce à des bouteilles remplies de mélanges gazeux spécifiques, où l'oxygène est complété d'azote et d'hélium.

Des risques mieux maîtrisés. Dans les environnements montagneux, la prise en compte des phénomènes de géologie capricieuse, à l'instar des risques de convergence des terrains, est de mieux en mieux appréhendée. Des chantiers comme le Lyon-Turin, dans les Alpes, mettent en œuvre différentes techniques pour limiter ces mouvements de sols et protéger les compagnons. Des procédés comme l'utilisation de cintres lourds réduisent les déformations, pendant que le recours à un mélange à base de bentonite, de ciment et d'eau sert à combler le vide annulaire. Déjà largement employées en Asie, ces méthodes s'industrialisent rapidement, ce qui améliore leur efficacité.

L'automatisation de certaines tâches limite grandement les risques lors des opérations les plus dangereuses.

La dernière frontière à abolir porte sur la longueur plus importante de l'ouvrage. Dans les Alpes, le Lyon-Turin atteint 57 km, alors que le tunnel du Brenner mesurera 64 km (*lire p. 54 et 55*) .

L'enjeu primordial porte sur la sécurité des compagnons, car « plus la distance parcourue est grande, plus la question de leur protection et de leur évacuation en cas d'urgence se pose. Or, dans ce domaine, les normes n'ont eu de cesse d'évoluer et de se renforcer au fil des années », observe François Renault, directeur technique tunnels chez Vinci Construction Grands Projets. Là encore, l'automatisation de certaines tâches limite grandement les risques lors des opérations les plus dangereuses. En cas d'impossibilité d'évacuation, des sas de survie permettent aux ouvriers de rester 24 heures sous terre en toute sécurité. Sur le tunnel du Brenner, 10 sas de ce type ont déjà été aménagés.

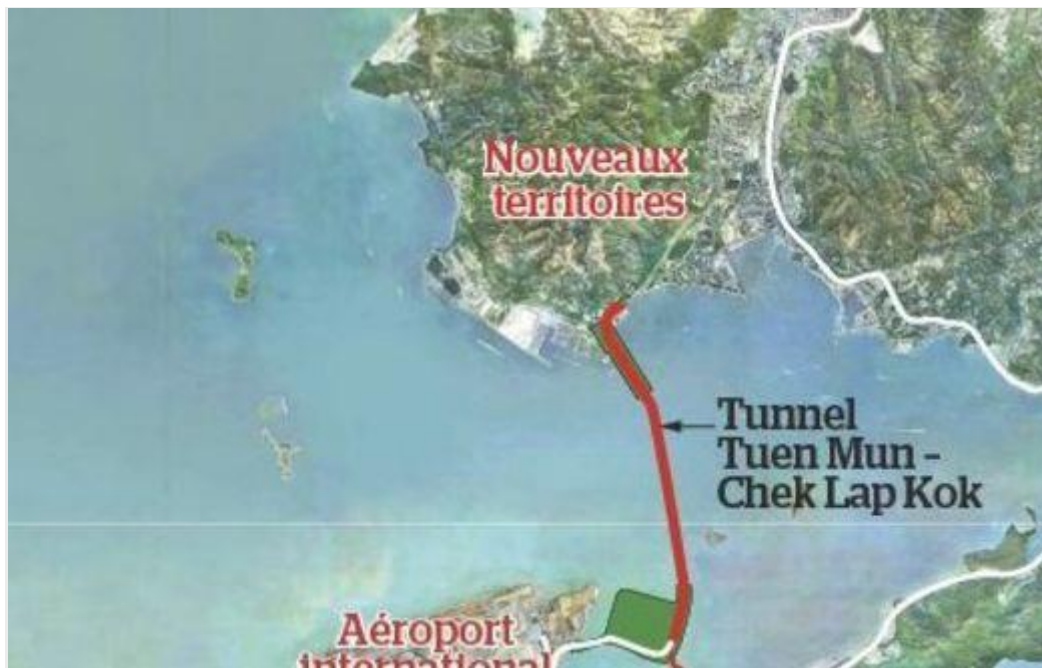
Malgré ces nombreuses avancées, certains projets relèvent toujours du domaine de l'irréalisable. C'est le cas du tunnel sous le détroit de Gibraltar dont l'idée a émergé dans les années 1990. Sa concrétisation nécessite de régler au préalable trois contraintes de taille : il se situe dans une zone sismique, les terrains sont meubles car constitués essentiellement de sables et de brèches argileuses, et il faudrait que l'ouvrage descende à 400 m de profondeur sous le niveau de la mer. Il n'a toujours pas vu le jour « malgré trente ans d'études, constate Olivier Vion. Et sa réalisation demeure extrêmement ambitieuse sur le plan technique. »

Hong Kong - Quand le tunnelier plonge en eaux troubles

Creusé à 50 m sous le niveau de la mer et long de 4,5 km, le tunnel du Tuen Mun-Chek Lap Kok, à Hong Kong, est le bitube sous-marin le plus profond et le plus long jamais construit dans l'archipel. Ce projet de 2 milliards d'euros vise à relier les Nouveaux Territoires (au nord) à l'île de Lantau, où est installé l'aéroport international. « Lorsque nous avons gagné le contrat il y a sept ans, notre première tâche a été de bâtir une île artificielle d'environ 16,5 ha du côté de Tuen Mun, afin d'y installer nos tunneliers », se souvient Dominic Law, directeur du projet chez Bouygues.

Les deux machines utilisées pour le percement ont évolué dans un terrain hétérogène, où se côtoient des roches dures granitiques et des roches meubles, à base d'alluvions et de granites décomposés. Ces conditions géologiques exigeantes ont usé prématurément les outils d'abattage des tunneliers. Pour renouveler les pièces situées sur la tête de coupe, il a fallu recourir à des plongeurs sous-marins. « Pour ce travail très spécifique, nous avons fait appel à des spécialistes français qui installent habituellement des plates-formes pétrolières, raconte le directeur du projet. Ils ont vécu pendant vingt jours dans des chambres sous pression de 3 bars. C'est la première fois que cette technique de travail sous pression était utilisée ici. Avec les contraintes géologiques, la forte pression a représenté un défi majeur du projet. » Au total, environ 230 000 m³ de béton ont été nécessaires à la construction de l'ouvrage.

« Nous devrions avoir terminé les travaux au mois de mai 2020. Les entreprises de câblage et d'équipements routiers pourront alors intervenir. Si tout se passe bien, le tunnel ouvrira au public d'ici la fin de l'année 2020 », espère Dominic Law.





Norvège - En transit sous un fjord

Avec ses 292 m de profondeur, le tunnel du Ryfylke, au sud-ouest de la Norvège, figure parmi les ouvrages les plus profonds du monde. Ce bitube de 14,4 km de long traverse un fjord et relie, depuis le 30 décembre dernier, la ville de Stavanger à la commune de Strand, dans le comté de Rogaland. Certains passages atteignent des pentes de 7 %. Sur le chantier, les équipes ont dû composer avec le milieu géologique hétérogène en roche dure.

Composés de phyllite, de granite et de gneiss, « les sols présentaient des infiltrations d'eau à certains endroits. Celles-ci pouvaient atteindre un débit de 10 l/minute tous les 100 m de profondeur », détaille Øyvind Ellingsen, conseiller principal chargé du tunnel du Ryfylke à l'Administration publique norvégienne des routes.

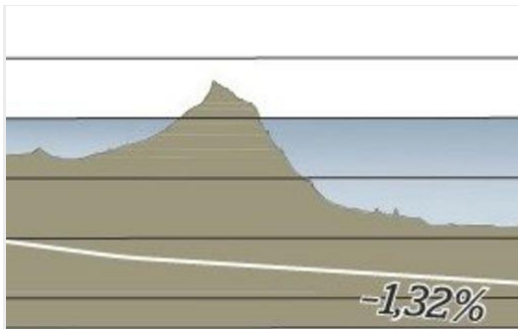
Pour résoudre ce problème, les cavités ont été comblées avec des injections de ciment, « une solution classique pour cette difficulté fréquente dès qu'il s'agit d'opérer en souterrain », note Øyvind Ellingsen. Deux équipes ont réalisé des percements simultanés : « Chacune creusait 7,5 km, pour se retrouver au milieu du tunnel », ajoute le fonctionnaire. Les compagnons ont eu recours aux techniques d'excavation traditionnelles en Norvège : le forage et le dynamitage. Pour le forage, quatre machines ont travaillé, dont deux à chaque extrémité.

Le dynamitage a été possible grâce à des conditions géologiques favorables. Bien maîtrisé par les spécialistes du pays, il est plus avantageux sur le plan économique. Au total, sept années de travail ont été nécessaires pour finaliser l'ouvrage.





[Close Lightbox](#)



Alpes - Un très long chemin à parcourir

Une fois entré en service à l'horizon 2028, le tunnel du Brenner, entre l'Autriche et l'Italie, deviendra le plus long tunnel ferroviaire du monde, grâce à ses 64 km de linéaire cumulés.

Il dépassera ainsi de 7 km le tunnel du Saint-Gothard, en Suisse.

En construction, l'ouvrage prolonge une ligne ferroviaire souterraine construite en 1980. Il reliera ainsi Innsbruck, dans l'ouest de l'Autriche, à Fortezza, dans le nord de l'Italie. Une extension qui doit permettre de désengorger le trafic routier du col du Brenner, à 1 372 m d'altitude, qui demeure le principal point de passage des poids lourds entre le nord et le sud des Alpes.

L'infrastructure, dont le coût est estimé à 9,7 milliards d'euros, traversera la montagne, à 790 m d'altitude. La galerie de base, de 55 km de long, se compose de deux tubes monodirectionnels de 8,1 m de diamètre espacés d'environ 70 m et connectés par des by-pass tous les 300 m.

Sur cette section, la pente principale varie entre 4 et 7 %. En décembre 2019, 116 km de galeries avaient été réalisées sur les 230 km espérés. Sur ce terrain composé de schistes, de quartz phyllite, de gneiss et de granite, environ 30 % des creusements s'effectuent à l'explosif.

Les 70 % restants sont réalisés à l'aide de tunneliers. « Nous privilégions cette méthode car elle permet une progression plus rapide », explique Antonio Voza, directeur des travaux pour BBT sur le lot Mules 2-3, l'une des sections les plus techniques située côté italien. En revanche, les équipes recourent aux explosifs en cas de difficulté géologique ou pour réaliser les galeries de petit diamètre (6 m).

Sur ce chantier la sécurité des 1 900 ouvriers mobilisés est primordiale. « Les procédures, très claires, sont mises à jour régulièrement afin de faire perdre d'éventuelles mauvaises habitudes aux ouvriers », insiste Antonio Voza.