

Zeitschrift: Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft = Actes de la Société Helvétique des Sciences Naturelles = Atti della Società Elvetica di Scienze Naturali

Herausgeber: Schweizerische Naturforschende Gesellschaft

Band: 58 (1875)

Artikel: Les travaux mécaniques pour le percement du Tunnel du Gothard

Autor: Colladon, D.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-90000>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 24.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

I.

Les travaux mécaniques pour le percement du Tunnel du Gothard.

Note communiquée par le professeur **D. Colladon**, Ingenieur-Conseil de l'Entreprise, à la Société Helvétique des Sciences Naturelles, réunie à Andermatt le 13 Septembre 1875.

§. I. Système adopté pour le percement.

Le tunnel du St. Gothard n'a de précédent comparable que le souterrain du Mont-Cenis, achevé en 1871, et celui de Hoosac aux Etats-Unis, terminé en 1874.

La galerie du Mont-Cenis, longue de 12,233 mètres, entreprise par d'éminents ingénieurs aux frais du Gouvernement sarde, et pour laquelle aucune dépense utile n'a été épargnée, a exigé *treize ans et demi* pour son achèvement.

Au Mont Hoosac, où la longueur totale est 7634 mètres, le progrès moyen, même dans les dernières années, a été inférieur à celui réalisé au Mont-Cenis.¹⁾

Le tunnel du St. Gothard, percé dans une roche plus dure et long de 14,920 mètres, s'exécute aux frais d'une Entreprise Suisse et, d'après les traités, il doit être complété en *huit* années, ou au maximum en *neuf* années.

En tenant compte de l'excès de longueur et du peu de temps accordé, ce percement devrait donc marcher deux fois plus vite que celui du Mont-Cenis.

Cette galerie du St. Gothard pourra-t-elle être achevée en huit ou neuf années? telle est la question capitale qui préoccupe à bon droit le monde industriel.

¹⁾ Pour le tunnel Hoosac, la dépense par mètre courant s'est élevée à plus de 6100 francs.

Cette question principale *du temps* se relie au mode d'exécution et à quelques principes techniques sur lesquels les ingénieurs sont loin d'être d'accord.

Un tunnel à double voie, comme celui du Fréjus, ou du Gothard, exige une excavation de 8 m. de largeur et 6 m. de hauteur, sans compter la place pour les maçonneries.

On n'attaque pas immédiatement cette grande section, mais seulement une petite galerie dite d'avancement, ou *de direction*, ayant environ 2 m. 40 de hauteur sur 2 m. 60 de largeur, laquelle doit toujours devancer d'environ 200 à 250 mètres les travaux d'agrandissement.

Cette petite galerie se perce au moyen de machines mues par l'air comprimé, lequel produit à la fois la puissance et l'aération, selon le procédé proposé dès 1852 pour le percement du Mont-Cenis par M. Colladon.

Les appareils perceurs nommés perforatrices, imaginés par Bartlett en 1855, modifiés et améliorés par le célèbre Sommeiller en 1857, se sont beaucoup multipliés et perfectionnés, et on compte aujourd'hui 20 ou 25 systèmes différents de ces appareils.

La petite galerie d'avancement, ou de *direction*, doit-elle être percée dans *le bas* ou dans *le haut* de la grande section? les deux méthodes ont leurs partisans plus ou moins exclusifs.

Le souterrain du Mont-Cenis a été commencé par le bas; le tunnel américain du Hoosac a été percé par les deux systèmes; M. Favre a préféré percer le souterrain du St. Gothard par le haut; en outre il emploie la perforation mécanique, soit pour avancer la galerie de direction, soit pour d'autres attaques à des étages inférieurs. La vitesse avec laquelle les travaux progressent démontre, à ce qu'il semble, la bonté de sa méthode.

On perce donc au Gothard une première galerie d'avancement large et haute d'environ deux mètres et demi, ou ayant une section de six à sept mètres carrés.

Comme le tunnel entier sera voûté, il faut excaver en plus la place des maçonneries, ensorte que la galerie d'avancement a son toit à 6 m. 50 ou 7 m. au-dessus de la base future des voies de fer.

On comprend que, dans un travail de percement avec emploi de poudre, ou de dynamite, les nombreux chantiers où la roche est excavée par explosion ne peuvent être trop rapprochés sous peine de perpétuels dangers pour les sous-ingénieurs et les ouvriers.

On excave donc par parties séparées et placées aux distances nécessaires pour la sécurité des hommes et des appareils.

Le fond de la galerie d'avancement s'appelle *front de taille*, ou *la tête*. A 200 ou 250 mètres en arrière du front de taille, on abat à droite et à gauche les segments où sera placée la voûte; ces deux attaques s'appellent les *abattages*.

A 200 ou 300 mètres en arrière des abattages, s'ouvre un fossé appelé *cunette du strosse* qui descend jusqu'au sol du tunnel, c'est à dire à un niveau inférieur de 4 ou 5 mètres au sol de la galerie d'avancement; sa largeur est environ 3 mètres.

En arrière de la tête de la cunette, on excave les parties latérales qui s'appellent *strosse*, et quand le strosse est excavé, on a la section entière ouverte et on achève les maçonneries.

Les abattages et la galerie d'avancement ont leur petit chemin de fer spécial; on établit une seconde voie de fer au sol de la cunette.

De nombreux wagons circulent incessamment sur ces chemins de fer, amenant des outils, des provisions, des matériaux, et emmenant les déblais pour les transporter à distance au dehors.

Un axiome incontesté jusqu' à ce jour, c'est que *plus la galerie d'avancement progresse vite, plus on pourra achever rapidement l'ensemble du tunnel*.

En effet, au front de taille, la roche encaissée de toutes parts résiste davantage à l'explosion, et surtout on ne peut accumuler là que peu de perforatrices et peu d'hommes, tandis, que pour élargir, on peut mettre plus de machines et incomparablement plus d'ouvriers.

Les progrès réalisés au front de taille par M. Favre et ses ingénieurs peuvent, sans aucune exagération, être taxés de *merveilleux*, surtout si on les compare à ce qui a été fait jusqu'ici dans des rochers de nature analogue.

Cet avancement progressera-t-il encore? on est bien en droit de le croire puisqu'au Mont-Cenis la marche progressive de la petite galerie a continué jusqu'à la fin. Pour les dernières années 1868, 1869, 1870, le front de taille avait avancé de 1320, 1431, 1635 mètres.

De ce dernier chiffre nous déduisons le nombre de 409 mètres comme étant, pour la galerie du Fréjus, l'avancement maximum pour *un trimestre* pendant les treize années du percement.

Au Mont-Hoosac (Massachusset) malgré l'emploi de la nitroglycérine et des perforatrices à action plus rapide que celles du Mont-Cenis, les avancements *trimestriels* des dernières années ont été pour l'ensemble des deux têtes additionnées: 207 mètres en 1870, 238 mètres en 1871, 237 mètres en 1872.

Voici maintenant les chiffres d'avancements des cinq derniers trimestres au Gothard:

	Göschenen	Airolo	Ensemble
	Mètres.	Mètres.	Mètres.
Du 1 ^r Juillet au 1 ^r Octobre 1874 . . .	321.60	174.10	495.70
Du 1 ^r Octobre 1874 au 1 ^r Janvier 1875	283.60	243.30	526.90
Du 1 ^r Janvier au 1 ^r Avril 1875 . . .	267.90	289.10	557.00
Du 1 ^r Avril au 1 ^r Juillet 1875 . . .	312.10	344.20	656.30
Du 1 ^r Juillet au 1 ^r Octobre 1875 . . .	360.90	326.20	687.10

Quelques ingénieurs avaient annoncé que M. Favre, entravé par la dureté excessive des roches et par une quantité d'eau bien supérieure à celle rencontrée au Frejus et au Mont-Hoosac, ne pourrait en aucun cas dépasser une moyenne de 3 m. par jour et par front de taille, soit 550 mètres au *maximum* et en tout par trimestre. Dans les trois derniers trimestres ce *maximum* s'est changé en *minimum*. Les deux derniers ont donné 3 m. 60 et 3 m. 80 d'avancement moyen quotidien à chaque tête.

Dans cette période il y a eu des jours perdus, soit pour vérification de direction par la Compagnie, soit par la grève momentanée de Göschenen.

Malgré cet éminent succès, la malveillance ne s'est pas tue. On prédit de nouveau que le tunnel ne sera pas achevé en huit ans, le Cube total extrait étant insuffisant, etc., etc.

Remarquons d'abord que ce n'est pas *huit ans*, mais *neuf ans* qui sont concédés par les traités, *avec d'énormes amendes il est vrai*; mais cette limite n'en est que plus respectable pour tout homme sensé, et certes, quand un entrepreneur fait gagner à une Compagnie 15 millions, il a droit à tous les égards et à une extrême bienveillance de la part de ceux qui représentent cette Compagnie, et de tous les hommes du métier, en face surtout d'un succès qui est déjà un grand honneur pour la Suisse.

Il est évident que les progrès, dans des travaux sans précédents et où toutes les difficultés semblent accumulées, doivent s'acheter par des essais, des études et des améliorations successives, et que la totalité de ces progrès ne s'improvise pas en quelques mois ni même en une seule année. Les travaux du Mont-Cenis, où la dépense comptait peu et où le kilomètre d'avancement était payé le double qu'au Gothard, l'ont bien prouvé puisque, jusqu'aux dernières années du percement, les ingénieurs et entrepreneurs du

Fréjus ont obtenu des améliorations, soit aux machines, soit dans l'organisation des travaux.

M. Favre a dû se préoccuper, *avant tout*, de faire progresser le front de taille. En trois années il a réussi au delà de toute espérance, grâce à son activité, à son énergie, à son esprit ingénieux et à d'énormes sacrifices.

Aujourd'hui on lui conteste que les élargissements puissent également progresser. Espérons que, sur ce chapitre aussi, quand les améliorations en cours et celles projetées auront eu le temps de se compléter, l'expérience prouvera que les chicanes faites à l'habile entrepreneur étaient prématurées et injustes.

§. II. Dérivations, Moteurs, Compresseurs.

Les éléments de progrès dans le percement de très-longes tunnels reposent essentiellement sur l'emploi des machines et d'une force motrice considérable.

Cette force se transmet par l'air comprimé qui actionne les perforatrices et aère en même temps les profondeurs du tunnel.

Pour obtenir cette puissance, il faut des chutes d'eau, des moteurs et des appareils de compression. C'est donc des dérivations et des moteurs que nous parlerons en premier, puis des compresseurs d'air, et enfin des machines que cet air met en mouvement.

Chutes d'eau et moteurs.

Du côté Sud du tunnel, on peut utiliser le Tessin, ou la Tremola; ce dernier torrent, qui descend du lac Sella, au-dessus de l'hospice, a une eau moins troublée et une pente de 20 pour 100, avantages qui devaient le faire préférer.

D'après des jaugeages antérieurs, on calculait que son volume d'eau minimum serait de trois ou quatre cents litres

par seconde; pour utiliser le mieux possible ce faible volume, il fallait obtenir un maximum de chute; en conséquence, la hauteur de charge du réservoir supérieur aux turbines a été portée à 180 mètres, ou 18 atmosphères.

La dérivation présentait un ensemble de difficultés en apparence insurmontables; ce torrent très encaissé coule dans une gorge où d'énormes avalanches encombrant son lit à peu près chaque hiver. Il est cependant indispensable de pouvoir visiter à volonté le barrage et la prise d'eau, aussi bien que les canaux de dérivation et le réservoir.

M. Favre a eu l'idée ingénieuse de transporter la prise d'eau en un point très élevé, où la Tremola est accessible toute l'année; de là, par une canalisation de 1000 mètres, il verse cette eau dans le lit d'un torrent secondaire, le Chiasso, plus éloigné des chutes d'avalanches.

Le réservoir-dépotoir, qui doit retenir les corps flottants et les graviers, est à côté du lit du Chiasso, sous l'abri d'un rocher isolé.

De ce réservoir, placé à 180 m. plus haut que les moteurs hydrauliques, l'eau épurée descend par une conduite, de 0 m. 62 de diamètre et 841 m. de longueur, formée de tubes en fer très-résistants, jusqu'au bâtiment des moteurs et des compresseurs situé à côté des ateliers.

La chute de 180 m. est, comme nous l'avons dit, un maximum pour les roues hydrauliques d'une force notable; les exemples en sont fort rares et elle suppose une grande perfection dans les détails d'exécution.

La commande des quatre turbines, dites *roues tangentielles*, a été confiée à la célèbre maison Escher, Wyss et Cie. de Zurich.

Ces turbines sont à axe vertical; elles ont 1 m. 20 de diamètre, 100 aubes et font 350 tours environ par minute.

Elles sont fondues d'une seule pièce avec leurs aubes, et *en bronze*; sous ces pressions excessives, le bronze dure

bien plus longtemps que le fer, la fonte de fer, et l'acier ; le choc de l'eau, sous 18 atmosphères, attaquerait et percerait ces trois derniers métaux au bout de quelques mois de service.

Chacune de ces quatre turbines commande, par un seul engrenage, un arbre moteur horizontal, et tous ces arbres sont placés sur une même ligne et peuvent s'entr'aider ; il en résulte une grande sécurité pour la régularité du pouvoir moteur.

Le jeu de ces appareils a été des plus satisfaisants et une seule chose a fait quelquefois défaut, c'est le volume d'eau de la Tremola dans les jours de froid excessif, ou de grande sécheresse. Ce volume s'est abaissé pendant de courts intervalles à moins de 100 litres par seconde.

L'action des perforatrices et la ventilation ne devant chômer un seul jour, M. Favre s'est décidé en 1874 à obtenir du cours du Tessin un supplément de puissance motrice.

Ce torrent en amont d'Airolo semble défier toute dérivation durable ; sa pente est faible, et il coule entre des bords escarpés entièrement composés de roches éboulantes le long desquelles, pour surcroît de danger, glissent chaque hiver des avalanches de neiges et de rochers.

On a cependant entrepris ce périlleux travail et il a réussi. Le canal de dérivation peut débiter un mètre cube par seconde ; il est en très-grande partie suspendu aux flancs de rochers presque à pic et traverse deux ponts aqueducs élevés de 25 à 30 mètres au-dessus des torrents Albinasca et Tremola.

Le projet d'élever l'eau du Tessin, par une canalisation longue de sept kilomètres, jusqu'au réservoir de la Tremola, présentait des difficultés insurmontables. En conséquence, on s'est borné à créer un canal de trois kilomètres et un second réservoir placé à 90 mètres seulement au-dessus des roues tangentielles.

Il y a donc à Airolo deux dérivations et deux réservoirs dépotoirs situés à deux hauteurs de chute, dont l'une est double de l'autre.

Pour deux chutes aussi différentes correspondant à des vitesses dans le rapport de deux à trois, il était convenable de recourir à deux variétés de turbines. Cette importante addition a été réalisée, d'une manière rationnelle et remarquablement heureuse, en plaçant, sur chaque arbre des roues tangentielles, une seconde turbine de dimension différente calculée pour cette chute de l'eau du Tessin.

Ces quatre nouvelles turbines du système Girard ont chacune leur prise d'eau et leur vanne spéciales; elles ont été construites et mises en place par la maison Escher, Wyss et Cie.

Cette addition réalise un ensemble très-facile à régler et assure une marche régulière pendant toute l'année.

L'eau de la Tremola, moins chargée de débris et de graviers, est toujours préférée; mais, dès que son débit est au-dessous du volume nécessaire, on ne la fait agir que sur un nombre restreint de roues tangentielles et l'eau du Tessin actionne les moteurs complémentaires. En outre, si la conduite de 18 atmosphères avait une rupture ou une interruption de service quelconque, la conduite du Tessin pourrait y suppléer.

Ce second travail de canalisation, si éminemment remarquable par sa hardiesse et sa judicieuse exécution, a pleinement atteint son but. Son résultat essentiel est de régulariser et d'accroître en même temps la force motrice à l'embouchure sud du tunnel; on peut maintenant disposer, aux ateliers d'Airolo, d'une puissance égale ou supérieure à mille chevaux.

Du côté de Göschenen, la vallée est aussi exposée aux avalanches de pierres et de neiges; mais celles-ci, moins fréquentes et moins fortes, durent peu et n'ont

d'autre inconvénient sérieux que d'empâter l'eau de la Reuss, et de la transformer pour un ou deux jours en boue neigeuse qui obstrue les grillages et les conduites et occasionne des arrêts que rien ne peut empêcher.

La Reuss, en dessous d'Andermatt, ne s'abaisse presque jamais à moins d'un mètre cube par seconde; sa pente d'environ 10 pour 100 a permis de préparer une chute utile de 85 mètres en plaçant le barrage à 926 mètres environ en amont de la bouche du tunnel.

Ce barrage et sa prise d'eau ont pu s'effectuer d'une manière remarquablement heureuse par suite de l'habileté de M. Favre à tirer parti des circonstances locales du lit du torrent.

A 130 mètres en aval du barrage, un réservoir dépotoir contenant 100 mètres cubes, divisé en cinq compartiments et trois chambres, sert à faire le départ des sables et graviers et à retenir les corps flottants.

La dernière chambre donne issue à l'eau par une conduite en tôle, ayant 0 m. 85 de diamètre, longue de 800 mètres, qui descend jusqu'au bâtiment des quatre turbines et leur répartit un volume total d'environ douze cents litres par seconde.

Ces quatre turbines sont du système Girard à axe horizontal; leur diamètre est de 2 m. 40; leur vitesse normale 160 tours.

Elles ont été livrées par la maison B. Roy et Cie., qui est très-réputée pour la construction des turbines.

Compresseurs d'air.

Le rapport trimestriel No. 5 du Conseil fédéral, publié en 1873, contient des détails sur les compresseurs d'air du Mont-Cenis, et sur leurs effets comparés à ceux des pompes à air adoptées pour le Gothard. Il rappelle que, «dès l'année 1852, M. Colladon avait proposé, dans un

mémoire détaillé remis au Gouvernement sarde, l'emploi de l'air comprimé pour être substitué aux cables et pour transmettre la force dans le tunnel». Ce mémoire contenait :

« 1. Les résultats de nombreuses expériences qu'il avait faites, en 1850, 1851 et 1852, sur la résistance de l'air et du gaz dans des tuyaux de différents diamètres, et sur les modifications essentielles résultant de ces expériences pour les coefficients de résistance selon les diamètres.

« 2. Des calculs d'application au tunnel du Mont-Cenis.

« 3. Quelques détails pratiques sur les pompes à comprimer l'air, sur la transmission de la force, sur son emmagasinement, sur l'air comprimé utilisé pour les injections d'eau, et sur les moyens de recueillir le travail au fond du tunnel pour mettre en mouvement les outils perceurs.»

« Dans ce mémoire, M. Colladon proposait d'utiliser les chutes d'eau au moyen de turbines; il indiquait la possibilité de rafraîchir les pompes comprimantes par une enveloppe d'eau, ou par une injection intérieure, et il parlait aussi des pompes à piston liquide.»

« Ces projets, présentés en 1852 pour le percement du Mont-Cenis, mais qui n'y avaient trouvé qu'une application partielle, principalement par l'emploi de l'air comprimé remplaçant les transmissions par cables, se trouvent maintenant réalisés en entier pour l'exécution du tunnel du St-Gothard.»

MM. Sommeiller, Grandis et Grattoni, préoccupés de l'idée de faire progresser les trains sur les plans inclinés par l'impulsion de l'air, avaient pris en 1853 un brevet pour un bélier destiné à comprimer l'air. Ces essais avaient été abandonnés lorsque, en 1857, le Gouvernement sarde se décida à entreprendre la percée du Mont-Cenis, et en confia l'exécution à MM. Sommeiller, Grandis et Grattoni, dont le bélier paraissait alors la machine la plus avantageuse pour obtenir pratiquement de l'air comprimé.

En conséquence, 20 béliers compresseurs furent commandés pour être distribués près des deux bouches du tunnel. Leur coût total dépassait deux millions.

Les résultats pratiques furent si peu favorables que ces machines restèrent sans emploi à Modane et ne furent utilisées que pendant trois années à Bardonnèche. On leur substitua alors des pompes à double cylindre de grandes dimensions, renfermant un volume total de $2\frac{1}{2}$ mètres cubes d'eau servant de piston liquide pour la compression de l'air. Ces pompes furent considérées à cette époque comme une précieuse amélioration.

Un rapport officiel des trois ingénieurs, publié en 1863, constate qu'elles donnaient, avec la même force hydraulique, trois fois plus d'air que les béliers, et qu'elles coûtaient un tiers de moins. ¹⁾

Il était facile de prévoir que des pompes à mouvement alternatif, dont le piston doit mettre en jeu une masse de liquide aussi considérable, ne sont pas susceptibles d'oscillations rapides. C'est ce que l'expérience a confirmé pour tous les appareils de compression construits sur ce système. Dès que la vitesse dépasse une limite assez restreinte, une augmentation du travail moteur ne produit presque aucun effet utile quant à la quantité du volume d'air obtenu.

A Bardonnèche ainsi qu'à Modane, on avait dû limiter à *huit* le nombre des révolutions des manivelles qui faisaient agir les bielles des pistons. Par compensation les pompes employées devaient avoir des dimensions excessives.

Au Gothard, comme dans les pays de montagnes, les moteurs hydrauliques les plus convenables à utiliser sont les turbines à révolutions rapides associées à de hautes chutes.

S'il avait fallu appliquer, à Göschenen et à Airolo, pour la compression de l'air, des engins semblables à ceux qui ont fonctionné au Mont-Cenis, on aurait dû interposer, entre les

¹⁾ Relazione della Direzione tecnica, Avril 1873 — p. 92.

turbines et les pompes, de nombreux et puissants engrenages pour réduire convenablement la vitesse, d'où seraient résultés une perte de travail, des chances d'accidents, de volumineux appareils de transmission, et surtout un grand excès de dépense.

L'emploi des turbines nécessitait celui de pompes de compression à mouvements rapides, mais il fallait prévenir en même temps le réchauffement de l'air qui aurait entraîné une perte très-notable de l'effet utile.

Le professeur Colladon s'était fait breveter, en 1871, pour un système nouveau de pompes de compression d'air, lequel permet de comprimer même à sec, par une action très-rapide, l'air ou les gaz, et d'annuler en même temps les effets nuisibles du réchauffement. Une pompe de ce système avait été établie, en 1871, pour le compte du chemin de fer de la Haute-Italie; cette pompe, destinée à la compression du gaz d'éclairage sous de hautes pressions pour l'éclairage des trains de nuit, avait marché sans arrêt pendant près d'une année à la vitesse moyenne d'environ 200 coups utiles par minute.

Ce résultat s'obtient par une double combinaison qui refroidit simultanément l'enveloppe de la pompe et ses pièces mobiles; le refroidissement s'achève par une très-petite quantité d'eau injectée à l'état pulvérulent. Le piston et sa tige prolongée à l'arrière du cylindre sont creux; leur intérieur est constamment refroidi par un filet d'eau fraîche amené par un tube placé dans l'axe de la partie creuse de la tige. Cette eau circule dans la cavité du piston et ressort par l'espace compris entre le tube injecteur et les parois de la tige. Ce refroidissement suffit pour les gaz que l'on veut comprimer à sec ¹⁾.

¹⁾ Cette disposition est employée dans les pompes construites par la Société Genevoise pour la Compagnie des Chemins de fer de la Haute-Italie, et pour le Gouvernement belge pour la compression du gaz riche destiné à éclairer les trains de nuit.

Pour les pompes d'un grand volume le refroidissement est complété par de petits injecteurs qui mélangent à l'air de l'eau pulvérulente.

Des pompes de ce système, mises à l'essai, dans les ateliers de la Société genevoise de Construction, en présence de l'entrepreneur M. Favre, lui firent connaître la possibilité d'obtenir, avec leur emploi, de grands volumes d'air, sous des pressions de 8 ou 9 atmosphères, sans réchauffement nuisible.

Les turbines d'Airolo, fortes de 200 chevaux chacune, devaient faire 350 révolutions par minute. M. Colladon proposa d'établir des pompes faisant 80 révolutions dans le même temps, et pouvant être actionnées par les roues tangentielles avec l'interposition d'un seul engrenage.

Afin d'égaliser la résistance et de supprimer l'emploi des volants, il conseilla d'accoupler ces pompes par groupes de trois, placées parallèlement sur un même bâtis, et de les actionner par un arbre à trois manivelles.

Ce plan fut adopté par l'Entreprise. MM. Escher, Wyss et Cie. furent chargés des transmissions, et la Société Genevoise de Construction de la fourniture de cinq groupes de trois compresseurs chacun pour le côté d'Airolo.

Ces cinq groupes sont placés, avec les turbines motrices, dans une chambre qui n'a que 35 mètres de longueur sur 8 m. 50 de largeur. Chaque turbine peut commander indifféremment l'un ou l'autre des groupes voisins, ou les faire marcher simultanément ¹⁾.

Quatre de ces groupes, marchant ensemble, peuvent refouler par heure dans le tunnel près de mille mètres cubes d'air, à la tension de 7 ou 8 atmosphères, lesquels,

¹⁾ Conformément aux conditions posées par l'ingénieur-conseil, tous les organes injecteurs sont en nombre double et les diverses pièces des 5 groupes doivent pouvoir s'échanger mutuellement. Il en résulte qu'une même pièce de rechange peut servir indifféremment à l'une ou à l'autre des quinze pompes d'Airolo.

avant de se répandre dans le souterrain, peuvent transmettre dans les parties où se fait l'excavation mécanique la puissance de quelques centaines de chevaux. Ce volume, en se détendant, fournit, pour l'aération du tunnel, un volume d'environ huit mille mètres cubes sous la pression de l'atmosphère.

La disposition adoptée pour les compresseurs d'air à Göschenen, ne diffère que dans quelques détails secondaires de celle d'Airolo. Les pompes y sont disposées d'une manière analogue; elles forment aussi cinq groupes dont chacun est composé de trois compresseurs. Les arbres moteurs à trois manivelles, qui commandent ces groupes, ont une vitesse moyenne de 60 tours par minute. Cette différence de vitesse, comparativement à celle des appareils d'Airolo, est compensée par une augmentation du volume des pompes¹⁾.

Les compresseurs de Göschenen ont été fournis par MM. B. Roy et Cie.; ils sont construits d'après le système Colladon, et ne diffèrent que par quelques détails dans le mode d'injection des compresseurs que la Société Genevoise a fourni pour Airolo.

Dans chacune des deux stations, l'air comprimé est recueilli dans des cylindres en tôle servant de réservoirs. De là, il est transporté, par un tube continu de 0 m. 20 de diamètre, jusqu'à l'extrémité de la cunette. Cet air est ensuite conduit aux abattages et à l'extrémité de la galerie de direction, au moyen de tubes en fer battu de 0 m. 14, puis de 0 m. 10 de diamètre. C'est sur ces conduites que l'on établit des prises d'air pour le jeu des perforatrices au moyen de tubes en caoutchouc de 0 m. 05 de diamètre.

¹⁾ Les pompes d'Airolo ont 0 m. 46 de diamètre et 0 m. 45 de course; celles de Göschenen 0 m. 42 de diamètre et 0 m. 65 de course. Ces différences sont motivées par l'inégalité de vitesse de rotation des turbines.

Outre ces prises d'air, il existe, en plusieurs points de la conduite principale, des robinets d'aérage pour revivifier l'air dans le voisinage des chantiers de travail à l'intérieur du souterrain.

Les pompes du système Colladon fonctionnent au Gothard depuis plus de deux ans, et leur emploi démontre d'une manière irrécusable la possibilité de comprimer de grands volumes d'air, sans piston hydraulique, jusqu'à des tensions de 8 atmosphères, ou plus, par des pompes à mouvement rapide, et d'obtenir cet air comprimé à des températures qui ne dépassent que de 12 à 15⁰ centigrades celle de l'air aspiré.

On a établi à Bardonnèche, pour la fourniture d'air comprimé, sept roues à augets; chacune d'elles est accouplée à quatre grands cylindres à piston d'eau. Pour loger ces roues et leurs pompes, on a dû construire sept bâtiments distincts, ayant chacun une surface de 300 mètres carrés.

Ces sept roues hydrauliques et les vingt-huit cylindres compresseurs peuvent fournir, par heure, 570 mètres cubes d'air sous la pression de six atmosphères effectives. Cet air, par sa détente, donne pour l'aération environ 4000 mètres cubes à la pression atmosphérique.

Au Gothard, quatre turbines actionnant douze pompes de petit volume à grande vitesse, produisent 1000 mètres cubes par heure à la tension de sept atmosphères effectives, et cet air, en se détendant dans les profondeurs du tunnel, fournit 8000 mètres cubes à la pression de l'atmosphère.

Ces turbines et leurs compresseurs sont largement logés dans un seul bâtiment qui n'a que 350 mètres carrés de surface.

En résumé, les pompes à grande vitesse du système Colladon, actionnées par 4 turbines, peuvent donner au Gothard deux fois plus de puissance en air comprimé que les appareils installés au Mont-Cenis, avec une dépense

environ trois fois moindre et dans un emplacement 5 ou 6 fois plus réduit ¹⁾).

Quant aux béliers installés anciennement au Mont-Cenis, il faudrait quatre-vingt de ces appareils pour équivaloir à quatre turbines et douze pompes comme celles du Gothard.

Aération du Tunnel.

Le nombre moyen des ouvriers qui travaillent d'un côté du tunnel, en même temps est de quatre cents.

Chacun est, en général, pourvu d'une lampe et chaque lampe exige un renouvellement d'air égal à celui nécessaire pour un ouvrier. En moyenne, il faut treize mètres cubes d'air frais par heure pour un ouvrier et sa lampe, soit cinq mille deux cents mètres cubes par heure pour quatre cents ouvriers et leur éclairage.

La quantité moyenne de dynamite consommée par 24 heures, à chaque bouche du souterrain, est estimée à 300 kilogrammes, soit en moyenne à 12¹/₂ kilogrammes par heure. Il convient, pour un bon aérage, de donner cent mètres cubes d'air à la suite de chaque explosion d'un kilogramme de dynamite, ce qui correspond à une moyenne de 1250 mètres cubes par heure.

Il s'agit donc d'introduire de chaque côté du tunnel et par heure, *six mille quatre cent cinquante mètres cubes* d'air à une atmosphère.

¹⁾ Au mois de Novembre 1872, MM. Roy et Cie., qui ne connaissaient encore que les pompes du système belge, et qui pétitionnaient pour établir des moteurs à Göschenen, avaient présenté un devis d'après lequel chaque groupe de pompes à piston hydraulique, actionné par une turbine et fournissant par minute 4 mètres cubes à la tension de 8 atmosphères, était estimé à 176.000 francs. Ces constructeurs, par l'adoption du système Colladon, ont pu réduire leur devis à 72.000 fr. pour le même volume d'air obtenu à la même pression et dans le même temps. Ces deux devis comparatifs sont datés du 9 Décembre 1872.

Nous avons vu qu'à Airolo comme à Göschenen, les turbines actionnant quatre groupes chassent dans le souterrain l'équivalent de *huit mille mètres cubes* sous la pression atmosphérique.

Ce volume serait plus que suffisant si l'air frais expulsait à mesure l'air partiellement vicié. Cet effet se produit d'une manière satisfaisante dans la galerie de direction et aux abattages; mais, à mesure que les excavations s'élargissent, il se produit des remous et l'air vicié reste en arrière, dans les cavités ou sous la voûte, tandis que l'air frais s'échappe en partie au dehors.

Afin de remédier à cette expulsion imparfaite, l'entrepreneur s'est décidé à placer, à chaque bout du tunnel, un puissant système d'aspiration qui se prolonge jusqu'aux extrémités de la voûte, par un tube continu de 1 m. 30 de diamètre suspendu sous l'intrados.

Cet appareil est composé de deux cloches conjuguées, suspendues aux extrémités d'un balancier, et qui reçoivent un mouvement alternatif d'ascension et de descente par le jeu de deux machines à colonne d'eau. Chaque cloche plonge dans une cuve annulaire pleine d'eau; la partie centrale de cette cuve est fermée par un diaphragme immobile muni de soupapes, et le fond de chaque cloche est aussi pourvu de clapets qui s'ouvrent en dehors. A chaque ascension, il se fait une aspiration dans toute la longueur du tube suspendu à la voûte et, quand la cloche redescend, l'air aspiré se dégage dans l'atmosphère ¹⁾.

Les deux cloches pourront, par dix oscillations doubles du balancier, aspirer 500 mètres cubes par minute ou trente mille par heure.

¹⁾ MM. Pauwels et Du Bochet avaient établi, en 1825, un système d'aspiration à cloches conjuguées dans une des usines à gaz de Paris pour soutirer le gaz des cornues.

Cet air, aspiré à quelques centaines de mètres du fond du tunnel, doit être remplacé; il le sera en partie par les 8000 mètres fournis par les pompes, tandis que 22.000 mètres cubes, par heure, devront arriver du dehors par la grande section déjà achevée du tunnel.

Avec ce puissant aérage, l'intérieur du souterrain du Gothard sera certainement mieux aéré que ne le sont la majorité des travaux de mines.

Les Perforatrices.

Les travaux du Gothard ont donné naissance à des perforatrices nouvelles et à des améliorations importantes dans la construction de ces utiles appareils.

La première perforatrice rationnelle destinée à percer des trous dans la roche dure, par l'emploi de l'air comprimé, a été construite en 1855 par l'ingénieur anglais Th. Bartlett, représentant de M. Brassey, entrepreneur du Chemin de fer Victor-Emmanuel.

Cette machine remarquable fut essayée, en Mars 1857, à la Coscia, en présence de la Commission nommée en vue du tunnel du Mont-Cenis.

M. Sommeiller assistait à ces expériences, et la rapide action de cette machine le mit sur la voie d'une perforatrice nouvelle, pour laquelle il se fit breveter, et qui a été employée, exclusivement à toute autre, au percement du tunnel des Alpes Cottiennes.

Lors du traité international pour le chemin de fer du Gothard, le Gouvernement italien avait mis comme condition de sa subvention, le rachat par le Gouvernement suisse, ou par la Compagnie exécutive, de tout l'ancien matériel qui avait servi au percement du Fréjus. Ce rachat a été une des charges imposées à l'entrepreneur M. Favre, à l'époque de la signature de son traité. Il s'est vu contraint d'acheter pour son entreprise une centaine de perforatrices du système Sommeiller.

Ce système n'est plus usité; des perfectionnements et des idées nouvelles ont surgi et ont amené de nombreuses transformations; on compte aujourd'hui plus de vingt appareils différents pour la perforation des trous de mines dans les roches dures.

Tous ces appareils ont des pièces essentielles analogues et se composent généralement :

1. D'un *cylindre principal* pour la percussion.
2. D'un *piston perceur* dont la tige se prolonge et sert de *porte-outil*, parce qu'on fixe à son extrémité le *ciseau*, *burin*, ou *fleuret*, destiné à percer les trous dans le rocher.
3. D'un *tiroir*, ou *robinet distributeur*, dont le mouvement de va-et-vient dirige alternativement l'air comprimé à l'avant ou à l'arrière du piston.
4. D'organes destinés, soit à faire tourner le piston, sa tige porte-outil et le ciseau perceur, soit à faire avancer le cylindre et ses annexes vers le front de taille pendant le progrès de l'outil.
5. D'un *support*, *chassis*, ou *cadre rigide*, formé ordinairement de deux barres, ou *longerons*, le long desquelles le cylindre et ses annexes peuvent glisser pour se rapprocher du trou en percement. Ce cadre, ou support, destiné à être placé sur un *affût*, doit pouvoir s'incliner en différents sens selon la direction des trous que l'on veut percer.

Le ciseau perceur doit avoir un mouvement rapide et puissant de va-et-vient; il doit aussi tourner autour de son axe pour ne pas s'engager, *se coincer*, pendant le percement et faire un trou droit et régulier. Le piston et la tige porte-outil doivent évidemment participer aux mêmes mouvements. Enfin, le cylindre et ses principales annexes doivent avancer, soit à la main, soit automatiquement, vers le front de taille pendant le percement.

La main du mineur qui travaille avec une barre à mine réalise d'une manière admirablement simple ces trois mouvements indispensables, mais la force musculaire d'un homme devient insuffisante quand le percement doit être rapide. Il faut alors recourir à l'emploi des machines, et à celui de l'air comprimé, dans le cas surtout où on veut agir dans les profondeurs d'un souterrain.

A côté de la réalisation des trois mouvements ci-dessus, il existe d'autres éléments de comparaison qui déterminent l'entrepreneur dans le choix d'une perforatrice, tels que : la dépense d'air comprimé pour un certain effet produit, la bonne exécution de l'appareil et le choix des matériaux employés à sa construction, le capital d'achat, les frais d'entretien, la manutention plus ou moins facile pour les ouvriers mineurs, le poids de l'appareil, ses dimensions en longueur et largeur, la profondeur des trous que l'on peut obtenir en une opération sans changer l'outil-perceur.

L'entreprise du Gothard a essayé, soit à Genève, soit aux abords du tunnel, plusieurs modèles de perforatrices. A la suite de ces essais, elle s'est limitée à l'emploi de 3 ou 4 modèles qui ont chacun leurs avantages spéciaux ; la variété de ces systèmes ne nuit en aucune manière à la rapidité d'exécution du travail, car l'entreprise exige des constructeurs que chaque perforatrice puisse s'adapter immédiatement aux affûts principaux sur lesquels on doit en placer un certain nombre pour les faire travailler en commun ; elle exige de plus que leur mode d'emploi soit assez facile et simple pour que tout mineur puisse les faire agir après un très-court apprentissage.

M. Favre a ainsi maintenu le champ libre pour des perfectionnements utiles, tout en évitant les difficultés qui pouvaient provenir de la variété des appareils. L'expérience démontre que ce mode de faire est préférable à celui qui avait prévalu aux travaux du Mont-Cenis.

Aussitôt après la signature du contrat, l'entrepreneur s'était décidé à faire en Belgique l'achat de deux compresseurs à vapeur provisoires qui furent placés aux extrémités Nord et Sud du tunnel. Il traita en même temps avec les constructeurs Dubois et François pour la livraison d'un nombre restreint de perforatrices de leur système.

Ces perforatrices ont des points de ressemblance avec celles du Mont-Cenis, mais elles en diffèrent par plusieurs organes essentiels.

La machine inventée par Sommeiller est composée à l'imitation de celle de Bartlett, de deux appareils distincts : un très-petit moteur à air comprimé avec volant à rotation continue, et une perforatrice proprement dite. C'est par l'intermédiaire de ce petit moteur que Sommeiller faisait mouvoir le tiroir distributeur et obtenait la rotation du piston percuteur et la progression du cylindre du côté du rocher.

L'appareil de MM. Dubois et François est plus simple que celui de Sommeiller et dépense moins d'air comprimé à égalité d'effet. Ces constructeurs ont supprimé le petit moteur à air comprimé. Le tiroir distributeur reçoit son mouvement de va-et-vient, par l'action alternative de l'air comprimé qui le pousse en deux sens différents à l'aide de deux petits pistons inégaux, et par l'intervention de la tige porte-outil qui, à chaque retour, ouvre une soupape et détermine l'avancement du tiroir.

La rotation du piston et de l'outil percuteur s'obtient par l'action alternative, sur un levier à deux bras L , de deux petits pistons placés aux côtés du cylindre et soulevés tour à tour par l'impulsion de l'air comprimé qui agit sur les deux faces du grand piston percuteur.

Le mouvement oscillatoire du levier L produit la rotation du porte-outil au moyen d'une roue à rochet, qui commande le porte-outil, et d'un cliquet dont le mouvement est lié à celui du levier L .

L'avancement régulier du système, à mesure que le trou s'approfondit, est commandé par une grosse vis parallèle au cylindre que l'on meut à la main.

Peu de temps après la mise en activité de ces perforatrices, un autre système plus nouveau obtint un grand succès en Angleterre. A la suite de quelques essais faits en Suisse M. Favre se décida à commander un certain nombre de ces appareils à l'inventeur américain M. Mac-Kean, en posant cependant certaines conditions que celui-ci devait remplir pour que ces machines fussent acceptées.

Ce système de perforatrices anglo-américaines diffère totalement de ceux que nous venons de décrire. La rotation du piston, de sa tige et de l'outil-perceur s'obtient par le va-et-vient du piston, au moyen de deux roues R et R^1 à dents hélicoïdales très-inclinées. L'une de ces roues R est fixée sur la tige du piston; l'autre R^1 , qui engraine avec R , est fixée sur un petit arbre spécial a ; ce second arbre porte en outre une roue à rochet r .

La roue hélicoïdale R participe au va-et-vient du piston; la pression de sa denture contre celle de la seconde roue R^1 tendrait à imprimer à celle-ci et à son arbre a un mouvement rotatif oscillatoire en deux sens opposés. Mais la roue à rochet r et son cliquet ne permettent la rotation de la roue R^1 que dans une seule direction. Il en résulte qu'à chaque retour du piston percuteur, la réaction des dents hélicoïdale de R^1 contre celles de R oblige cette roue R à tourner d'un certain angle sur son axe en entraînant la rotation du piston percuteur et celle du ciseau.

Le tiroir de la machine Mac-Kean est cylindrique et le mécanisme qui le fait mouvoir est plus simple que dans les appareils Sommeiller et Dubois.

M. Mac-Kean a conservé, pour l'avancement du cylindre et de ses accessoires, l'emploi d'une vis parallèle au cylindre

moteur. Il a de plus utilisé ce mouvement rotatif alternatif de l'arbre du tiroir pour obtenir un avancement automatique au moyen de la vis à laquelle est adaptée une roue à rochet qu'un cliquet fait tourner d'une ou deux dents à chaque mouvement rotatif du tiroir.

La vitesse de perforation obtenue avec cet appareil dépasse notablement celle que donnent les machines précédemment décrites. Dans les expériences faites en Suisse on a pu obtenir, avec une pression de 4 à 5 atmosphères, un avancement normal de 0 m. 10 à 0 m. 12 par minute dans un bloc de granit d'une grande dureté.

L'appareil entier a moins de longueur et occupe moins de volume que la perforatrice Sommeiller ou celle de Dubois et François. Son poids est aussi moindre, ce qui rend son transport et sa mise en place faciles. Des machines de ce système, fixées sur de petits affûts spéciaux, ont rendu d'utiles services pour les travaux d'élargissement du tunnel.

Les premiers appareils Mac-Kean reçus au Gothard s'adaptaient mal aux grands affûts employés à la galerie de direction, aux abattages et à la cunette. Dans l'année 1875, l'inventeur a surmonté ces difficultés et l'entrepreneur du tunnel s'est décidé à lui faire une nouvelle commande de 60 de ces appareils pour les faire fonctionner du côté d'Airolo.

Un troisième système donne aussi de bons résultats au Gothard; il a été imaginé en 1874 par M. Ferroux, ancien chef d'atelier à Modane.

M. Ferroux a repris, pour sa perforatrice, l'emploi d'une petite machine distincte; abandonnant le mécanisme compliqué qui met en jeu le tiroir distributeur de Sommeiller, il l'a remplacé par un excentrique auquel le petit moteur à air transmet un mouvement direct de rotation. Le mécanisme pour la rotation de l'outil sur son axe est à peu près le même que dans l'appareil Sommeiller.

Le mode d'avancement progressif de l'appareil percuteur, à mesure que le trou de mine devient plus profond, constitue la partie essentiellement ingénieuse et nouvelle de la perforatrice brevetée de M. Ferroux.

Le cylindre percuteur se prolonge à l'arrière par une tige creuse *T*. Cette tige *T* a deux fonctions : 1) elle sert de conduit à l'air comprimé pour l'introduire dans la chambre du tiroir distributeur, et 2) elle pousse constamment vers le front de taille le cylindre percuteur, par l'action de l'air comprimé qui presse sur un second piston fixé à l'extrémité de la tige *T*. Ce second piston *P* est renfermé dans un second cylindre placé à l'arrière du cylindre percuteur.

L'appareil percuteur tend donc sans cesse à avancer vers le front de taille, mais il est retenu par un cliquet qui engraine sur une cremaillère que portent les longerons ; le porte-outil est muni d'un bourrelet qui dégage ce cliquet et permet l'avancement chaque fois que le ciseau a besoin d'avancer. Pour éviter le recul du cylindre percuteur par l'effet du choc, M. Ferroux a placé dans la tige *T* deux petits pistons perpendiculaires aux parois de cette tige et qui, par la pression de l'air comprimé, font arrêt contre les longerons.

Ces machines, employées depuis dix-huit mois au front de taille à Göschenen, sont préférables à celles de Dubois et François pour la facilité de manœuvre et la vitesse d'avancement ; elles ont cependant deux inconvénients : la longueur totale et le poids de l'appareil sont augmentés par l'adjonction d'un second cylindre, et la dépense d'air est plus considérable que pour les autres perforatrices à cause de l'emploi du petit moteur secondaire.

Monsieur Turrettini, l'intelligent directeur des ateliers de la Société Genevoise de Construction, a inventé une perforatrice entièrement nouvelle par la disposition de ses organes et par leur mode d'action.

Cet appareil breveté a son piston composé de deux parties qui se séparent un peu avant le choc du ciseau et donnent au coup plus d'élasticité. C'est le choc même du burin qui détermine le changement de distribution et le retour du porte-outil; on évite ainsi le grave inconvénient, qui existe dans la plupart des perforatrices, d'un choc imparfait résultant d'un changement anticipé de la distribution.

La rotation du piston et de l'outil-perceur, ainsi que le jeu du tiroir, sont obtenus par des combinaisons ingénieuses dont l'expérience a démontré l'efficacité ainsi que la modération des frais d'entretien.

Enfin, l'avancement progressif automatique du cylindre percuteur le long des longerons, et au besoin son recul, s'obtiennent par un procédé entièrement nouveau. C'est en utilisant le principe de la réaction de l'air comprimé, que l'inventeur obtient à volonté l'un ou l'autre de ces effets par le seul jeu d'un robinet. Un levier actionné par cet air comprimé donne à l'appareil, dans chaque position, la stabilité voulue pour résister au choc.

Les mécanismes pour l'avancement automatique du cylindre percuteur sur les longerons, ont été l'écueil de la plupart des appareils inventés depuis le percement du Mont-Cenis.

Les uns donnent un avancement qui n'est pas proportionnel aux progrès de l'outil-perceur; les autres utilisent des pièces délicates exposées à de fréquentes réparations.

Le mouvement automatique imaginé par M. Turrettini laisse bien peu à désirer; il suit exactement les progrès du ciseau et le mécanisme qui le produit agit sans choc et présente une remarquable simplicité.

Si l'appareil, muni de son burin, est reculé sur ses longerons jusqu'à une distance quelconque du front de taille, au moment où on ouvre le robinet de l'air comprimé, le cylindre percuteur avance rapidement de lui-même jusqu'à

ce que le ciseau atteigne le rocher et, à partir de ce moment, il continue à cheminer en avant d'une quantité exactement égale au progrès de l'outil perceur.

Cette machine de peu de volume a moins de longueur et pèse moins que les perforatrices Dubois et François, ou Ferroux. Sa consommation d'air est aussi diminuée pour un même travail d'approfondissement. Elle est sans doute destinée à un succès d'avenir, puisqu'elle a pu lutter dès les premiers essais avec les meilleurs modèles.

Des perforatrices de ce nouveau système, mises en action au Gothard pendant l'été de 1875, ont travaillé concurremment avec les trois systèmes précédemment décrits, et le bon résultat de ces essais a décidé l'entrepreneur à commander à la Société Genevoise de Construction trente-deux autres perforatrices du système Turrettini livrables à bref délai ¹⁾.

Les trous percés mécaniquement ont en général une profondeur de 1 m. 10. Le nombre de ceux que l'on perce au front de taille de la galerie d'avancement, dont la surface égale six, à six et demi, mètres carrés, varie avec la nature et la dureté de la pierre; il est généralement compris entre seize et vingt-six.

Quand les trous sont percés, on recule l'affût à 60 ou 80 mètres; on charge les trous à la dynamite, et on les

¹⁾ L'avancement automatique a une haute importance pour la perforation mécanique, surtout lorsqu'elle s'opère dans des espaces restreints comme aux fronts de taille d'un souterrain. Ainsi, au Gothard, les grands affûts pour la perforation portent six ou sept perforatrices pour chacune desquelles il faut trois ouvriers employés au transport et au changement des fleurets, au maintien de leur direction, à l'arroisement des trous, à préparer une nouvelle attaque, etc.

Un bon avancement automatique économise l'emploi d'autres ouvriers destinés à opérer à la main l'avancement des cylindres percuteurs, et cet avancement n'en est que mieux réglé.

fait explosionner en deux ou trois temps successifs. L'enlèvement des déblais se fait à la main ou au panier, et on les met dans de petits wagons qui les transportent au-dessus de la cunette. Là on vide, au moyen de couloirs, ces petits wagons dans de plus grands qui stationnent au bas de la cunette; une locomotive à air comprimé emmène ensuite dix ou douze voitures chargées jusqu'au dehors du tunnel, à l'endroit où se versent les déblais.

Locomotives à air comprimé.

Les travaux de transports occupent, à chaque extrémité du tunnel, deux locomotives à air comprimé. L'une, ancienne, est formée d'une locomotive ordinaire de la force de douze chevaux, alimentée d'air comprimé par un réservoir cylindrique du volume de seize mètres cubes, portés sur deux trucs attelés à la locomotive; ce réservoir s'alimente par une prise d'air sur la conduite principale d'air comprimé. L'autre locomotive, d'un emploi récent, a été fabriquée au Creusot; elle n'a pas de tender et se compose d'un réservoir de sept mètres cubes pouvant résister à 14 atmosphères. A ce réservoir sont fixés deux cylindres moteurs qui marchent à une pression moyenne de 5 atmosphères. La distribution d'air comprimé est réglée par un appareil automatique inventé par M. Ribourt, ingénieur employé au Gothard et ancien élève de l'Ecole Centrale. Ce mécanisme remplit parfaitement son but.

Pour obtenir une provision régulière d'air comprimé à 14 atmosphères, M. Favre a fait établir des réservoirs spéciaux et a commandé, en 1875, à la Société Genevoise de Construction, huit compresseurs du système Colladon pouvant comprimer chacun, sans réchauffement valable, douze mètres cubes d'air atmosphérique par minute et les porter à la pression de 14 atmosphères. Quatre de ces appareils fonctionnent à Airolo et quatre à Göschenen. Ils sont

établis dans la chambre où se trouvent réunis les quatre moteurs hydrauliques et les cinq groupes de compresseurs, et ils sont actionnés par les arbres moteurs de ces quatre turbines.

Conclusions.

Avant de terminer cette description abrégée des nombreux et puissants appareils établis au Gothard et des travaux en cours d'exécution, je dois rendre un légitime hommage à l'intelligence, à l'activité et à l'énergie de l'éminent entrepreneur, ainsi qu'au zèle de ceux qui le secondent.

Quand on se reporte à la fin de l'année 1872, où tout était obstacles, difficultés impossibles à prévoir ou à prévenir, à l'accumulation des devoirs et des choses à combiner et à accomplir, on ne peut qu'admirer cet état présent réalisé en moins de trois années.

Les difficultés locales et physiques au Gothard ont été exceptionnellement graves; celles pour les dérivations des torrents et la création des forces motrices en sont un exemple. Ce n'est qu'en voyant ces hardis travaux, surtout en hiver, les falaises presque à pic de rochers qui se délitent exposées aux éboulis de rocs et à de fréquentes avalanches, qu'on peut se rendre un juste compte des obstacles presque insurmontables pour les canalisations du côté Sud.

Aux difficultés du climat, de la localité, se sont ajoutés, dans le souterrain d'Airolo, des incidents de force majeure d'une excessive gravité, ceux occasionnés par la nature variable du terrain à percer, les nombreuses failles d'où sortaient du limon et des graviers qui affluaient subitement dans la galerie, mais surtout par des infiltrations dont le volume et la violence sont reconnues un fait extraordinaire.

Les cataractes sortant de la voûte et des flancs de la partie Sud du tunnel, qui n'a que $\frac{1}{1000}$ de pente, ont

transformé pendant près de dix-huit mois le souterrain d'avancement, les abattages et la cunette en une rivière au fond de laquelle il fallait chercher les déblais, poser et maintenir la voie, et travailler aux percements inférieures.

Deux ou trois citations feront apprécier la grandeur de cet obstacle.

Au Mont-Cenis le maximum des infiltrations à l'une et l'autre bouche, n'a pas dépassé *un* litre par seconde.

Au Mont-Hoosac, d'après les rapports officiels, on a considéré comme un grave obstacle qui a notablement nui à la rapidité d'exécution et augmenté la dépense, un volume d'infiltration de *dix-huit* litres par seconde ¹⁾.

Dans le premier rapport publié par la Direction et l'Administration de la Compagnie du Chemin de fer du Gothard (page 44), en parlant des infiltrations du sud du tunnel qui s'élevaient à cette époque de *quinze à trente* litres par seconde, l'honorable rapporteur appelle cet afflux » un petit torrent et un débit d'eau de proportion extraordinaire.»

Ce petit torrent est devenu plus tard une rivière jaugant *deux cents à deux cent trente* litres par seconde, *huit cent mille litres par heure*, dans une galerie ayant moins de sept mètres carrés!

Que d'énergie n'a-t-il pas fallu pour lutter plus d'une année contre un pareil obstacle et avancer cependant de deux mètres par jour.

Tous ces obstacles physiques n'ont pas été les seuls qui ont gêné l'entrepreneur et ralenti l'exécution. Il y en a eu d'autres moins connus du public et bien étrangers aux devoirs et aux occupations prévues de M. Favre.

¹⁾ Rapports annuels du Président de l'Etat du Massachusset au Sénat, sur les travaux du Chemin de fer Troy et Greenfield et le tunnel Hoosac, 1872, 1873, 1874.

Cet entrepreneur aurait dû pouvoir commencer ses travaux de percement à la fin d'Août 1872; tout ce qui concernait l'exécution des abords jusqu'à chaque seuil du tunnel ne le concernait nullement; on devait lui livrer l'espace et le champ entièrement libres jusqu'à ce seuil et sur la section entière de chaque bouche.

L'ingénieur chef de la Compagnie avait mal prévu les difficultés de ces abords. Du côté d'Airolo, ils n'ont été prêts que peu avant la fin de septembre; à Göschenen, ils ne l'étaient pas même d'une manière complète à la fin de décembre. M. Favre, que tant d'autres études et préoccupations absorbaient, a été contraint par les exigences de l'ingénieur chef de prendre en mains l'achèvement de ces travaux.

A côté de cette tâche ajoutée à tant d'autres, l'entrepreneur s'est trouvé tout à coup entravé par des obstacles encore plus étrangers à ses travaux et à ses habitudes. Des difficultés diplomatiques ont surgi en novembre, à l'occasion de la livraison du matériel du Mont-Cenis, dont l'acquisition et les frais avaient été imposés à M. Favre.

Pendant près de deux mois, il a été tenu en suspens sans qu'il put entrevoir ce qu'il pourrait acquérir, le terme de l'enlèvement et celui des transports. Pendant ces temps d'incertitude, il a dû faire de nombreux voyages, s'occuper de missions qui l'éloignaient de ses travaux et l'empêchaient de diriger les installations au Gothard.

De ces deux circonstances: *retard des abords, retard de livraisons au Mont-Cenis*, est résultée pour lui la perte des mois d'automne les plus favorables et, comme la seconde moitié de l'hiver a été signalée par une abondance de neige inconnue depuis un demi-siècle, les travaux de l'entrepreneur et la majorité de ses transports ont été retardés jusqu'en mai 1873.

Ces circonstances réunies, en aggravant les conditions déjà trop sévères qu'impose le traité d'exécution, donnent

droit à l'entrepreneur de réclamer une bienveillance toute spéciale de la part de tous les intéressés et lui concilieront l'intérêt général.

Le Gouvernement italien s'est fait doublement honneur dans les travaux de percement du Fréjus, par l'entreprise en elle-même et par les égards exceptionnels qu'il a eu pour ceux qui en dirigeaient l'exécution comme ingénieurs ou entrepreneurs.

Le Gouvernement égyptien et les souscripteurs du Canal de Suez ont imité ce noble exemple envers M. de Lesseps.

Il en sera de même pour les travaux du tunnel du Gothard. La grandeur de la tâche et les efforts accomplis ne peuvent que concilier à l'entreprise la bienveillance du public et surtout celle des Gouvernements intéressés.
