

**Zeitschrift:** Die Eisenbahn = Le chemin de fer  
**Herausgeber:** A. Waldner  
**Band:** 4/5 (1876)  
**Heft:** 4

**Artikel:** Les travaux mécaniques pour le percement du tunnel du Gothard  
**Autor:** Colladon  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-4723>

### **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:** 23.02.2026

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

für  $\frac{1}{2}$  Tag zu 4 Arbeitsstunden mit mindestens . 15 Fr.  
für 1 Tag zu 7 Arbeitsstunden mit mindestens . 25 Fr.  
für 2 und 3 Tage und darüber zu je 7 Arbeits-  
stunden mit mindestens . . . . . 22 Fr.

b) Für den Zeitaufwand bei Reisen im Interesse von Arbeiten, welche dem Architekten nach der Tabelle vergütet werden, hat derselbe die Hälfte vorstehender Taggelder zu verrechnen.

c) An Reisekosten sind die baaren Auslagen zu ersetzen, wobei die Zehrungskosten per Tag mit 10 Fr., per Nacht mit 6 Fr. angesetzt werden dürfen.

7. Abschlagszahlungen sind während des Baues nach Verhältniss der Fortschritte des Baues und der obigen Sätze jederzeit an den Architekten auf Verlangen zu zahlen. Der Rest nach Abschluss sämtlicher übernommener Leistungen.

8. Während Anschlagsüberschreitungen eine Erhöhung des Honorars nicht herbeiführen, tritt eine solche ein für die Kosten genehmigter Bauerweiterungen oder verlangter reicherer Ausführung. Liegt kein Anschlag zu Grunde, so ist die Gesamtbausumme maassgebend.

9. Alle Zeichnungen bleiben Eigenthum des Architekten; der Bauherr kann Kopien von dem Entwurf verlangen, darf dieselben aber nur für das betreffende Werk benutzen.

#### Erklärung der Tafel.

Auf der Seite links sind die Procente von je  $\frac{2}{10}$  zu  $\frac{2}{10}$  angegeben, und die Verticale darnach eingetheilt. Die Horizontale dagegen ist nach Maassgabe der Voranschlagssumme getheilt und ist die Länge eines Theiles gleichbedeutend mit Fr. 5000.

Die Curven zeichnen das Honorar für die Gesamtleistung und zwar je eine solche für eine bestimmte Baucasse. Die ausgezogenen Curven sind unsere Vorschläge gegenüber den deutschen, welche punctirt angegeben sind.

Die kleinen Kreise fixiren die Grenzwerte, wie sie in eine Tabelle für den practischen Gebrauch (siehe vorhergehende Seite) eingetragen werden sollen. — Die Curven beginnen bei 3000 Fr. und gehen bis 800,000 Fr.

Vermittelst dieser Tabelle kann man also für jede beliebige Bausumme und Baucasse einen ganz bestimmten Honoraransatz angeben.

Man hat nur in der obern Horizontalen die Bausumme aufzusuchen, und in der betreffenden Colonne senkrecht herunter zu fahren, bis man auf die der bez. Baucasse entsprechende Curve kommt. Die Höhe der betreffenden Curve an diesem Ort gibt dann den Procentsatz an. —

Zum Beispiel:

- |                           |                 |
|---------------------------|-----------------|
| I. Baucasse 300 000 Fr.   | 2,40%           |
| II. Baucasse 150 000 Fr.  | 3,90%           |
| III. Baucasse 250 000 Fr. | 4,60% etc. etc. |

\* \* \*

### Les travaux mécaniques

pour le

### PERCEMENT DU TUNNEL DU GOTHARD

Note communiquée par M. le prof. Dr. COLLADON, ingénieur-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 États-Unis, terminée 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 7 634 mètres, le progrès moyen, même dans les dernières années, a été inférieur à celui réalisé au Mont-Cenis.

Le tunnel du St-Gothard, percé dans une roche plus dure et long de 14 920 mètres, s'exécute au 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.

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 <sup>m</sup>/<sub>100</sub> de largeur et 6 <sup>m</sup>/<sub>100</sub> 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 2,40 <sup>m</sup>/<sub>100</sub> de hauteur sur 2,60 <sup>m</sup>/<sub>100</sub> de largeur, laquelle doit toujours avancer 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 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 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, en sorte que la galerie d'avancement a son toit à 6,50 <sup>m</sup>/<sub>100</sub> ou 7 <sup>m</sup>/<sub>100</sub> 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 très-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 <sup>m</sup>/<sub>100</sub>.

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 de 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 toute part 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 roches 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 <sup>m</sup>/<sub>m</sub>, comme étant, pour la galerie du Fréjus, l'avancement maximum pour un trimestre pendant les treize années du percement.

Au Mont-Hoosac (Massachusetts), 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 1873.

Voici maintenant les chiffres d'avancement des cinq derniers trimestres du Gothard :

	Göschenen <sup>m</sup> / <sub>m</sub>	Airolo <sup>m</sup> / <sub>m</sub>	Ensemble <sup>m</sup> / <sub>m</sub>
Du 1 <sup>er</sup> juillet au 1 <sup>er</sup> octobre 1874	321,60	174,10	405,70
Du 1 <sup>er</sup> octobre 1874 au 1 <sup>er</sup> janv. 1875	283,60	243,30	526,90
Du 1 <sup>er</sup> janvier au 1 <sup>er</sup> avril 1875	267,90	289,10	557,00
Du 1 <sup>er</sup> avril au 1 <sup>er</sup> juillet 1875	312,10	344,20	656,30
Du 1 <sup>er</sup> juillet au 1 <sup>er</sup> octobre 1875	360,90	326,20	687,10

Des prophètes avaient annoncé que M. Favre, entravé par la dureté excessive des roches et par une quantité d'eau bien supérieure à celle rencontrée au Fréjus et au Mont-Hoosac, ne pourrait en aucun cas dépasser une moyenne de 3 mètres 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 3,60 <sup>m</sup>/<sub>m</sub> et 3,80 <sup>m</sup>/<sub>m</sub> 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.

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 et moteurs.

Les éléments de progrès dans le percement de très-longues 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 lieu, 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 mètres plus haut que les moteurs hydrauliques, l'eau épurée descend par une conduite, de 0,62 <sup>m</sup>/<sub>m</sub> de diamètre et 841 mètres 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 mètres 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 C<sup>ie</sup> de Zurich.

Ces turbines sont à axe vertical; elles ont 1,20 <sup>m</sup>/<sub>m</sub> 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 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'entraider; 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



vitesse 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 C<sup>ie</sup>.

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'empêcher 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 0,85 <sup>m</sup> 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 2,40 <sup>m</sup>; leur vitesse normale de 160 tours.

Elles ont été livrées par la maison B. Roy et C<sup>ie</sup>, qui est très-réputée pour la construction des turbines.

### §. III. Compresseurs d'air.

Le rapport trimestriel N° 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 câbles et pour transmettre la force dans le tunnel. Ce mémoire contenait :

„<sup>10</sup> 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.

„<sup>20</sup> Des calculs d'application au tunnel du Mont-Cenis.

„<sup>30</sup> 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 câbles, 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 béliet 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 béliet paraissait alors la machine la plus avantageuse pour obtenir pratiquement de l'air comprimé.

En conséquence, 20 béliets 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 deux et demi 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 béliets et qu'elles coûtaient un tiers de moins.

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 des 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 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.

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 reconnaître 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. L'ingénieur-Conseil 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 5 groupes de trois compresseurs chacun pour le côté d'Airolo.

Ces 5 groupes sont placés avec les turbines motrices dans une chambre qui n'a que 35 mètres de longueur sur 8,50 m de largeur. Chaque turbine peut commander indifféremment l'un ou l'autre des groupes voisins ou les faire marcher simultanément.

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, 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 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 celles 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 pompes.

Les compresseurs de Göschenen ont été fournis par MM. 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 0,20 m de diamètre jusqu'à l'extrémité de la cunette. Cet air est ensuite conduit jusqu'aux abattages, et à l'extrémité de la galerie de direction, au moyen de tubes en fer battu de 0,14 m, puis de 0,10 m 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 0,05 m de diamètre.

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 15° centigrades celle de l'air aspiré.

On avait établi au Mont-Cenis, du côté de Bardonnèche, pour la fourniture d'air comprimé, sept roues à augets; chacune d'elles était 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 quatre turbines, donnent 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 un emplacement 5 ou 6 fois plus réduit.

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

(A suivre.)

### Die Eisenbahnkrisen und der Staat.

Zwischen den Eisenbahnunternehmen und dem Staate — ob nun die Bahnen Staats- oder Privatunternehmen sind oder nicht — bestehen eine grosse Reihe von Wechselbeziehungen, welche von wichtigstem Einflusse auf die Prosperität der ersteren sind, und ausserdem sind die Eisenbahnen nur dadurch möglich geworden, dass der Staat mit seiner Gesetzgebung und theilweise mit seinen Mitteln sich derselben annahm. Kein Zweig des modernen gesellschaftlichen Lebens hat so eingehende und andauernde Ansprüche an den Staat erhoben, wie die Eisenbahnen; aber auch in keinem Lande der civilisirten Welt hat der Staat nicht von vorneherein erkannt, dass sich seine Gesetzgebung mit dieser neuen Erscheinung intensiv werde zu beschäftigen haben. Ebenso leistet die Geschichte der Eisenbahnen sämtlicher Länder den Beweis, dass nicht weniger als den Gesellschaften selbst dem Staate die Pflicht zukommt, das Eisenbahnwesen des Landes zu studiren, seine Bedingungen zu erörtern, und die Volkswirtschaft, soweit sie mit den Eisenbahnen in Zusammenhang kommt, zu schützen; bei Alledem hat nirgends der Staat versäumt, Leistungen von diesen Verkehrsanstalten zu beanspruchen, welche ihm mit der Natur derselben zusammenzufallen schienen.

Dieser Einfluss des Staates hat mit den ersten Eisenbahnen der Erde begonnen, als das englische Parlament dem ersten Eisenbahnconcessionair, jenem energischen Eduard Pease im Jahre 1818 die Concession verweigerte und erst nach mühevollen Bestrebungen, desselben drei Jahre später eine Concession für den Verkehr mit „Waggons und andern Vehikeln, die durch Thiere, Menschen oder auf andere Art“ bewegt werden, gewährte, als das Parlament im Jahre 1825 für die Linie Manchester-Liverpool nur eine Fahrgeschwindigkeit von 13—16 Kilometer per Stunde gewähren wollte, während Stephenson eine solche von 19—24 Km. für möglich hielt.

Seither hat allerdings die Gesetzgebung in so umfassender Weise die Bedingungen und Verwahrungen, welche das Staatsinteresse feststellt, codificirt, dass dagegen jene schwierigen Anfänge heute ausserordentlich einfach erscheinen.

Wenn bei uns zu Lande — um auf eine Folge von Bestimmungen der Gesetze einiger Länder zu sprechen zu kommen — der Kostenvoranschlag in der Hauptsache durch den Unternehmer festgestellt wird und dieser damit die Basis für das Anlagecapital selbst schaffen kann, so wird damit auch die Berechnung der Rentabilität der Bahn dem Unternehmer, soweit sie von den Anlagekosten abhängt, überlassen bleiben und so ein billiges Verhältniss geschaffen sein; wenn jedoch — wie in Frankreich — der Staat das Anlagecapital für gewisse Fälle durch eine Maximalkostenziffer beschränkt, so bestimmt er dadurch gewaltsam den Charakter der Bahnanlage, und er kann, durch