

Zeitschrift:	Bulletin de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes
Band:	7 (1881)
Heft:	4
Artikel:	Note sur le chemin de fer de l'Arlberg et en particulier sur le grand tunnel de ce nom
Autor:	Meyer, J.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-8678

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: 04.02.2026

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

Le service public dont sera ainsi chargée la Compagnie comprendra près de 8000 pendules et horloges appartenant à la ville. La ville de Paris sera, de la sorte, le principal abonné de la Compagnie générale des horloges pneumatiques.

Chacun des neuf réseaux alimentera à peu près 60 à 70 kilomètres de rues, de sorte que le service total à prévoir dès à présent peut être évalué à 600 kilomètres de conduites maîtresses pour distribuer l'heure dans 50 000 maisons ou édifices.

L'unification de l'heure sur toute l'étendue des grandes villes, qui avait été vainement demandée à l'électricité, sera ainsi assurée par le système pneumatique : ce sera grâce à celui-ci que, désormais, tous les services, soit publics, soit particuliers, pourront être exactement réglés et que toutes les affaires pourront se traiter avec toute la ponctualité voulue.

L'heure exacte, indiquée à la fois sur tous les points d'une grande ville, sur toutes les voies publiques, dans tous les édifices et les différents lieux publics et dans toutes les maisons ; toutes les horloges, toutes les pendules marchant d'une manière uniforme, sans avance ni retard, sans besoin de remontage ni de réglage, sans arrêt possible et sans chance d'aucun dérangement dont le système puisse être rendu responsable : toutes indiquant au même moment la même minute : en un mot, toutes marchant comme un seul et même appareil pouvant être abandonné à lui-même, sans la moindre surveillance, tel est le problème multiple qui sera bientôt résolu à Paris par l'installation, sur toute son étendue, du système des horloges pneumatiques.

E. VIGNES.

(Extrait de *la France*, 23 et 31 octobre 1881.)

NOTE SUR LE CHEMIN DE FER DE L'ARLBERG ET EN PARTICULIER SUR LE GRAND TUNNEL DE CE NOM

I. APERÇU HISTORIQUE.

La ligne de l'Arlberg, soit celle qui est destinée à relier Innsbruck, capitale du Tyrol et l'une des stations principales de la ligne du Brenner et du réseau autrichien, avec la ligne exploitée du Vorarlberg qui s'arrête actuellement à Bludenz et par cette ligne avec le lac de Constance (Lindau) et les chemins de fer suisses, par Sainte-Marguerite et Rorschach au nord et Buchs-Sargans au sud, établira une communication entre la France, la Suisse et l'empire austro-hongrois, sans passer par l'Allemagne.

A la fin de l'année 1860 on avait commencé l'étude de divers projets. En 1872 une enquête fut ouverte par le ministère pour le choix du meilleur tracé, les ingénieurs les plus éminents y prirent part. Ces études, le rapport technique de M. l'inspecteur général Pischof et le résultat de ces enquêtes, avec des plans, profils et études géologiques, furent publiés par les soins du ministre des Travaux publics et de l'Inspection générale des chemins de fer. Cinq projets étaient en présence. L'un avec un tunnel de 5518m, le second de 6410m, le 3^e de 6810m, le 4^e de 7620m et le 5^e de 12 400m. C'est à ce dernier que fut alors donnée la préférence. La crise financière de 1873 qui sévit en Autriche fit ajourner l'exécution de ce projet.

Mentionnons ici un projet présenté le 27 novembre 1874 par MM. Rigganbach et Zschokke pour franchir l'Arlberg au

moyen d'un chemin de fer à crémaillère système du Rigi perfectionné.

En 1875 surgit un nouveau projet, avec un tunnel de 6740m à une altitude de 1400m environ.

Enfin une nouvelle enquête eut lieu en octobre 1879 et la Société des ingénieurs et architectes de Vienne s'en occupa très activement à la fin de 1879 et au commencement de 1880. Ces discussions furent reproduites dans deux brochures de M. W. de Nordling, alors Directeur général des chemins de fer de l'Autriche¹, discussions mémorables et qui portaient surtout sur le choix à donner à un tracé haut ou à un tracé bas. Le cadre de cette note ne nous permet pas d'analyser cette intéressante discussion dont la plupart des journaux techniques ont du reste rendu compte.

Nous nous bornerons à dire que les Chambres votèrent à la date du 8 mai 1880, une loi qui chargeait l'Etat de la construction de cette ligne et le 15 mai déjà le ministère des travaux publics chargea la direction impériale et royale pour la construction des chemins de fer de l'Etat de l'établissement de cette ligne.

II. DESCRIPTION GÉNÉRALE DE LA LIGNE.

a. *Rampes d'accès*. — La ligne d'Innsbruck à Bludenz a une longueur totale de 136km,6. La première partie de cette ligne, d'Innsbruck à Landeck, dans la vallée de l'Inn, d'une longueur de 72km,8 est une ligne de vallée facile à construire, les déclivités n'y dépassent pas 10 %, Innsbruck est à la cote de 582m et Landeck 777m au-dessus de la mer ; cette section doit être ouverte à l'exploitation en automne 1882. Les travaux de cette partie de la ligne viennent d'être adjugés à l'entreprise ensuite d'un concours auquel avaient pris part 46 soumissionnaires. L'ouverture des soumissions a eu lieu le 20, l'adjudication par le ministère le 27 octobre. Les lots 1, 2 et 3 ont été adjugés à un consortium d'entrepreneurs tyroliens Hohenauer, Köhle, Urban, Praschniker avec des rabais de 12.4, 17.1 et 17.2 %. Les lots N° 4 à 10 aux frères Redlich & Berger avec un rabais de 17.5 %. Il s'était présenté des soumissionnaires offrant des rabais allant jusqu'à 29.5 %. Ils ont été écartés comme ne présentant pas suffisamment de garanties, l'expérience ayant souvent montré que c'est une économie mal entendue de la part d'une administration d'adjudiquer toujours au plus bas, que la qualité des travaux en souffre et qu'elle peut être appelée à répondre à des réclamations d'autant plus élevées que les rabais ont été plus forts, opinion que l'auteur de la présente note partage en plein. Quoi qu'il en soit les rabais con-

¹ *Die Alternativ-Trassen der Arlbergbahn.* — Wien, Waldheim 1879.

Die Arlbergbahn und die Frage der Stellung der Techniker im staatlichen und sozialen Leben. — Wien, Hartleben, 1880. Outre ces ouvrages il a encore été puisé aux sources suivantes : *Die Installationsanlagen am Arlbergtunnel*. Vortrag gehalten am 5. März 1880 von H. G. Plate, k. k. Inspektor. — *Denkschrift der k. k. Direktion für Staats-Eisenbahnbaute am Arlbergtunnel*, par M. le directeur J. Lott. — Les renseignements officiels, marchés, cahiers des charges, etc. dont je dois la communication à M. l'inspecteur général Dieterle, les renseignements que j'ai recueillis sur place de MM. les ingénieurs de l'Etat et enfin les notes publiées dans le journal *Centralblatt für Eisenbahnen und Dampfschiffahrt*, sur l'avancement des travaux.

sentis représentent une économie de 1 000 000 fr. (400 000 fl.) sur 6 200 000 fr. (2 480 000 fl.) soit en moyenne 16,2 %.

La rampe d'accès, côté est, de Landeck à Saint-Antoine, a une longueur de 27^{km},8. Ce dernier point, qui est à l'entrée du grand tunnel, se trouve à la cote 1302^m. Ce tronçon est presque constamment en rampe de 25 ‰ et même 25,2 ‰, le rayon minimum des courbes est de 250^m. C'est un tracé à flanc de coteau assez tourmenté; aux environs de Strengen il se trouve à 80^m environ au-dessus du thalweg de la vallée de la Rosanna. Aussi cette partie du tracé comporte-t-elle des ouvrages d'art importants, entre autres le viaduc sur le torrent de la Trisana, d'une longueur de 200^m et d'une hauteur de 80^m, et deux petits tunnels.

La rampe d'accès ouest de Langen (altitude 1215^m) à Bludenz (altitude 599^m) a une longueur de 25^{km},8. On voit tout de suite, par le rapprochement de la longueur et des cotes d'altitude, que les déclivités doivent être plus fortes, elles sont en effet de 29 et 30 millimètres. Le tracé est aussi à flanc de coteau, mais il se tient sur une plus grande longueur (presque sur tout le parcours) éloigné du thalweg de la vallée de l'Alfenz; cette hauteur atteint même 130^m. Il y a plusieurs viaducs importants et deux tunnels de 290^m ensemble. Le passage des cônes de déjection des torrents et la protection contre les avalanches nécessiteront des travaux spéciaux.

Le nombre des stations est de 16 sur la rampe d'accès est et de 5 sur celle ouest.

b. Grand tunnel. — Ces deux rampes d'accès sont reliées par le grand tunnel sous l'Arlberg. Ce tunnel a une longueur totale de 10 270^m. Du côté est, soit à Saint-Antoine, la cote d'altitude est de 1302^m; il y a une rampe de 2 ‰ sur 4100^m de longueur qui amène au point culminant dans le tunnel à l'altitude de 1310^m,20, puis une pente de 15 ‰ vers l'ouest sur 6355^m de longueur; l'altitude de la tête ouest à Langen est à la cote 1214^m,88.

Le point où le terrain naturel est le plus élevé au-dessus du tunnel est à la cote 2100^m, soit environ 800^m au-dessus du tunnel. Le tunnel est percé en ligne droite, mais des deux côtés il se raccorde par des courbes de raccordement avec le tracé à ciel ouvert; elles sont de 300^m du côté est, à Saint-Antoine, et de 500^m du côté ouest à Langen.

III. TRAVAUX PRÉPARATOIRES.

Les travaux préparatoires ont été commencés les 24 et 25 juin 1880 en attaquant les galeries des deux têtes; ce travail a d'abord été fait à la main par les procédés ordinaires et poursuivi ainsi jusqu'au 13 novembre 1880 avec un avancement moyen journalier de 1^m,43 (total 205^m,60) à la tête est et de 1^m,47 (total 241^m) à la tête ouest.

Il est intéressant de noter ici qu'on avait eu d'abord l'intention de foncer un puits incliné au-dessus du hameau de Kautz, vers le milieu du tunnel. Ce puits aurait eu une profondeur de 1160^m. Le fonçage de ce puits fut mis au concours le 6 juin 1880, en même temps que les attaques provisoires; trois entrepreneurs seulement se présentèrent, mais leurs soumissions durent être écartées, les deux premières par suite de prix trop élevés et la dernière parce que le soumissionnaire ne s'engageait pas à faire des prix acceptables.

Cet insuccès apparent s'explique par le fait qu'au moment où l'on projetait ce puits on comptait, d'après les expériences alors acquises au tunnel du Gotthard, sur un avancement journalier de 3^m pour le percement du tunnel. On comptait aussi sur une abréviation d'une année sur le délai d'exécution du tunnel, qui semblait suffisamment compenser les difficultés du puits. Depuis, et en poursuivant l'étude définitive du tunnel on s'aperçut qu'on pouvait compter sur un avancement de 3^m,30 par jour, fait qui s'est non seulement confirmé par l'acceptation de cette mesure d'avancement par les adjudicataires, mais qui a été réellement atteint et même dépassé jusqu'ici.

IV. CONDITIONS GÉOLOGIQUES.

L'abandon de ce puits a donc été pleinement justifié.

Nous n'avons pas pu voir de coupes ni de cartes géologiques détaillées de ce tunnel autres que celles qui étaient publiées dans le mémoire ministériel d'avril 1872 dont nous avons parlé et se rapportant aux anciens projets, mais les renseignements que nous avons obtenus et un rapide examen sur place nous permettent l'appréciation suivante. L'ensemble de la montagne se compose de schistes cristallins micacés avec plus ou moins de quartz. Du côté est la roche est plus dure, plus compacte, contenant plus de quartz, ayant en certains points, une apparence et une dureté se rapprochant des gneiss, avec de nombreux cristaux de feldspath et avec peu de filtrations d'eau; on y a rencontré aussi beaucoup de schistes micacés grenatifères; on n'a en général pas été obligé de boiser les galeries d'avancement. Du côté ouest, par contre, les schistes étaient moins durs, de cette variété désignée sous le nom de phyllite maclée (appelée phyllite par les ingénieurs autrichiens) plus pauvres en quartz, qui ne s'y présente que sous la forme de nodules et lentilles; le mica y prédominant ils sont en général plus crevassés, donnent lieu à des infiltrations plus abondantes, mais qui s'épuisent assez rapidement et ont nécessité des boisages assez complets qui subissent de fortes pressions, surtout dans les endroits où se trouvent des veines qui passent à l'état argileux; on y rencontre aussi beaucoup de graphite. Nous avons observé dans les matériaux du marinage, à la décharge, des débris ayant l'apparence des schistes lustrés graphite et quelques schistes grenatifères. Il est probable que ces formations auront un développement de 2^{1/2} à 3^{km}, c'est-à-dire jusqu'au-dessous du village de Stuben, où l'on retrouvera probablement les formations plus compactes, comme du côté de l'est.

V. SYSTÈME DE PERCEMENT ADOPTÉ.

On a adopté le système de percer la galerie d'avancement à la base (méthode anglaise) et à notre avis avec beaucoup de raison. Cette galerie a une section de 2^m,75 de largeur et de 2^m,30 de hauteur, soit une surface de 6^m,32, permettant à trois couples de mineurs de travailler simultanément. Tous les 50 mètres on fait une cheminée pour attaquer une galerie de faite ou de calotte de 2^m de largeur sur 2^m,30 de hauteur, surface 4^m,60, dans laquelle deux couples seulement de mineurs peuvent travailler. Celle-ci suit toujours ainsi de très près la galerie d'avancement. Ce mode fut surtout adopté après les

expériences faites dans les tunnels des lignes d'accès du Gotthard et spécialement à celui du Leggistein.

VI. INSTALLATIONS HYDRAULIQUES.

Disons d'abord, et nous reviendrons sur ce point, que l'Administration a tenu à faire elle-même toutes les installations mécaniques et à en rester propriétaire.

Forces hydrauliques disponibles. — Des deux côtés du tunnel, soit à l'est près de St-Antoine soit à l'ouest près de Langen, on dispose de cours d'eau qui, même au prix de dépenses considérables d'installations, sont plus économiques que l'emploi de la vapeur.

Du côté est on se basa sur des jaugeages faits en mars 1880 et avant la fonte des neiges dans le ruisseau de la Rosanna. On constata qu'avec une chute de 17m,50 on pourrait se procurer une force de 150 à 240 chevaux suffisante pour les installations provisoires et qu'en portant la chute à 132m cette force s'élèverait de 930 à 1700 chevaux.

Du côté ouest les conditions se présentaient moins avantageusement, le ruisseau de l'Alfenz ayant un moindre débit que celui de la Rosanna. Il a fallu recourir encore à d'autres ruisseaux situés en contre-bas du tunnel, du côté de Klösterle, et établir deux prises d'eau.

A St-Antoine, à l'est, on a fait un barrage dans la Rosanna à une distance de 4km,500 et à 140m au-dessus de la tête du tunnel. On a établi un bief en bois de 0m,80 de section, d'un kilomètre environ de longueur et d'une pente de 0m,002, débitant environ 1000 l. à la seconde et amenant l'eau dans un réservoir maçonné ou dépotoir où se déposent les sables, qui est situé à 135m de hauteur au-dessus du tunnel.

De là une conduite d'eau de 0m,90 de diamètre et de 510m de longueur amène l'eau aux moteurs. Elle est en tôle d'acier Bessemer rivée à deux rivures, avec joints à brides formées de cornières de même métal ; les épaisseurs varient successivement, suivant les pressions, de 7,9 et 11mm. Pour les courbes on a adopté des rondelles à coins en acier qui se placent entre les brides et d'angles ou ouvertures différents et dans les forts coudes des pièces spéciales de 1m de longueur, formant des coudes brusques et qui sont également rivées. A part cela tous les tuyaux sont droits et de la même longueur. On nous a indiqué comme prix de revient moyen de cette conduite 65 florins soit 162 fr. 50 c. le m². Elle débite 1000 l. également par seconde et donne une force de 1700 chevaux qui en hiver descend à 930 chevaux.

Du côté de l'ouest la conduite supérieure de l'Alfenz, avec prise d'eau au-dessus du village de Stuben, est également en tôle d'acier Bessemer de 0m,50 de diamètre et d'une longueur de 2900m environ. Elle peut donner à peu près 500 chevaux en été et 250 en hiver. Lors de mon passage, on construisait près du village de Stuben un grand réservoir en maçonnerie qui doit contenir 1200 m³ et servir de dépotoir pour les sables et en même temps à emmagasiner les eaux pendant les basses eaux de l'hiver. Quatre petits ruisseaux, entre Stuben et Langen, ceux du Sacktobel, Koppellandbach, Mosbach et Langentobel, sont captés et amenés dans la grande conduite par des conduites spéciales.

On installe une seconde prise d'eau dans la partie inférieure

de l'Alfenz, à 2 km. environ de la tête du tunnel, au-dessus du village de Klösterle où seront installés des compresseurs et de là une conduite de refoulement d'air jusqu'au tunnel. Des conduites accessoires de 1200m de longueur environ y amèneront les eaux des torrents latéraux du Neurigast et du Welli-Tobel. Enfin une petite conduite spéciale de 400m environ amène les eaux de l'Alptobel qui descend près de la tête du tunnel. Cette installation de Klösterle donnera une force de 400 chevaux.

VII. CHOIX DU SYSTÈME DE PERFORATION A EMPLOYER.

Comme on l'a dit, le percement à la main était une organisation provisoire pour gagner du temps. La direction pour la construction des chemins de fer de l'Etat avait donc à choisir le mode de perforation à adopter. Elle avait basé ses calculs sur les résultats obtenus au grand tunnel du Gotthard pendant les derniers temps, supposant la même dureté de roche et le même système de perforation.

Mais la machine perforatrice à rotation et à forte pression de M. Brandt, qui avait d'abord fait ses premiers essais au tunnel de Sonnstein et dans diverses mines en Westphalie et en Saxe, donna de si bons résultats dans la roche exceptionnellement dure du tunnel du Pfaffensprung, à la rampe nord du Gotthard, que la Direction se décida à installer ce système de perforation à l'attaque côté ouest du tunnel et simultanément, du côté est, les machines à percussion et à air comprimé du système Ferroux, Séguin et Walker, les mêmes qui ont été employées à la perforation du grand tunnel. Il va s'établir ainsi entre ces deux systèmes une lutte des plus intéressantes et des plus instructives.

Nous reviendrons dans une autre partie de ce travail sur les résultats obtenus jusqu'ici et sur la valeur relative de ces deux systèmes de perforation.

Nous nous dispensons de les décrire ici et renvoyons pour cela aux nombreux ouvrages et publications techniques qui les ont décrits tout au long et notamment :

- 1^o Aux rapports trimestriels du Conseil fédéral sur les travaux du Gotthard.
- 2^o Au journal *Le chemin de fer* de Zurich.
- 3^o Au journal *Zeitschrift des österreichischen Ingenieur- und Architektenvereins*.
- 4^o Au mémoire de M. Plote déjà cité.
- 5^o A la *Revue générale des chemins de fer*, novembre 1880, pages 403 à 408, et juin 1881, page 456.

VIII. PRINCIPES QUI ONT GUIDÉ DANS LE CHOIX DU SYSTÈME DE VENTILATION DU TUNNEL.

Une seconde et importante question sur laquelle la Direction avait à se prononcer était celle de la ventilation.

Au tunnel du St-Gotthard le seul moyen de ventilation employé consistait à utiliser une partie de l'air comprimé destiné à actionner les machines perforatrices. On plaçait des tuyaux de branchement sur la conduite maîtresse, partout où l'on éprouvait le besoin de donner de l'air respirable. Il arrivait souvent que les ouvriers brisaient eux-mêmes la conduite pour se procurer plus d'air, aussi, grâce à ces emprunts en route, la pression initiale descendait-elle de moitié et compromettait l'avancement régulier ; cet inconvénient était surtout grave en hiver,

lorsque le débit d'eau diminuait et qu'on avait à peine la force nécessaire pour le travail, alors la ventilation était insuffisante.

Il faut observer que pour le travail mécanique de la perforation il est nécessaire pour obtenir un bon rendement, surtout dans les roches cristallines dures, de conserver à l'air une pression d'eau moins 5 atmosphères. Par contre l'air destiné à la ventilation n'a pas besoin d'être comprimé à une aussi grande pression et la force destinée à le comprimer ainsi est dépensée en pure perte; il suffit qu'il soit abondant. Cette abondance ne peut manquer d'assurer un plus grand bien-être aux ouvriers et, outre la question d'humanité, il y a une question d'intérêt de l'entreprise, l'ouvrier travaillant dans un meilleur milieu produit davantage dans un temps donné.

Ces considérations devaient nécessairement amener la Direction à adopter deux conduites d'air séparées, l'une à haute pression pour actionner les machines perforatrices, l'autre à pression plus faible pour la ventilation; c'est ce qui a eu lieu. La conduite maîtresse pour la ventilation est poussée jusqu'à 100 ou 150^m du front d'attaque de la galerie d'avancement et de là des tuyaux de plus petit diamètre distribuent l'air comprimé sur tous les chantiers où se trouvent réunis des ouvriers. Ceci est facilité par une disposition spéciale du plan d'exécution des travaux, sur laquelle nous reviendrons, c'est que tous les chantiers sont concentrés sur un espace de 600^m au plus, en arrière du front d'attaque.

A l'attaque est, le diamètre de la conduite de ventilation est de 0^m,40, à la tête ouest il a été porté à 0^m,50, parce que la perforation ne se faisant pas à l'air comprimé, mais, comme nous l'avons dit, avec le système Brandt à l'eau comprimée, on n'a pas à compter sur la ventilation produite par l'échappement d'air des machines perforatrices.

Au St-Gotthard la quantité d'air employée dans le tunnel a rarement dépassé 100 m³ par minute; ramenée à la pression atmosphérique, cette quantité est descendue à la moitié et même au tiers en hiver. Aussi à l'Arlberg a-t-on prescrit dans le cahier des charges un minimum de 150 m³ qui pourra et devra être augmenté en cas de besoin.

En outre et suivant une conférence de M. le professeur Grimbberg, l'emploi de la perforatrice Brandt a révélé un curieux effet qui est produit par l'eau comprimée et pulvérisée qui s'en échappe, par de petites ouvertures, sur les gaz produits par la combustion.

En se combinant avec ces gaz l'eau les précipite et cette précipitation procure un abaissement de température, on peut ainsi rentrer dans le fond de la galerie quelques minutes après l'explosion des mines. Cette remarquable propriété de l'eau comprimée est utilisée dans la galerie d'avancement et le sera dans celle de calotte et dans les abatages au large. On a l'intention dans la galerie est, d'utiliser cette propriété, en plaçant une conduite d'eau spéciale pour laquelle on dispose d'une pression de 13 atmosphères; bien que cette pression soit moins énergique que celle de 80 atmosphères environ qui s'échappe de la machine Brandt, on espère qu'en arrosant les masses de rochers renversés par l'explosion, avant d'en laisser approcher les ouvriers, on empêchera le dégagement des gaz méphitiques et les asphyxies partielles qu'ils ont quelquefois provoquées. Cela permettra, en outre, aux ouvriers de disposer d'une eau de bonne qualité et de ne pas être obligés de se contenter des eaux de suintement

plus ou moins pures. Si cette pression de 13 atmosphères est reconnue insuffisante, on pourra toujours l'augmenter au moyen d'une pompe refoulante analogue à celle des machines Brandt.

On connaît l'effet à peu près nul qu'on a obtenu au Gotthard, pour l'extraction de l'air vicié, par des cloches placées sur les têtes du tunnel, avec des conduites en tôle de 1^m,20 de diamètre, attachées au sommet de la voûte et qui n'ont du reste pas été poussées à plus de 100^m de la tête, alors que l'avancement était à plusieurs kilomètres en avant.

A l'Arlberg la galerie de calotte qui, comme nous l'avons dit, suit toujours de très près celle d'avancement, procure une ventilation naturelle des plus favorables. La fumée remonte par les cheminées d'ascension par lesquelles on décharge les déblais. Cette galerie supérieure produit le même effet qu'une conduite d'aspiration placée au niveau de la voûte.

Les expériences réalisées jusqu'ici permettent de considérer cette ventilation comme étant suffisamment énergique pour permettre, pour le transport des déblais et matériaux, l'emploi de locomotives ordinaires, moyen, en tout cas, beaucoup plus économique et plus simple que celui des locomotives à air comprimé, les locomotives sans feu, système Franck, les câbles, etc., etc.

IX. DESCRIPTION DÉTAILLÉE DES INSTALLATIONS MÉCANIQUES DANS LEUR ÉTAT ACTUEL.

Toutes les installations fixes et mécaniques, y compris les conduites d'eau, les routes d'accès et les bâtiments pour les bureaux, soit de l'administration soit de l'entreprise, logements d'employés et ouvriers, hôpitaux, etc., ont été faites aux frais de l'administration; même les installations complémentaires qui se font actuellement et qui sont exécutées par les entrepreneurs, sous la direction de l'administration, sont aux frais de cette dernière qui en est propriétaire; elles sont remises en location gratuitement aux entrepreneurs.

L'administration s'est guidée pour cela par les considérations suivantes: éviter les difficultés analogues à celles qu'avait fait naître cette question d'installations au Gotthard et surtout être moins liée avec les entrepreneurs et pouvoir les congédier s'ils ne convenaient pas, sans être arrêtée par cette question de matériel.

Le coût des installations faites avant l'adjudication s'élève:

Pour le côté de Saint-Antoine à Fr. 777 500 (314 000 fl.)	
» » Langen . . . à » 800 000 (320 000 »)	
Ensemble Fr. 1 577 500 (634 000 fl.)	

Les installations complémentaires ont été évaluées à une somme maxima qui, suivant le marché, est de:

Pour le côté de Saint-Antoine à Fr. 1 200 000 (480 000 fl.)	
» » Langen . . . à » 1 400 000 (560 000 »)	
Ensemble Fr. 2 600 000 (1 040 000 fl.)	

ce qui ferait donc en totalité 4 177 500 fr. — On compte toutefois que les sommes prévues pour les installations complémentaires ne seront pas épuisées et qu'il y aura une économie de 10 %, soit de 260 000 fr. environ. A la fin du 1^{er} semestre de 1881 il restait un disponible de 455 832 fr. (186 333 fl.) pour le côté est et de 472 362 fr. (188 945 fl.) pour le côté ouest sur les maxima ci-dessus prévus pour les installations com-

plémentaires ; mais, comme nous le dirons plus loin, on complète encore ces installations.

Les bâtiments se composent, du côté est Saint-Antoine (voir le plan) :

- a. un bâtiment abritant les compresseurs pour la perforation,
- b. » » » la ventilation,
- c. » atelier de réparations,
- d. » forge et atelier de charonnage,
- e. plusieurs bâtiments pour magasins,
- f. un bâtiment : vestiaire et lavabos pour employés,
- g. » d'habitation pour l'entreprise,
- h. » » pour le personnel de l'administration,
- i. plusieurs bâtiments d'habitation pour logements d'ouvriers (pour 16 familles et ouvriers célibataires),
- k. un bâtiment pour hôpital,
- l. » observatoire pour le tracé de l'axe.

Du côté ouest (Langen) il y a les mêmes bâtiments, nous y avons remarqué en outre un bâtiment de restaurant, espèce de cercle, avec logements pour les employés de l'entreprise.

En fait d'installations mécaniques (nous ne reviendrons pas sur les installations hydrauliques que j'ai décrites au § 6) nous citerons :

Coté est (Saint-Antoine) I. L'installation provisoire avec deux turbines partielles, système Girard, marchand sous pression de 17^m.50. Les buses d'entrée ont 0^m.65 de diamètre. Les turbines ont 3^m.60 avec 288 palettes ; leur vitesse normale est de 45 tours à la minute, ce qui donne à la périphérie 8^m.50.

II. Compresseurs. Contrairement à ce qui s'est fait au tunnel du Gotthard où l'on a utilisé des compresseurs dits *secs*, c'est-à-dire où la compression se fait à sec et où l'on introduit de l'eau dans l'intérieur de la tige du piston (système de M. le professeur Colladon) pour diminuer le surchauffement de l'air dans le cylindre, on emploie ici, à l'Arlberg, des compresseurs dits *humides*, où la compression se fait au contact direct de l'eau. La raison alléguée est que l'espace nuisible est pour ainsi dire réduit à zéro et que le rendement est beaucoup meilleur. Nous n'avons pas été à même de vérifier l'exactitude de cette allégation, ce qui sera intéressant à comparer. Le réchauffement de l'air ne dépasse pas 25 à 30° et la consommation de l'eau de rafraîchissement nécessaire ne dépasse pas 1/2 % de la quantité d'air comprimé.

Ces compresseurs humides sont mus par des machines à colonne d'eau, système de M. l'ingénieur Ph. Mayer, à Vienne. Les uns ont été construits par la Société de construction ci-devant Breitfeld à Prague. Ils sont à double effet, avec pistons plongeurs de 400^{mm} de diamètre et 0^m.650 de course à 45 tours, ce qui correspond à une vitesse de piston de 1^m ; les essais ont constaté un effet utile de 90 % du volume, et les deux groupes de 2 soit les 4 compresseurs donnent 4^m³ d'air par seconde à la pression de 5 atmosphères ; cette pression peut être facilement portée à 8 atmosphères. L'eau de rafraîchissement est prise dans la conduite des turbines et amenée par un tuyau. Chaque groupe de compresseurs est mû par une turbine verticale, système Girard, de la force de 75 chevaux. Il y a deux groupes de compresseurs de ce système.

Les autres sont du système breveté *Staneck*, construits par *Koroesi* à Gratz. Il y en a également deux groupes soit 4 ; ils ont 0^m.700 de diamètre et 1^m de course. Un groupe était en

montage lors de notre visite, le 27 septembre. On montait un troisième groupe de 2 compresseurs du premier système pour fournir l'air comprimé destiné spécialement aux machines soufflantes pour la ventilation. Celles-ci ont des cylindres de 1150^{mm} de diamètre et 1^m de course ; ils doivent livrer ensemble 180^m³ d'air par minute pour une longueur de tuyaux de 6000^m. Jusqu'alors on avait utilisé à cet effet l'air comprimé pour la percussion. Le prix de revient d'un groupe du premier système est de 30 000 fr. (12 000 fl.) et du second 55 000 fr. (22 000 fl.)

L'air comprimé se rend dans des réservoirs de 18^m³ en tôle d'acier Bessemer, avec indicateur de niveau d'eau, manomètre robinet purgeur et trou d'homme. C'est de ces réservoirs (1 pour 2 groupes) que part la conduite d'air qui pénètre dans le tunnel. Elle a 0^m.15 de diamètre. On compte, quand on emploiera la perforation mécanique pour la galerie de calotte et les abatages, la remplacer par une conduite de diamètre double.

Les 6 compresseurs livrent ensemble 16,5^m³ d'air par minute, à la pression de 6 atmosphères.

Coté ouest. (Langen.) Sans entrer dans la description du système de perforation Brandt, pour lequel nous avons indiqué les sources de renseignements auxquelles il faut recourir, nous rappellerons qu'il se distingue des systèmes à percussion dans ce sens que pour la transmission de la force à l'outil on n'utilise pas de l'air comprimé à quelques atmosphères seulement, mais que cette transmission a lieu au moyen d'eau comprimée à 100 atmosphères et plus et que les forets n'agissent pas par coups ou chocs, mais comme une tarière ; de petites machines à colonnes d'eau, agissant sous cette énorme pression, transforment le mouvement en un mouvement de rotation lent.

Le foret a la forme d'une fraise, c'est un cylindre creux à dent qui détruit la pierre sur l'épaisseur de cet anneau cylindrique et laisse un noyau ou chandelle qui s'enlève entier ou brisé, suivant la nature de la roche.

L'installation de ces perforatrices Brandt a été faite par la maison Sulzer frères à Winterthour (Suisse) qui jouit d'une réputation bien méritée pour ses bonnes et rationnelles constructions. Les moteurs sont, comme de l'autre côté, des turbines Girard à arbre horizontal. Elles ont un diamètre extérieur de 2^m.50, les palettes sont en tôle d'acier. La vitesse normale est de 160 tours par minute, ce qui donne 21^m de vitesse de périphérie. Avec un débit de 180 litres et une chute de 80^m, elles doivent développer une force de 150 chevaux, soit un effet utile de 78 % qui est garanti.

Chaque turbine met en mouvement, au moyen de deux paires de roues dentées dont les diamètres sont dans la proportion de 3 à 8, et de 2 manivelles à 90°, un groupe de pompes à haute pression situé symétriquement par rapport à la turbine. Ces pompes sont construites d'après le système de Kirchmeyer, avec pistons plongeurs différentiels n'aspirant que dans un sens, mais comprimant dans les deux sens. La tige de piston continue a 48^{mm} et 68^{mm} de diamètre et une course de 40^m.66. La vitesse normale est de 60 tours à la minute et chaque pompe livre 2 litres d'eau comprimée par seconde.

Les pompes aspirent l'eau d'un canal placé entre les fondations du bâti des machines, canal qui est alimenté par l'eau qui a servi au moteur des ateliers. Cette eau passe avant à travers un filtre naturel pour se purifier et ménager les moteurs

et perforatrices qui, sous cette énorme pression, souffrent beaucoup des impuretés de l'eau.

Accumulateurs. — Les conduites d'eau en pression se réunissent dans la conduite commune de 70^{mm} de diamètre qui se rend dans le tunnel et celle-ci se bifurque sur les deux accumulateurs à contrepoids, mais qui fonctionnent comme régulateurs de pression.

Cet accumulateur consiste en un cylindre fermé au bas, dans lequel le piston monte et descend. A cette tige est fixée une caisse en fer pouvant recevoir un contrepoids variable qui peut être proportionné à la pression nécessaire. Aussitôt que la pression de l'eau est plus considérable que ce contrepoids ne le comporte, le piston, et avec lui son contrepoids s'élève d'environ 0^m,8 et décharge automatiquement une soupape retenue par des ressorts à volute, en accrochant, par un ajustage placé vers l'extrémité des pistons, le levier qui est relié à la soupape, et en le déplaçant. Une partie de l'eau peut alors s'échapper. Si la perforation s'arrête, le piston continue à s'élever, la soupape s'ouvre complètement et toute l'eau amenée s'en va dans le réservoir de trop plein.

Aussitôt que la perforation recommence le piston descend, la soupape se ferme, les ressorts entrent en action et au bout de peu de coups de pistons la pression normale est rétablie.

Cet accumulateur est si sensible qu'en observant son mouvement ainsi que celui du manomètre, le mécanicien peut se rendre compte de toute la marche de la perforation dans la galerie et régler sa turbine d'après cela. Le cylindre a 85^{mm} de diamètre, ce qui, sous une pression d'eau de 100 atmosphères, correspond à une charge de 5675^{kg}. La soupape a un diamètre de 40^{mm} et doit être pressée sur son siège par une pression de 1256^{kg} pour équilibrer la pression de 100 atmosphères. Si cette pression, pour laquelle les contrepoids ont été calculés, venait à être dépassée et que le levier refusât son service, elle s'ouvrirait toute seule et fonctionnerait ainsi comme soupape de sûreté.

Il y a deux accumulateurs en fonctions.

Pour la conduite en pression on a employé exclusivement des tuyaux en fer étiré de 70^{mm} de diamètre avec filets à vis à droite et à gauche et à manchons ; l'épaisseur de ces tuyaux est de 6 1/2^{mm}. Ils sont rendus étanches par l'intercalation de bagues en cuivre dans lesquelles s'imprime le filetage des extrémités des tuyaux. La transmission de l'eau de ces tuyaux au moteur à colonne d'eau, à la colonne de tension de la machine perforatrice se fait au moyen de tuyaux à rotules et à garnitures métalliques.

Il y avait deux groupes de ces compresseurs mis en mouvement par une turbine du système décrit plus haut. Un troisième groupe était en montage.

Pour la ventilation on utilise des ventilateurs centrifuges de 2^m,50 de diamètre mis par groupes de deux par des turbines Girard de 45 chevaux, faisant 100 tours à la minute. Elles débiteront de l'air à une pression de 3^m. Celui-ci est aspiré dans quatre aspirations. Il y a deux groupes de ces ventilateurs, ils peuvent être accouplés ; ils ont également été installés par la maison Sulzer de Winterthour.

Il faut ajouter qu'à Saint-Antoine, comme à Langen, tous les moteurs hydrauliques installés, soit pour les ateliers, soit pour les compresseurs, soit pour les ventilateurs, soit pour les

ateliers de réparation, sont doublés de machines à vapeur de secours pour pouvoir marcher en cas d'accident aux conduites ou de disette d'eau. L'une de celles de Langen, entre autres, de 65 chevaux était en montage et provenait également de la maison Sulzer à Winterthour.

J. MEYER, ing.

(A suivre.)

CONSTRUCTION D'UN CHEMIN DE FER

AU DELA DE LA MER CASPIENNE

Dans les nouvelles de l'expédition russe contre les Turcomans, il a été fait mention souvent d'un chemin de fer nommé la ligne de la mer Caspienne, dont la construction a été entreprise pour faciliter les opérations du général Skobelew. Voici quelques renseignements que nous recevons de Krasnowodsk à ce sujet.

Vers la mi-septembre on a procédé à une inspection détaillée de la partie terminée qui compte 30 verstes. M. l'ingénieur Statkowski, chargé de cette mission, a constaté que les travaux ne laissaient rien à désirer malgré, la hâte apportée à l'exécution de la ligne et les difficultés que présentait le terrain, notamment à cause des collines de sable qui se trouvent assez souvent sur le parcours du tracé. On craignait beaucoup que les tranchées ne fussent fréquemment remplies par les sables et que les remblais ne pussent soutenir la charge du matériel. Ces craintes se sont fort heureusement trouvées vaines, et grâce aux précautions qu'on a prises, on peut considérer comme certaine la prochaine exploitation de ce chemin de fer.

Les locomotives et les wagons sont en bon état et leur entretien est excellent. Les pentes ne dépassent pas 0,010 et le minimum des rayons est de 300 sagènes soit 640 mètres. Par exception, entre la 107^e et la 118^e verste la pente atteint 0,015, mais l'ingénieur en chef croit pouvoir prochainement modifier le tracé sur ce point. Les transports de matériaux ont été faits en majeure partie par le moyen de petits chemins de fer transportables (porteur Decauville). Le lieutenant général Anienkow les emploie autant que possible pour diminuer les transports à dos de chameau qui sont fort onéreux. Ces petits chemins de fer sont fort utiles, on s'en sert aussi pour le service de l'intendance militaire. Actuellement ils servent aussi à approvisionner d'eau potable les stations militaires, et notamment celles de Aidin et de Kasandjik.

On a construit un dépôt pour quatre machines et un petit atelier de réparation du matériel au fort Michailow. Ces ateliers devront être agrandis dans la suite et servir pour les réparations de tout le matériel du chemin de fer. Le prince Kilkow, chef du service du mouvement, a été autorisé à acheter à Moscou les tours et autres machines nécessaires.

Le personnel sera logé dans des baraqués en bois ; on en a fait venir une douzaine d'Astrakan et M. l'ingénieur Statkowski les a reconnues bonnes, après une minutieuse inspection de tous leurs détails.

Les terrassements sont faits par des ouvriers du pays et des Persans ; il y en a eu jusqu'à 1800 sur les chantiers ; ce nombre est maintenant retombé à 900. On a en outre employé les hommes d'un bataillon de chemins de fer. L'état sanitaire est excellent ; malgré un travail très pénible et le climat des steppes, il n'y a que 17 malades au fort Michailow. Ces remarquables