Zeitschrift: Bulletin de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes
Band: 14 (1888)
Heft: 6

Artikel: Le percement des grands tunnels sous les alpes: note historique
Autor: Meyer, J.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-14456

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: 15.07.2025

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

14e ANNÉE SEPTEMBRE 1888 N° 6

BULLETIN

DE LA SOCIÉTÉ VAUDOISE

DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

PARAISSANT 8 FOIS PAR AN

Sommaire : Le percement des grands tunnels sous les Alpes. Note historique par J. Meyer, ingénieur. (Suite et fin.) — Chemins de fer funiculaires, par Henri Ladame, ingénieur. (Suite.) — Les pavages en bois. (*Réd.*)

LE PERCEMENT DES GRANDS TUNNELS

SOUS LES ALPES

Note historique par J. Meyer, ingénieur.

(*Suite et fin.*)

Nous faisons suivre ce tableau d'un tableau général de l'avancement des différentes parties du profil du tunnel pour les deux côtés. (Voir tableau page suivante).

L'avancement mensuel de la galerie de direction a atteint son maximum du côté nord en octobre 1878 avec 146 m. (4^m71 par jour) et du côté sud en août 1878 avec 171 m. (5^m516 par jour).

Pour les deux chantiers réunis le progrès mensuel le plus considérable a été atteint en août 1878 avec 278^m9 (8^m97 par jour).

La rencontre des deux galeries de direction a eu lieu le 29 février 1879 à 11 heures 10 du matin, ce qui fit l'objet d'une fête le 2 mars, organisée par l'entreprise Favre et à l'occasion de laquelle on distribua aux ouvriers des médailles commémoratives.

Les travaux d'excavation, si l'on en excepte le réglage définitif de la plate-forme, ont été terminés le 15 octobre 1881 par l'ouverture du dernier tronçon de strosse. Le 30 novembre 1881 le dernier anneau de voûte était clavé : Le 25 octobre on commença la pose de la voie, le 19 décembre elle était soudée, le 24 décembre la locomotive traversa pour la première fois le tunnel, le 29 décembre eut lieu la collaudation ou reconnaissance provisoire du tunnel, et le 1er janvier l'exploitation fut ouverte dans le tunnel entre Gœschenen et Airolo. On sait que l'ouverture de l'exploitation de la ligne entière n'eut lieu que le 1er juin 1882.

L'exécution rencontra de grandes difficultés par des raisons particulières. Tout d'abord la quantité tout à fait extraordinaire d'eau d'infiltration qu'on rencontra du côté sud (Airolo) et qui, pendant longtemps, se maintint de 200 à 275 litres par seconde, tandis qu'au mont Cenis elle n'avait pas dépassé un litre. Les tableaux d'avancement montrent que ces difficultés se firent surtout sentir dans les années 1874 et 1875. En outre, de ce côté, si l'on avait à souffrir des inondations dans le tunnel, on manquait d'eau motrice en hiver à l'extérieur, la perforation se ralentissait, la ventilation était insuffisante.

Du côté de Gœschenen, après avoir traversé la couche de gneiss-granit compacte, on rencontra, sous la vallée d'Urseren (Andermatt), de 2766 m. de la tête nord à 2844 m. soit sur une longueur de 78 m., des roches calcaires en partie mélangées d'argile, gonflant à l'humidité de l'air et qu'il fallut, dès l'origine, fortement boiser. Les premiers revêtements en maçonnerie ne résistèrent pas, il fallut les refaire une fois et une partie même deux fois. On dût en fin de compte faire un revêtement en pierres de taille et mortier de ciment, de 1^m50 d'épaisseur à la clef de la voûte, 2^m50 à 2^m60 à la naissance des pieds-droits, 3^m60 à leur base et un radier de 70 cm. Ces difficultés commencèrent en 1878 et durèrent jnsqu'à la fin de 1881, elles contribuèrent beaucoup au retard dans l'achèvement du tunnel, aux difficultés de la ventilation et à l'augmentation de la température intérieure. Les frais de reconstruction de cette partie, qui ont fait l'objet de contestation, ont été évalués par un tribunal arbitral à 1 126 039 fr. 01, soit environ 15 000 fr. par mètre courant, dont 1 021 857 fr. 55 ont été remboursés à l'entreprise. Une autre mauvaise partie fut rencontrée au milieu du tunnel, mais elle donna lieu à moins de difficulté que celle-ci.

Enfin la grande chaleur rencontrée dans l'intérieur, où la température atteignit 30,8° (mont Cenis, 29,6°), gêna beaucoup les travaux en paralysant l'activité des ouvriers dont grand nombre furent malades, et en causant aussi une grande mortalité des chevaux. Ces difficultés de la chaleur furent surtout agravées par l'excessive humidité du côté sud et par l'insuffisance de la ventilation. Citons encore une grève et une révolte des ouvriers en juillet 1875 et l'incendie d'Airolo en septembre 1877. La tardiveté des ordres donnés par la Compagnie pour les revêtements en maçonnerie fut une cause de retard considérable, je rappelle qu'à l'origine on ne prévoyait le revêtement que du quart de la longueur du tunnel, et qn'on l'a revêtu en entier, la Compagnie donnait encore des ordres de revêtement alors que le délai pour l'achèvement du tunnel était écoulé ; il suffit de voir sur le tableau d'avancement la quantité de maçonneries exécutées en 1881. Le tribunal arbitral qui a réglé définitivement les comptes de cette grande entreprise a repoussé la prétention de la Compagnie d'appliquer les amendes de retard pour lesquelles celle-ci réclamait 2 745 000 francs.

Une autre difficulté contre laquelle eût à lutter l'entreprise du tunnel, ce fut la crise financière que traversa la Compagnie à partir de 1876 alors qu'il fut constaté que le coût des lignes

Progrès annuels des travaux et nombre d'ouvriers occupés au graud tunnel du Gothard.

DÉSIGNATION DES TRAVAUX		ANNÉES									
		1872	1873	1874	1875	1876	1877	1878	1879	1880	1881
		Mètres	Mètres	Mètres	Mètres	Mètres	Mètres	Mètres	Mètres	Mètres	Mètres
Galerie de direction	nord	18.9	581.3	1037.1	1173.5	1005.7	1230.5	1309	1177	211.7	—
	sud	101.7	494.3	747.4	1255.6	1020.6	994	1229.5	1158.5	165.7	—
	Total	120.6	1075.6	1784.5	2429.1	2026.3	2224.5	2538.9	2335.5	377.4	—
Elargissement en calotte	nord	—	265.4	395.2	820.2	1165.4	1694.4	1353.8	1162.6	817.1	40
	sud	39	221	396	496	1309	1639	978	1035.2	1054.5	—
	Total	39	486.4	791.2	1316.2	2474.4	3333.4	2331.8	2197.8	1902.2	40
Cunette du strosse	nord	—	101.2	498.5	779.2	773.1	861.3	1202.9	1113.4	1624.4	790.7
	sud	—	156	56	629	835	1233	1445	975.5	1159.6	678.6
	Total	—	257.2	554.5	1408.2	1608.1	2094.3	2647.9	2088.9	2784	1469.3
Strosse	nord	—	7	134.5	552.3	971.7	705.8	1234.2	1141.1	1232.2	1774.9
	sud	—	156	79	295	590	1225	1206	1130.5	1173.8	1312.4
	Total	—	163	213.5	847.3	1561.7	1930.8	2540.2	2271.6	2297	3087.3
Maçonnerie de la voûte	nord	—	—	88	644.8	636.2	1396.6	1945	773.4	1493	767.7
	sud	13	132	184.8	500.2	720	1649.7	1351.6	678	1775.4	163
	Total	13	132	272.8	1145	1356.2	3046.3	3296.6	1451.4	3268.4	930.7
Maçonnerie des pieds-droits	nord	—	—	95.5	368.5	917.2	775.3	1209.5	1042.5	551.8	2784.4
	sud	—	121.7	—	244.2	513.3	1366.8	1199.6	1122.1	707.3	1840.7
	Total	—	121.7	95.5	662.7	1432.5	2142.1	2409.1	2164.6	1259.1	4625.1
Nombre d'ouvriers par jour en moyenne	nord	82	388	857	1434	1506	1476	1274	1351	1547	1385
	sud	99	452	883	1409	1611	1829	1666	1344	1477	1195
	Total	181	840	1740	2843	3117	3305	2940	2695	3024	2580
Par jour au maximum	nord	125	732	1130	1921	1921	1918	1746	1739	2161	2083
	sud	203	751	1362	2167	2160	2359	2145	1673	1890	2097

dépasserait de plus de 100 millions les prévisions primitives et que les capitaux acquis ne suffiraient plus à couvrir la dépense. Cette crise amena à convoquer de nouveau la conférence internationale et il y fut décidé de réduire le programme des constructions en supprimant quelques lignes et en construisant en partie à simple voie et en augmentant les subventions. Elle dura jusqu'en 1879. Cela entrava beaucoup l'action de l'entreprise qui dût subir le contre-coup du discrédit de la Compagnie, et qui ne put faire ses emprunts que difficilement et à un taux très onéreux.

Mais l'événement le plus pénible qui survint au cours de la construction, fut la mort de l'entrepreneur M. Louis Favre, mort au champ d'honneur le 19 juillet 1879; cette mort survint dans le tunnel pendant une visite qu'il y faisait avec M. Labourée, ingénieur du chemin de fer Paris-Lyon-Méditerannée. Ce deuil fut général, car tout le monde avait admiré le courage et la fermeté de ce vaillant champion qui avait à lutter contre des difficultés de toute nature qu'il avait toujours surmontées, mais qui avait été usé par cette lutte.

L'entreprise L. Favre et Cie eut pour principaux collaborateurs M. le professeur Daniel Colladon, son ingénieur-conseil qui prit une large part à l'étude de toutes les installations, puis M. E. de Stockalper, chef de service pour le chantier nord (Gœschenen), et M. Maury, chef de service pour le chantier sud (Airolo). M. E. Bossi partagea, dans les dernières années, avec M. Louis Favre la direction générale et après sa mort il en prit la direction en collaboration avec MM. l'ingénieur E. de Stockalper et l'avocat L. Rambert; il fut le fondé de pouvoir de l'hoirie vis-à-vis de la Compagnie.

La Compagnie eût pour premier ingénieur en chef M. Robert Gerwig, qui fut remplacé en 1875 par M. W. Helwaag, ce dernier quitta en 1878 et l'intérim fut fait par son adjoint, M. Gehrlich. En 1879 M. Gustave Bridel fut désigné comme ingénieur en chef et resta jusqu'à l'achèvement. L'ingénieur en chef était spécialement secondé par M. J. Kauffmann, inspecteur des tunnels. Le poste d'ingénieur de section pour la tête nord fut successivement occupé par MM. Dolezalek et G. Zollinger, et celui de la tête sud fut occupé successivement par MM. Gruber et W. Bolley.

Pendant la construction du tunnel, 177 ouvriers (92 côté de Gœschenen et 85 côté d'Airolo) ont été tués ou ont reçu des blessures mortelles, 403 ont reçu des blessures non mortelles (253 côté de Gœschenen et 150 côté d'Airolo), ce qui fait un tout 580 victimes (345 côté de Gœschenen et 235 du côté d'Airolo).

Voici les dépenses de construction du grand tunnel :

	Francs	Francs	Par m. courant. Fr. C.
1. Remboursement de dépenses antérieures à la constitution de la Compagnie	162 200		
2. Administration centrale . . .	874 894		
3. Intérêts pendant la construction	2 581 400	3 618 494	
		3 618 494	241 42
4. Direction technique	2 519 822		
5. Expropriations	—		
6. Terrassements et ouvrages d'art	58 543 154		
7. Voie	1 150 311		
8. Bâtiments	181 635		
9. Installations mécaniques. . .	1 780		
10. Télégraphe	11 963		
11. Clôtures	7 893		
12. Matériel de construction et d'exploitation.	618 716		
13. Secours aux ouvriers	12 875	63 048 087	4 207 70
Total général		66 666 581	4 429 70

Les sommes ci-dessus comprennent le règlement définitif intervenu avec l'entreprise L. Favre et Cie ensuite du jugement arbitral.

Le rapport final sur la liquidation de l'entreprise L. Favre et Cie nous fait savoir que cette entreprise a bouclé par une perte de 5 814 214 fr. 46, qu'il faudrait ajouter aux sommes ci-dessus si l'on voulait déterminer à quel prix le tunnel est revenu à l'entreprise sans aucun bénéfice.

Tunnel de l'Arlberg.

J'ai déjà donné dans le Bulletin de 1881 (p. 41) et dans celui de 1882 (p. 1) une description de ce tunnel et de ses installations que je ne rappellerai pas et à laquelle je renvoie.

Je rappellerai sommairement qu'il a une longueur de 10 270 mètres, que l'altitude de la tête ouest (Langen) est de 1214m88, celle du point culminant est de 1310m20 et celle de la tête est (Saint-Antoine) est de 1302 m. De l'ouest à l'est il a une rampe de 15 ‰ sur 6355 m. suivi d'une pente de 2 ‰ sur 4100 m.

La perforation mécanique a été faite, du côté ouest, au moyen des perforatrices à rotation et à forte pression d'eau de M. Brandt, perforatrice employée déjà au tunnel du Pfaffensprung sur la ligne d'accès nord du Gothard et au tunnel du Sonnenstein (Salzkammergut, Tyrol). On trouvera la description et le dessin de cette perforatrice dans l'annexe du XXXIIe rapport trimestriel du Conseil fédéral sur la construction de la ligne du Gothard. Du côté ouest la perforation a été faite au moyen des perforatrices Ferroux, les mêmes qui ont été employées au Gothard et dirigées par M. Ferroux lui-même, on en trouvera également la description dans le rapport trimestriel du Gothard ci-dessus cité.

On trouvera aussi la description de ces perforateurs et des autres installations dans un article de M. Revaux dans les *Annales des mines* de septembre-octobre 1884 et dans la publication citée plus loin de M. Gustave Plate.

C'est M. Revaux qui évalue :

1° L'effet utile du perforateur Ferroux à 75 %.

2° L'effet utile des compresseurs pour une pression absolue de 7 atmosphères de 74 à 78 %, en moyenne 75 %.

3° L'effet utile du moteur (turbine) qui actionnait les compresseurs à 70 % ou en tenant compte des pertes de pression dans les conduites d'air comprimé, un rendement de 45 %. Et l'effet utile d'ensemble des installations à :

$$0{,}75 \times 0{,}75 \times 0{,}70 \times 0{,}45 = 0{,}177 \text{ ou } 17{,}7\ \%,$$

et la dépense de force par chaque perforateur, la force par chaque coup de piston étant de 4,09 chevaux, à

$$\frac{4{,}09}{0{,}177} = 23 \text{ chevaux.}$$

Soit par groupe de 6 perforateurs montés sur un affût et en marche simultanée 138 chevaux.

Le perforateur Brandt développe un effort de 14 chevaux par pistonnée.

L'effet utile du perforateur est de 0,70
Celui du compresseur d'eau » 0,80
» de la conduite d'eau » 0,80
» du moteur » 0,70

et celui de l'installation complète est donc de

$$0{,}70 \times 0{,}80 \times 0{,}80 \times 0{,}70 = 0{,}31$$

ou 31 %.

La force totale exigée par un perforateur est donc de

$$\frac{14}{0{,}31} = 45 \text{ chevaux}$$

et comme il y a deux machines en marche simultanée, la force motrice nécessaire à la perforation est donc de 90 chevaux.

Comme nous l'avons dit dans notre précédente note, la ventilation à l'Arlberg a été traitée complètement en dehors de la perforation et sans compter sur l'air échappé des perforatrices, de telle manière que, même du côté est où la perforation se faisait avec la perforatrice Ferroux, actionnée par l'air comprimé, on avait des compresseurs et des conduites spéciales pour amener l'air pur sur les chantiers. Des ventilateurs à force centrifuge aspiraient en outre l'air vicié.

Les roches rencontrées dans le tunnel de l'Arlberg ont été généralement moins dures que celles rencontrées dans celui du Gothard. Du côté ouest on a traversé généralement des schistes gris lustrés, feuilletés et argileux renfermant des mâcles et quelques modèles de quartz, et avec intercalations de graphite en lits peu épais disséminé entre les feuillets. Sur presque toute cette partie qui embrassait près de la moitié de la longueur du tunnel on a eu quelques éboulements ; on a dû faire un boisage immédiat et adapter des épaisseurs considérables de revêtements en maçonnerie, ce qui explique que l'avancement a été moins considérable que de l'autre côté où l'on a rencontré des gneiss et micaschistes assez compactes. Les infiltrations d'eau ont été assez peu considérables et n'ont jamais constitué une difficulté. Nous ne connaissons pas d'observations sur la chaleur intérieure constatée. Celle-ci n'a en tout cas pas été un obstacle. L'épaisseur de la masse étant d'environ 465 m., la température des roches n'a pas dû dépasser 21 à 22°.

Le mode d'attaque était fait, nous le rappellons, avec la galerie de direction à la base et une galerie de faîte percée à la main au moyen de cheminées partant de la galerie de base et distantes de 30 à 50 m. On arrivait ainsi rapidement au profil complet, aussi a-t-on toujours pu se conformer à la prescription du cahier des charges d'après laquelle il ne devait pas y avoir une longueur de plus de 600 m. entre le front de taille de la galerie de direction et le tunnel complètement achevé et revêtu. C'est sur cette longueur qu'étaient échelonnés tous les

chantiers, tandis qu'au Gothard elle était de plusieurs kilomètres.

Pour les transports on s'est servi de locomotives à vapeur de 10 tonnes pouvant remorquer 60 tonnes sur la rampe de 15 $^0/_{00}$ et 130 tonnes en sortant du tunnel, soit 48 wagons vides, et avec une disposition se rapprochant des machines sans feu de Lamm et Franck. En effet, on ne faisait pas de feu pendant la durée de leur séjour dans le tunnel. A cet effet, la vapeur d'échappement est dirigée dans un tuyau extérieur à la cheminée ; celle-ci et le cendrier sont hermétiquement fermés et la chaudière est munie d'un revêtement mauvais conducteur (masse Larey) qui la met à l'abri des déperditions de chaleur.

Du côté ouest où l'on a la pente de 15 $^0/_{00}$ on laissait descendre les wagons chargés par la gravité et on remontait les wagons vides ainsi que les wagons chargés de matériaux pour les maçonneries avec les locomotives.

Du côté est, la pente n'étant pas suffisante pour laisser sortir les wagons par la gravité, on remorquait les convois par des locomotives. Mais comme on dépassa le point culminant et qu'on avait à sortir les wagons par la pente de 15 $^0/_{00}$ prise en sens inverse, on eut recours à un artifice. En tête de la partie achevée du tunnel se trouve une voie de garage de 1000 m. de longueur qu'ils appelaient station du tunnel sur laquelle on remisait une chaîne de même longueur. Cette chaîne est constituée par une série de poutres en bois de 10 m. de longueur chacune fixées sur des wagonnets et reliées entre elles comme les wagonnets ordinaires de terrassements. En entrant dans le tunnel la locomotive vient prendre en haut la chaîne et la pousse devant elle, celle-ci s'engage par son extrémité dans la voie des chantiers ou de la galerie de direction et on lui rattache les wagons isolés au fur et à mesure de son avancement jusqu'au front de taille, où le chargement est complété. Pour ramener ce convoi et la chaîne en arrière, trois locomotives s'attellent à cette dernière et la tirent sur la voie de garage, quand le train est arrivé en tête de la partie achevée et dégagé de la rampe de 15 $^0/_{00}$, la traction est reprise dans les conditions normales.

Comme nous l'avons dit dans notre précédente notice, la direction impériale et royale des chemins de fer de l'Etat fit commencer la perforation à la main le 25 juin 1880 du côté ouest (Langen) et le 24 juin du côté est (Saint-Antoine) et en même temps elle commença les installations pour la perforation mécanique. Celle-ci commença le 13 novembre 1880 du côté ouest, de sorte que la durée du percement à la main y fut de 141 jours avec un avancement de 227^{m}40 ou 1^{m}61 par jour, et le 22 novembre du côté est avec une durée de 151 jours et un avancement total de 219^{m}70 ou une moyenne par jour de 1^{m}45. Les travaux furent mis en adjudication publique et l'adjudication fut donnée le 12 décembre 1880 à MM. Lapp frères pour le côté ouest et Cecconi pour le côté est. Comme nous l'avons dit, les installations faites par l'Etat furent mises à la disposition de ces entrepreneurs et un crédit leur était ouvert pour les compléter, d'entente avec l'administration, étant entendu que si les crédits ne suffisaient pas, le surplus des dépenses serait à la charge des entrepreneurs. Nous avons donné dans notre précédente notice l'indication de ces crédits, nous les rappelons ici. Les installations faites avant l'adjudication ont coûté :

	Florins[1]	Francs
Côté Est (Saint-Antoine)	331 000	777 500
Côté Ouest (Langen).	320 000	800 000
Total,	631 000	1 577 500

et les installations complémentaires étaient devisées à :

	Florins	Francs
Côté Ouest (Langen).	560 000	1 400 000
Côté Est (Saint-Antoine)	480 000	1 200 000
Ensemble,	1 040 000	2 600 000
Soit en tout,	1 671 000	4 177 500

Or ces crédits n'ont pas été épuisés puisqu'il a été dépensé en tout 1 693 850 florins ou 3 567 085 fr. Rappelons que ces installations ne comprenaient pas le matériel de voie, ni le matériel roulant, ni l'outillage dans lequel rentraient les perforatrices et affûts qui étaient à la charge de l'entreprise.

Nous avons donné plus haut la date du commencement de la perforation à la main et de la perforation mécanique. La rencontre des galeries eut lieu le 13 novembre 1883 soit 3 ans après le commencement de la perforation mécanique et l'achèvement complet du tunnel en mai 1884. Ce percement fut inauguré le 19 novembre en présence de S. M. l'empereur d'Autriche. Le tunnel fut complètement achevé à la fin de mai 1884 et la ligne fut ouverte la même année à l'exploitation. Voir le tableau des avancements annuels de la galerie de direction, côté est (Saint-Antoine) page suivante.

Voici quelques renseignements statistiques supplémentaires sur la marche des travaux. (Voir tableau N° 1.)

Voici ces mêmes résultats rapportés à ce que nous appellerons la période normale depuis le 1er janvier 1883 jusqu'à la rencontre des galeries, le 13 novembre 1883, c'est-à-dire alors que les roches étaient des deux côtés à peu près de même nature. (Voir tableau N° 2.)

On voit que le rendement a été à peu près le même pour les deux systèmes de perforation : le Brandt consomme un peu moins de dynamite et use moins de forêts, en exigeant aussi une force motrice un peu moindre et moins de frais d'installation. Ces derniers renseignements sont puisés dans les *Technische Vorträge über den Arlbergtunnel*, de M. Gustave Plate, inspecteur à la direction impériale et royale des chemins de fer de l'Etat. Vienne, librairie Spielhagen et Schürich.

Dans une autre publication de M. L. Huss, inspecteur dans la même administration, et insérée dans le *Journal des ingénieurs et architectes autrichiens*, IIIe cahier de 1884, nous trouvons le seul renseignement qui a été publié sur le coût du tunnel de l'Arlberg y compris le ballastage, mais non compris les frais généraux d'administration et de surveillance. Nous savons, de source officielle, que ce renseignement est exact.

	Florins	Francs	Total, Fr.
Il a été par mètre courant de. .	1 893 —	3 975 —	40 833 300
Les installations mécaniques ont coûté par mètre courant. . .	165 —	346 50	3 567 085
Les deux galeries d'avancement et les primes d'avancement à l'entrepreneur ont coûté . . .	365 —	766 50	—
Or, comme les galeries ont été payées, d'après le marché, à	242 —	509 25	—
Il reste donc pour les primes d'avancement	122 50	257 25	2 649 425

[1] Le florin à 2 fr. 10.

Coté Est (Saint-Antoine).

ANNÉES	AVANCEMENT TOTAL DE LA GALERIE A LA FIN DE L'ANNÉE	AVANCEMENT DE LA GALERIE PENDANT L'ANNÉE	AVANCEMENT MOYEN PAR JOURNÉE DE 24 HEURES
	Mètres	Mètres	Mètres
1880 [a]	86.80	86.80	2.800
1881 [b]	1857.80	1771	4.852
1882	3772	1914.20	5.217
1883 [c]	5498	1726	5.425
Moyenne générale [d] . . .		1756 60	4.442
Moyenne pour la perforation mécanique [e] . .		1906.99	5.224

[a] 25 juin. Commencement de la perforation à la main.
[b] 13 novembre. Commencement de la perforation mécanique.
[c] Rencontre des galeries le 13 novembre.
[d] 3 ans et 143 jours ou 1238 jours.
[e] 3 ans ou 1095 jours.

Côté Ouest (Langen).

ANNÉES	AVANCEMENT TOTAL DE LA GALERIE A LA FIN DE L'ANNÉE	AVANCEMENT DE LA GALERIE PENDANT L'ANNÉE	AVANCEMENT MOYEN PAR JOURNÉE DE 24 HEURES
	Mètres	Mètres	Mètres
1880	114.50	114 50	2.420
1881	1362.40	1247.90	3.419
1882	2943.30	1580.40	4.329
1883 [a]	4762.80	1819.50	5.690
Moyenne générale [b] . . .		1400.82	3.848
Moyenne pour la perforation mécanique [c] . . .		1524.53	4.187

[a] Rencontre des galeries le 13 novembre.
[b] 3 ans et 147 jours ou 1237 jours.
[c] 2 ans et 356 jours ou 1086 jours.

Renseignements statistiques sur la marche générale de la perforation à l'Arlberg. — TABLEAU N° 1.

		COTÉ EST — PERFORATION A PERCUSSION (FERROUX)	COTÉ OUEST — PERFORATION A ROTATION (BRANDT)	ENSEMBLE
Période de perforation à la main.	jours	145	141	286
Période de perforation à la machine	»	1 093	1 096	2 189
Interruptions et entraves à la perforation mécanique :				
a) Jours de fête et contrôle de l'axe	»	24	22.3	46.7
b) Dérangement aux machines	»	7.2	10.2	17.4
c) Mauvaise nature des terrains traversés (remplacé par la perforation à la main).	»	17.7	173.6	191.3
Temps exclusivement employé à la perforation mécanique, déduction faite des interruptions	»	1 044.1	889.9	1 934
Profondeur de la galerie depuis l'origine	mètres	5 498	4 762	10 260
Profondeur de la galerie perforée mécaniquement	»	5 290	4 406	9 696
Avancement moyen par jour pour le percement (percement à la main compris) .	»	4.44	3.85	8.29
Avancement moyen par jour pour le percement mécanique seulement	»	5.03	4.34	9.37
Avancement moyen par jour, en déduisant toutes les interruptions et en rapportant à ce qui a réellement été percé mécaniquement	»	5 07	4.95	10.02
Nombre total des attaques	nombre	3 588	3 177	6 765
Durée moyenne d'une attaque	heures	7.20	6.43′	—
Avancement moyen par attaque.	mètres	1.48	1.39	—
Somme de tous les trous de mine faits mécaniquement.	nombre	100 800	35 800	136 600
Nombre moyen de trous par attaque	»	28	11	—
Profondeur cumulée de tous les trous de mine de la galerie.	mètres	168 500	48 500	217 000
Nombre total de forets consommés.	nombre	331 000	98 000	429 000
Nombre total de forets consommés par mètre courant de galerie	»	63	22	—
Profondeur moyenne des trous faits par un foret	mètres	0.51	0.49	—
Consommation totale de dynamite pour la galerie de direction.	kg.	102 000	72 000	174 000
Consommation de dynamite par mètre courant de galerie	»	19.3	16.3	—

Il résulte de la comparaison des conditions sous lesquelles se sont effectuées ces trois grands percements, que des progrès très notables ont été réalisés. L'on peut donc fermement espérer qu'on ne s'arrêtera pas là et que de nouveaux et notables progrès seront réalisés dans le nouveau percement qui est en perspective, celui du Simplon, grâce aux perfectionnements réalisés dans la science, et parmi lesquels nous mentionnerons en première ligne ceux des applications de l'électricité à la production de la lumière et au transport de la force.

Nous résumons dans un tableau ci-après les principales données relatives à ces différents tunnels. (Voir tableau N° 3.)

Juin 1888.

Renseignements relatifs à la période normale de la perforation à l'Arlberg. — Tableau N° 2.

		COTÉ EST PERFORATION A PERCUSSION (FERROUX)	COTÉ OUEST PERFORATION A ROTATION (BRANDT)
Durée de la période	jours	317	317
Interruptions et perturbations dans la perforation :			
a) Fêtes et contrôle du tracé de l'axe	»	6.1	4.2
b) Dérangements dans les machines	»	0.5	1.5
c) Mauvaise nature de la roche traversée	»	6.2	3 5
Temps exclusivement employé à la perforation, interruptions déduites	»	304.2	307.8
Profondeur de la galerie de base percée pendant ce temps	mètres	1 723.5	1721.1
Avancement moyen par jour	»	5.43	5.42
Avancement moyen par jour, déduction faite des interruptions	»	5.66	5.60
Nombre d'attaques	nombre	1 079	1181
Durée moyenne d'une attaque	heures	6.45′	6.15′
Avancement moyen par attaque	mètres	1.60	1.46
Nombre total de trous de mine	nombre	35 130	16 400
Nombre moyen de trous de mine par attaque	»	33	14
Profondeur totale cumulée des trous de mine	mètres	62 150	23 630
Consommation totale de forêts	nombre	109 000	57 000
Consommation moyenne de forêts par attaque	»	63	33
Profondeur moyenne d'un trou de mine	mètres	0.60	0.41
Consommation totale de dynamite pour la galerie	kg.	33 500	32 100
Consommation moyenne de dynamite par mètre courant de galerie	»	19.4	18.6

Tableau comparatif résumé des principales données relatives aux grands percements des Alpes. — Tableau N° 3.

		MONT-CENIS	GOTHARD	ARLBERG
1. Longueur totale de la galerie principale	mètres	12 220	14 984	10 260
1. Longueur totale avec les galeries de prolongement	»	12 849	—	—
2. Altitude du point culminant dans le tunnel	»	1 338	1 154	1 310
3. Plus grande altitude du point de surface	»	2 949	2 861	1 775
4. Plus grande épaisseur superposée	»	1 610.75	1 707	465
5. Maximum de température de la roche à l'intérieur	degrés	29.6	30.8	21
6. Date du commencement des travaux		Sud. 31 août 57 Nord. 16 nov. 57	Sud. 13 sept. 72 Nord. 24 oct. 72	Est. 25 juin 1880 Ouest. 24 juin 80
7. Date de l'achèvement		15 sept. 1871	31 déc. 1881	31 mai 1884
8. Durée totale de la construction		14 ans, 38 jours	9 ans, 109 jours	4 ans, 38 jours
9. Longueur totale percée à la main	mètres	1 029.60	307.90	564
10. Durée totale de la perforation à la main pour les deux côtés	jours	3 124	455	286
11. Avancement moyen par jour et par attaque de la perforation à la main	mètres	0.329	0.677	0.508
12. Longueur totale forée mécaniquement des deux côtés	»	10 190.40	14 676	9 696
13. Durée de la perforation mécanique pour les deux côtés réunis	jours	6 506	4 894	2 189
14. Avancement moyen par an et par attaque de la perforation mécanique d'un côté	mètres	571.83	1 094.33	1 616
15. Avancement moyen par jour et par attaque de la perforation mécanique d'un côté	»	1.566	2.996	4.785
16. Date de la rencontre des galeries		25 déc. 1870	29 février 1880	13 nov. 1883
17. Avancement moyen par attaque du percement tant à la main que mécaniquement	par année, mètres	462.92	990.84	1 335.65
	par jour »	1.297	2.737	4.145
18. Avancement moyen par attaque pendant la dernière année, pour un côté	par année »	813	1 100.7	1 970
	par jour »	2.425	3.289	5.425
19. Avancement maximum d'un côté	par mois »	79	172	193
20. Avancement maximum d'un côté par jour	»	2.90	6.90	7.98
21. Coût total, y compris les galeries de prolongement, non compris les frais généraux ni la voie (diviseur Cenis : 12 849 mètres)		75 500 000	58 543 154	Le florin à 2 fr. 10 40 833 300
22. Coût par mètre courant		5 875	3 940 41	3 975
23. Coût des installations au total		3 500 000	4 355 547	3 567 085
24. Coût des installations par mètre courant		272 50	290 68	346 50