

La ventilation et la réfrigération du tunnel du Simplon

Autor(en): **Mermier, E.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **33 (1907)**

Heft 12

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-26237>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Bulletin technique de la Suisse romande

ORGANE EN LANGUE FRANÇAISE DE LA SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES. — Paraissant deux fois par mois.

Rédacteur en chef: P. MANUEL, ingénieur, professeur à l'École d'Ingénieurs de l'Université de Lausanne.

Secrétaire de la Rédaction: Dr H. DEMIERRE, ingénieur.

SOMMAIRE: *La ventilation et la réfrigération du tunnel du Simplon* (suite et fin), par M. E. Mermier, ingénieur. — *La Gare de Lausanne* (suite et fin), par M. C. Jambé, ingénieur. — *Esthétique des Villes*: Lettres de MM. Camoletti et Reverdin. — **Divers**: Trafic du Simplon. — *Sociétés*: Société vaudoise des ingénieurs et architectes. — Tunnel du Ricken. — Comparaison entre les usines génératrices hydro-électriques et les usines à vapeur. — Association amicale des anciens élèves de l'École d'ingénieurs de l'Université de Lausanne: Offres d'emploi.

La ventilation et la réfrigération du tunnel du Simplon.

Par E. MERMIER, ingénieur des C. F. F.,
ancien ingénieur au tunnel du Simplon.

(Suite et fin)¹.

Phases de la ventilation définitive. — Comme nous le savons, le 18 mars 1901 a été mise en service la ventilation définitive à Brigue. Elle a fonctionné telle qu'elle est représentée fig. 37, jusqu'au 28 mai 1904, date à laquelle on a dû condamner les galeries d'avancement et la transversale n° 52, au moyen de portes de sûreté, pour éviter l'inondation générale des chantiers par de fortes sources rencontrées au front d'attaque I. De ce fait la ventilation secondaire a été annulée.

Une transversale supplémentaire n° 52 bis, perpendiculaire à l'axe du tunnel, a été percée au p.-k. 10104, pour permettre de ventiler les galeries I et II entre la transversale 51 et les portes de sûreté.

Cette ventilation (fig. 38) a duré jusqu'au 22 avril 1905, date à laquelle on a commencé à refouler l'air dans le tunnel I.

Elle a subi une variante après la rencontre des deux galeries d'avancement, soit du 9 mars au 22 avril, période pendant laquelle on a inversé la ventilation (l'air entre par le tunnel I et s'échappe par le ventilateur, toujours relié à la galerie II par le caisson provisoire). Cette inversion a eu

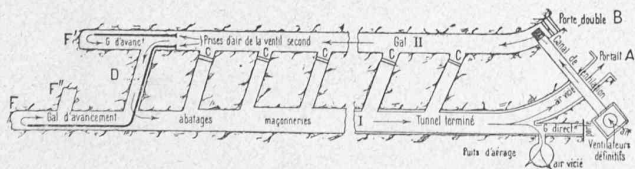


Fig. 37. — Première phase de la ventilation définitive du côté de Brigue.

pour but de permettre la construction d'un barrage avec porte provisoire en bois à l'entrée du tunnel I et le refoulement ultérieur de l'air dans ce tunnel.

¹ Voir N° du 25 mai 1907, page 109.

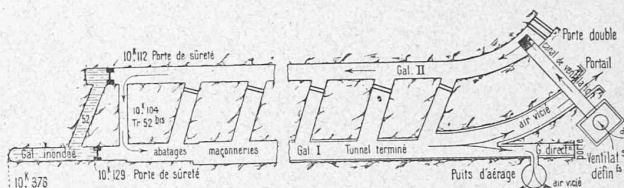


Fig. 38. — Deuxième phase de la ventilation définitive du côté de Brigue.

On supprima ensuite le caisson provisoire et le refoulement se fit régulièrement dans le tunnel I; les portes de sûreté furent ouvertes et remplacées par des portes de service à claire-voie et à panneaux mobiles permettant de régler le passage de l'air. La circulation se fit alors comme le

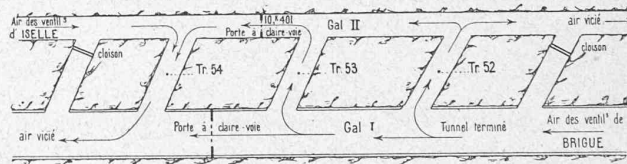


Fig. 39. — Troisième phase de la ventilation définitive du côté de Brigue.

montre la fig. 39, de manière à ventiler toutes les parties des galeries où restaient encore des travaux à exécuter.

Plus tard, les portes de service furent enlevées, le barrage provisoire en bois à l'entrée du tunnel I fut remplacé par un rideau mobile en toile, qu'on lève seulement au passage des trains, et le courant définitif passa enfin de Brigue à Iselle, tous obstacles enlevés, à une vitesse supérieure à 3 m. à la seconde, capable de renouveler intégralement l'air du tunnel en moins de deux heures.

Réfrigération auxiliaire par l'eau froide, côté Brigue.

En novembre 1901, alors que le front d'attaque était arrivé, du côté de Brigue, au sixième kilomètre, la température du rocher s'élevait à 38° C. et s'accroissait dans une proportion anormale, dépassant sensiblement celle qu'on pouvait attendre du relief de la montagne. Le volume d'air refoulé dans le tunnel atteignait 29 m³ à la seconde, et malgré cette forte ventilation le thermomètre marquait 28° et 30°

dans les différents chantiers en travail. La distance verticale séparant la galerie de la surface du sol ne mesurait cependant que 1100 m., soit la moitié seulement de l'épaisseur maxima qu'on devait atteindre au kilomètre 9.

En face d'une allure aussi peu rassurante de la courbe thermique, l'Entreprise prit des mesures pour installer et mettre en service sans aucun retard la réfrigération par l'eau froide, procédé qui avait été prévu et étudié dans tous ses détails pour le cas où la ventilation proprement dite deviendrait insuffisante.

Ce procédé consiste à refouler dans le tunnel une certaine quantité d'eau froide, dans une conduite spéciale isolée, puis à la diviser en très fines particules au moyen d'appareils pulvérisateurs placés près des chantiers en travail. Par son mélange intime avec l'air ou son contact avec le rocher, cette eau doit soutirer de la chaleur et servir ensuite de véhicule pour la conduire au dehors par le canal d'écoulement de la galerie parallèle.

Le 3 juin 1902, l'installation de la réfrigération du côté de Brigue était terminée et mise en service. Nous la décrivons sommairement.

Filtrage de l'eau. — L'eau employée au service de la réfrigération a été prise sur la conduite de l'eau motrice du Rhône par un branchement muni d'une vanne. Malgré son séjour dans un bassin de décantation à Mörel et son passage à travers plusieurs grilles, cette eau était trouble en été et il était nécessaire de la clarifier pour éviter l'usure rapide des pompes et des pulvérisateurs. Cette clarification s'est faite dans un filtre dit à *cellules*, établi dans un bâtiment spécial près de la tête du tunnel. Le filtrage s'opère au travers de panneaux en toile métallique, à 350 mailles par centimètre carré, dans des compartiments, au nombre de 60, disposés de manière à pouvoir être nettoyés successivement sans gêner le fonctionnement des compartiments voisins. La surface filtrante totale, de 120 m², peut débiter environ 80 litres par seconde, à condition que les toiles soient maintenues propres. L'accès de l'eau trouble est réglé au moyen d'une vanne à levier et contrepoids commandée par un flotteur, qui règle ainsi la hauteur d'admission et rend impossible l'inondation du filtre et par suite le mélange des eaux troubles et filtrées. Du filtre, l'eau se rend par une conduite en ciment dans le puisard des pompes.

Pompes. — Pour refouler l'eau dans le tunnel, on a installé dans la grande salle des machines un groupe de deux pompes centrifuges à haute pression du système Sulzer, de Winterthur, montées de manière à pouvoir marcher séparément, l'une servant de réserve à l'autre, ou accouplées en pression. Dans le premier cas, chaque pompe peut débiter 80 litres par seconde à la pression de 22,5 atmosphères pour un nombre de tours de 1100 à la minute. Dans le second cas, la même quantité d'eau est portée à la pression double, soit à 45 atmosphères.

Ces pompes sont accouplées directement à des turbines Rieter de 300 HP. chacune, consommant 670 litres d'eau par seconde à une pression de 4,5 atmosphères.

Conduites. — Pour conduire l'eau de la salle des pompes aux appareils de pulvérisation dans le tunnel, on a établi une conduite de 253 mm. de diamètre intérieur, en tôle d'acier de 7 mm. d'épaisseur. Supportée par des chevalets, elle traverse une partie de la cour des installations puis entre dans la galerie parallèle. Elle longe le côté Furka de cette dernière, reposant sur des appuis maçonnés ou des consoles en fer et contourne l'ouverture des transversales affectées au passage des trains de service. Les joints sont à brides et boulons, avec rondelles en caoutchouc. Des joints spéciaux de dilatation sont établis en nombre suffisant.

Afin d'éviter autant que possible l'élévation de la température de l'eau pendant le trajet, on a enveloppé cette conduite sur toute sa longueur d'une couche isolante de 66 millimètres d'épaisseur de charbon de bois broyé en menus fragments. Cette matière est maintenue et protégée par une enveloppe cylindrique en tôle galvanisée de 0^m,40 de diamètre. L'introduction du charbon entre la conduite et l'enveloppe s'est faite par des ouvertures rectangulaires, dont le couvercle fut soudé après le remplissage.

Les branchements secondaires pour la distribution de l'eau, entre la conduite principale et les appareils d'aspersion, sont en tuyaux de 100 mm. de diamètre. Ces derniers, d'une faible longueur et souvent déplacés, n'ont pas été munis d'enveloppe isolante.

Appareil de pulvérisation. — Pour diviser l'eau en fines gouttelettes et projeter celles-ci en tous sens dans la section libre des galeries, de manière à établir une très grande surface de contact entre elles et l'air qu'il s'agit de rafraîchir, sans dépenser une quantité d'eau supérieure à celle strictement nécessaire, on s'est servi de pulvérisateurs (*Düse*) Westfalia provenant de l'«*Armaturen Fabrik Westfalia*», de Gelsenkirchen (Westphalie). Comme le montre la figure 40, ce pulvérisateur consiste en une sorte de lance en cuivre, dans laquelle l'eau, dirigée par des ailettes en spirale, prend un mouvement rapide de rotation, avant d'effectuer sa sortie par un trou de 3 mm. de diamètre, avec une vitesse de 70 m. à la seconde environ. L'eau prend, en sortant, des directions diverses résultant des forces variables aux-

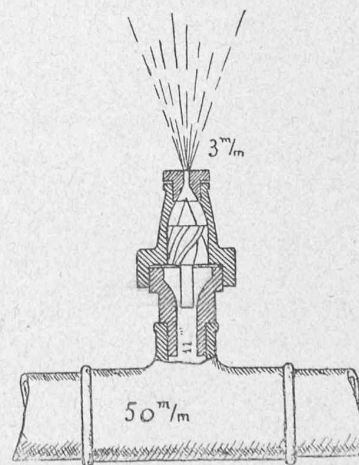


Fig. 40. — Petit pulvérisateur (*Düse*).
Mod. Westfalia de Gelsenkirchen (Westphalie).

quelles elle était soumise dans la lance, et il en résulte qu'à une distance de un mètre ou deux de l'orifice, les gouttelettes divergent considérablement en formant une véritable gerbe d'eau pulvérisée. Le courant d'air fait au surplus dévier ces gerbes et les allonge dans le sens de la ventilation.

M. Peter, ingénieur des Ateliers de l'Entreprise du tunnel, a construit à Brigue un autre pulvérisateur basé sur le principe du précédent, mais qui en diffère sensiblement par l'adjonction d'un deuxième espace hélicoïdal donnant une gerbe périphérique venant s'ajouter à la pulvérisation centrale. Cet appareil, représenté figure 41, est très puissant et aurait un meilleur rendement que la « Westfalia Düse » d'après des essais comparatifs qui ont été faits dans la mine Schamrok, à Gelsenkirchen.

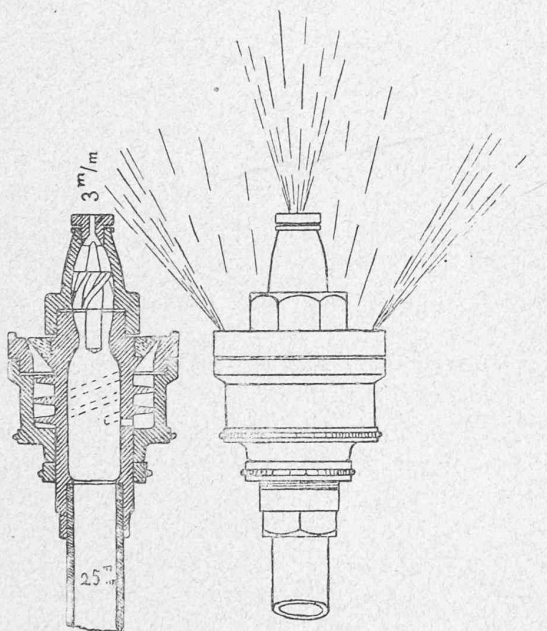


Fig. 41. — Grand pulvérisateur, mod. Peter, dit pulvérisateur universel.

Les deux systèmes ont été employés au Simplon, où ils ont eu d'ailleurs des applications différentes.

Le pulvérisateur Westfalia a été disposé par groupes de 21 jets, placés en quinconce, occupant une longueur de

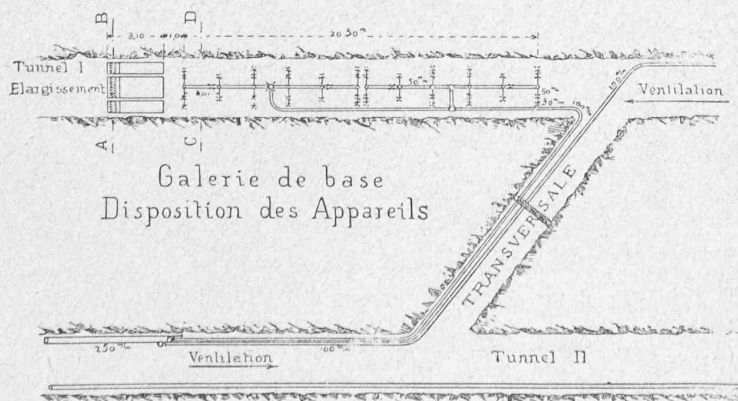


Fig. 42. — Groupe de 42 pulvérisateurs Westfalia placés en avant des chantiers d'élargissement du côté de Brigue.

10 m. de galerie; deux de ces groupes étaient souvent juxtaposés pour former un rideau d'eau pulvérisée de 20^m,50 de longueur. Les figures 42-43 montrent en plan et en coupe la disposition de cet assemblage, tel qu'il fonctionnait en avant des chantiers d'élargissement. Des tamis en forme de jalousies (fig. 44), placés à 4 m. en arrière des derniers jets, servent à abattre les gouttelettes d'eau entraînées par le courant.

La vue photographique (fig. 45), prise dans le tunnel par M. l'ingénieur Weinholz, montre un de ces appareils en fonctionnement.

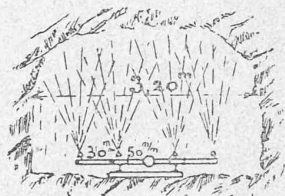


Fig. 43. — Coupe C, D de l'appareil à 42 pulvérisateurs.

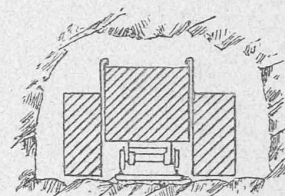


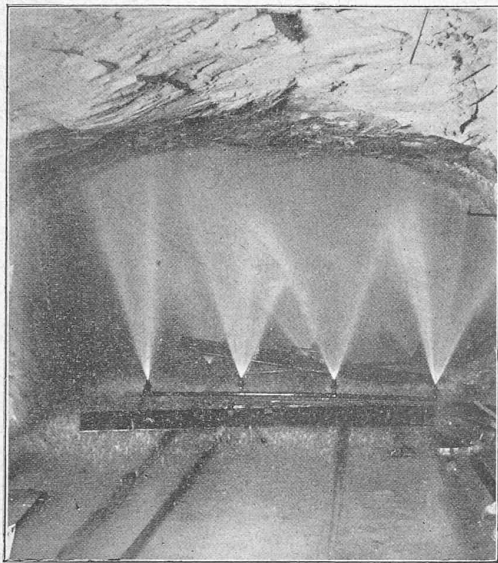
Fig. 44. — Coupe A, B montrant les jalousies pour l'assèchement de l'air.

Cette disposition présentait l'inconvénient d'interrompre la circulation dans le parcours compris entre les deux transversales voisines. Toutefois, la gêne qui en résultait n'était pas très grande, attendu que les wagonnets de l'avancement, les seuls qui allaient au delà de l'appareil, pouvaient passer par la galerie parallèle.

Un autre appareil de réfrigération (fig. 46-47) a aussi été employé. C'est un groupement, sur un truc de wagonnet, de douze injecteurs du genre de ceux de la ventilation secondaire, lançant un jet dans autant de tubes horizontaux de 0^m,30 de diamètre et 2^m,75 de longueur. Placé sur voie, à l'intersection d'une transversale et de la galerie I, de manière à ne pas gêner la circulation dans cette dernière galerie, l'appareil se trouve placé obliquement par rapport au courant. Par l'aspiration produite, l'air est appelé et passe dans les tubes où il subit un abaissement de température. L'eau n'est pas très bien utilisée, parce qu'elle ne prend aucun contact avec le rocher.

On a employé, concurremment avec ce dernier appareil, le groupe de pulvérisateurs de la fig. 45, légèrement modifié, de manière à pouvoir le placer sur un côté de la galerie (fig. 48) et éviter l'interruption de la circulation par wagons. Un gardien fermait la vanne au moment des passages et les tamis à jalousies étaient supprimés, ce qui n'avait pas d'inconvénient lorsqu'on pouvait disposer d'une cinquantaine de mètres entre l'appareil et le chantier le plus rapproché.

Les appareils à pulvérisation ne pouvaient trouver leur application dans la galerie d'avancement, à cause de l'active circulation qui y règne, aussi a-t-on cherché à éviter le réchauffement de l'air sur ce parcours, en aspergeant le rocher avec de l'eau froide. On a employé dans ce but des tuyaux en acier de 5 cm. de diamètre, longeant la paroi des



Photographie Weinholz.

Fig. 45. — Vue photographique montrant le fonctionnement d'un appareil à 42 pulvérisateurs dans la galerie de base du tunnel I, côté Brigue.

dites galeries et percés tous les 30 cm. de petits trous de 3 mm. de diamètre, dirigés contre le rocher. L'eau aspergeait en même temps le rocher et la conduite de la ventilation secondaire.

Le tableau suivant résume les conditions dans lesquelles a fonctionné le service de l'alimentation des appareils réfrigérants du côté de Brigue.

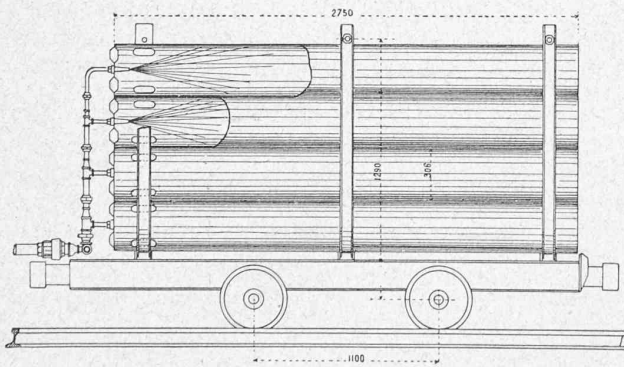


Fig. 46. — Appareil de réfrigération formé de 12 injecteurs montés sur un truc de wagonnet. Vue longitudinale.

La température initiale de l'eau était prise trois fois par jour, en sorte que les chiffres du tableau ci-dessus représentent assez bien la moyenne, tandis que la température de l'eau aux lieux d'emploi était relevée beaucoup plus rarement. Il était d'ailleurs possible de lire dans le tunnel une température trop élevée, notamment quand l'eau avait stationné plus ou moins longtemps dans les branchements par suite d'arrêt des appareils. En outre, la température de l'eau allant aux perforatrices était généralement plus élevée que celle de la réfrigération, à cause de la forte réduction de débit pendant le marinage et du petit calibre des conduites

de la haute pression (0^m,10 et 0^m,12), et il était parfois assez facile de confondre ces deux eaux dans des branchements de même diamètre. Aussi avons-nous relevé nous-même, à différentes reprises, la température de ces eaux et nous avons constaté en définitive que la température de l'eau de réfrigération pouvait varier aux appareils de 5° à 17° suivant la saison, la vitesse de l'eau dans les conduites, la longueur de ces dernières et la température de l'ambiance qui a subi, non seulement dans la partie centrale du tunnel, mais encore dans toute la galerie parallèle, des variations très importantes, surtout pendant la période du déversement des eaux chaudes provenant du versant italien.

Il résulte naturellement de ces faits que l'action réfrigérante des pulvérisateurs a subi des variations assez notables.

Quant à l'action protectrice de l'isolant, on peut l'apprécier d'après le cas suivant observé pendant l'hiver 1903-04: l'eau ayant aux pompes une température de 1°,5 a subi un échauffement de 4° après un parcours de 10 km., ayant duré deux heures approximativement, dans un milieu dont la température variait de 10 à 30°, avec une moyenne de 23°,5.

Répartition des appareils. — Pendant la marche normale des travaux, les appareils réfrigérants ont été distribués de la manière suivante dans les diverses galeries :

1° Un groupe de pulvérisateurs Westfalia, placé dans le caisson provisoire entre les ventilateurs et la galerie parallèle, fonctionnait pendant les grandes chaleurs pour éviter l'introduction d'air chaud dans le tunnel. En ce point l'eau de pulvérisation était toujours à une basse température et entretenait les parois du canal dans un état de frai-

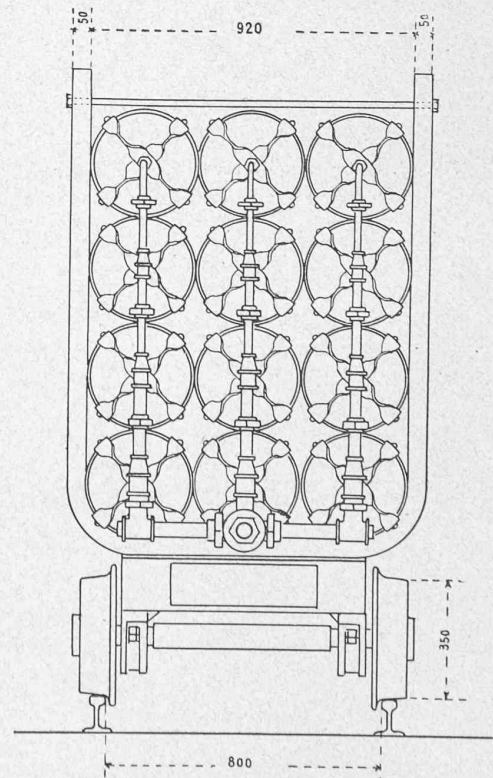


Fig. 47. — Appareil de réfrigération formé de 12 injecteurs montés sur un truc de wagonnet. Vue transversale.

Dates Trimestres	Nombre de tours des pompes centrifuges par minute	Pression de l'eau à l'origine de la conduite atmosph.	Volume d'eau refoulé dans le tunnel litres-sec.	Température de l'eau au filtre moyenne	Température de l'eau à la sortie des pulvérisateurs dans le tunnel moyenne	Longueur de la conduite isolée	Observations
1902 II	—	—	32	—	—	mètres 5500	La pression de l'eau aux appareils a varié de 12 à 15 atmosphères.
III	1150	22	50	8°,7	12°, —	7300	
IV	1066	21	55	1,9	5—9°	8000	
1903 I	1040	20,5	50	4,9	6—11°	8500	
II	1030	20	60	8,2	11—15°	9050	A partir du 3 ^e trimestre 1903 et jusqu'à la fin des travaux, les pompes centrifuges ont marché <i>en série</i> .
III	875	27,5	48	7,4	12—15°	9163	
IV	960	30	79	2,7	8—10°	9163	
1904 I	1003	34	65	5,9	10—12°	10400	
II	950	25,2	73	7,8	11—15°,5	10420	
III	964	25	75	7,7	15°	10420	
IV	955	28	69	2,2	6—10°	10420	
1905 I	934	28	63	3,9	11°,5	10420	
II	835	26	62	7,1	17°, —	10420	
III	890	24	24	8,5	14—17°	10420	
IV	—	—	13	0,5	14°	10420	

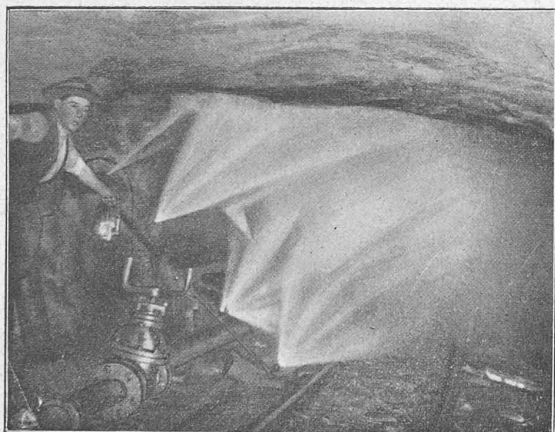


Fig. 48. — Appareil réfrigérant placé sur un côté de la galerie de base du tunnel I, pour ne pas intercepter la voie.

cheur satisfaisant, même pendant les heures les plus chaudes des journées d'été.

2° Un ou deux grands pulvérisateurs Peter fonctionnaient dans les parties chaudes de la galerie parallèle, entre le portail et la transversale conduisant à la gare du tunnel. Les gardiens des locaux de service et les agents du bureau de la gare bénéficiaient de l'abaissement de température produit par ces appareils, mais les hommes de service ayant à circuler dans la galerie parallèle devaient se munir de vêtements imperméables pour traverser les zones arrosées.

3° Des tubes percés, aspergeant la paroi du rocher, étaient établis dans la galerie parallèle, quelques mètres avant la dernière transversale ouverte. Cette disposition, qui ne gênait en rien la circulation, avait pour effet de rafraîchir l'air au moment de son admission dans les tubes de la ventilation secondaire et de son passage dans la galerie de base du tunnel I.

4° Des tubes d'aspersion du même modèle étaient disposés contre la paroi des galeries d'avancement I et II en nombre variable suivant la longueur de ces galeries et la température de la roche. On avait soin de les placer du même côté que la conduite de la ventilation secondaire, de sorte que les éclaboussures d'eau froide rejaillissaient sur cette dernière et la maintenaient à une température bien inférieure à celle du milieu.

5° Un groupe de pulvérisateurs westphaliens, composé de 21 ou 42 jets, était placé dans la galerie de base du tunnel I avant les chantiers de galerie de faite et d'abatages.

6° Un appareil à 12 injecteurs sur wagonnet, placé en avant des chantiers de maçonnerie à l'intersection d'une transversale et de la galerie de base du tunnel I, ou un groupe de pulvérisateurs westphaliens placé contre une paroi de la galerie de base.

7° Deux groupes de deux grands pulvérisateurs Peter, placés dans la partie du tunnel terminée affectée aux manœuvres des trains (point terminus des trains à vapeur venant de l'extérieur et point de départ des trains à air comprimé allant aux chantiers de maçonnerie, d'élargissement et d'avancement). Ces pulvérisateurs étaient montés sur une traverse en bois calée à la naissance de la voûte pour ne pas gêner la circulation des trains. Des auvents, en tôle ondulée, placés contre les piédroits, garantissaient de la pluie le passage des piétons. Un gardien était en outre spécialement chargé de fermer les appareils au moment du passage des trains.

Tous ces appareils réfrigérants étaient, cela va de soi, déplacés à mesure de l'avancement du travail ; leur répartition a subi aussi de nombreuses modifications, suivant les cas particuliers qui se sont présentés et dans le détail desquels nous ne pouvons entrer.

Effet utile de la réfrigération. — Les abaissements de température obtenus par la réfrigération ont été d'autant plus sensibles que la différence de température des éléments mis en présence a été plus grande. Nous donnons, à titre d'indication générale, les résultats de quelques expériences faites avec soin en vue de se rendre compte des quantités de chaleur enlevées dans la zone où la température du rocher a atteint ou dépassé 50°.

A. Réfrigération de la galerie d'avancement I.

Le 24 décembre 1902, le front d'attaque étant à 8430 m. du portail, la température du rocher étant de 53°,8, c'est-à-dire voisine de la plus élevée, notre expérience a porté sur les 54 derniers mètres de la galerie d'avancement I. Les appareils productifs de froid qui fonctionnaient sur cette longueur étaient les suivants :

1° Ventilation secondaire : Conduite de 0^m,40 de diamètre portant à son extrémité terminale une buse de 0^m,30 de diamètre lâchant l'air frais à 8 m. en arrière du front de taille.

2° Un tube d'aspersion ayant une longueur perforée de 10 m., aboutissant à 29 m. en arrière du front de taille, asperge avec de l'eau fraîche une paroi de la galerie et la conduite de ventilation secondaire.

3° La conduite d'eau de la haute pression actionnant les perforatrices.

Au profil du point kilométrique 8376 (8430-54), nous avons fait les constatations suivantes :

a/ Eléments introduits dans la section considérée :

Volume d'air amené en une seconde par la conduite de ventilation	0,94 m ³
Température de cet air, rafraîchie par le réservoir à glace placé quelques mètres en arrière de notre station d'observation	5°,8
Quantité d'eau débitée par seconde par le tube percé	4,2 l.
Température de cette eau	6°,—
Quantité d'eau débitée par seconde pour les perforatrices	5,4 l.
Température de cette eau	8°,5
Température moyenne de l'eau introduite :	
$\frac{4,2 \times 6 + 5,4 \times 8,5}{4,2 + 5,4} =$	7°,4

Humidité relative de l'air 98 0/0

b/ Eléments sortant de la section :

Volume d'air à la seconde	0,94 m ³
Température de cet air :	
Pendant la perforation	19°,—
» le marinage	20°,—
Volume d'eau à la seconde :	
Pendant la perforation	9,6 l.
» le marinage	4,2 l.
Température de cette eau :	
Pendant la perforation	12°,—
» le marinage	11°,5

La quantité de chaleur soustraite au milieu a donc été la suivante, le poids de 1 m³ d'air étant de 1,1 kg. et la chaleur spécifique de l'air (à pression constante) étant égale à 0,237 :

Pendant la perforation :

<i>a/</i> Chaleur emportée par l'air :	
$0,237 \times 0,94 \times 1,1 \times (19 - 5,8)$	3,24 calories
<i>b/</i> Chaleur emportée par l'eau :	
$9,6 (12 - 7,4)$	44,16 »
Total par seconde	47,40 calories
ce qui donne par heure et par mètre carré de paroi de rocher une <i>moyenne</i> de $\frac{47,4 \times 3600}{540}$	316 calories.

Pendant le marinage :

<i>a/</i> Chaleur emportée par l'air :	
$0,237 \times 0,94 \times 1,1 (20 - 5,8)$	3,48 calories
<i>b/</i> Chaleur emportée par l'eau :	
$4,2 (11,5 - 6)$	23,10 »
Total par seconde	26,58 calories
soit par heure et par mètre carré de rocher une <i>moyenne</i> de $\frac{26,58 \times 3600}{540} =$	177,2 calories.

B. Réfrigération de l'ensemble des chantiers d'avancement, d'abatages et de maçonneries.

Le 29 décembre 1902, une expérience s'étendant sur l'ensemble des chantiers en activité a donné les résultats suivants :

Le front d'attaque de la galerie I était au P. K. 8462 m.
 Le front d'attaque de la galerie II était au P. K. 8300 m.
 La température du rocher à l'avancement était de 53°
 Le profil d'observation était au P. K. 7280 m.
 soit à 1182 m. en arrière de l'avancement, dans la partie du tunnel venant d'être terminée. Il n'y avait que des veues d'eau négligeables sur le parcours considéré.

Pour l'ensemble des chantiers, étaient en fonctionnement : un grand pulvérisateur au point kilométrique 7670 de la galerie parallèle, deux tubes percés de 5 m. dans la galerie d'avancement II, trois tubes semblables dans la galerie d'avancement I, un groupe de pulvérisateurs à 42 jets au point kilométrique 7900 (chantiers d'abatages), un groupe de pulvérisateurs à 16 jets au point kilométrique 7500 (chantiers de maçonnerie).

Les constatations suivantes ont été faites au point kilométrique 7280 :

a/ Eléments introduits :

Volume d'air passant par seconde, mesuré dans la galerie parallèle	24,65 m ³
Température de cet air	20°,5
Humidité relative	98 0/0
Volume d'eau passant par seconde dans la conduite de réfrigération	43 l.
Température de cette eau	5°,—

Volume d'eau passant par seconde dans les conduites des perforatrices	17 l.
Température de cette eau	8°,—
Température moyenne des eaux introduites :	
$\frac{43 \times 5 + 17 \times 8}{43 + 17} =$	5°,85

b) Eléments sortants :

Volume d'air à la seconde	24,65 m ³
Température de cet air dans le tunnel I	19°,—
Humidité de cet air	98 %
Volume d'eau évacuée par seconde	60 l.
Température de cette eau	13°,5

Quantité de chaleur enlevée par l'eau en une seconde :
60 (13,5 — 5,85) 459 calories.

L'air sortant du profil à une température inférieure de 1°,5 à sa température d'entrée, a cédé à l'eau de réfrigération une quantité de chaleur égale à $0,237 \times 24,65 \times 1,1 \times 1,5 = 9,6$ calories par seconde.

Cette chaleur, comprise dans les 459 calories ci-dessus, doit en être retranchée pour avoir celle abandonnée par le rocher. Cette dernière est donc égale à $459 - 9,6 = 449,4$ calories par seconde ou $\frac{449,4 \times 3600}{29000} = 55,8$ calories, en moyenne, par heure et par mètre carré de paroi de rocher. Nous ajoutons que la température primitive du rocher a été supérieure à 50° sur toute la section considérée.

C. Réfrigération de l'ensemble des galeries exécutées à fin décembre 1902.

En faisant des observations analogues aux précédentes à l'entrée de la galerie parallèle et à la sortie du tunnel I, on a calculé, à la fin du mois de décembre 1902 que la chaleur totale enlevée de l'ensemble des galeries exécutées à cette date s'élevait à 650 calories par seconde, en nombre rond. Mais dans ce calcul on n'a pas tenu compte de la chaleur emportée du fait de la vaporisation de l'eau dans le tunnel par la ventilation. Or, l'air entrant avec une teneur approximative de 10 grammes de vapeur d'eau par mètre cube d'air et il en ressortait avec 20 grammes environ.

La chaleur de vaporisation de l'eau (chaleur totale) pouvant être prise égale à 600, la chaleur enlevée par la vaporisation doit être évaluée, pour une ventilation de 30 m³ à la seconde à $30 \times 0,010 \times 600 = 180$ calories. C'est donc en réalité un total de $650 + 180 = 830$ cal. par seconde qu'on enlevait à cette date de l'ensemble des galeries.

Abaissements de température obtenus par les différents appareils. — Les divers types d'appareils, observés séparément, ont produit les abaissements de température indiqués au tableau ci-après, d'après quelques observations faites en 1902 et 1903.

Il n'était pas facile, avec les thermomètres dont nous disposions, de prendre exactement la température de l'air après les pulvérisateurs. Si on se plaçait trop près de ces derniers, le thermomètre se couvrait de fines gouttelettes d'eau ou de buée et donnait une température trop basse.

Plus loin, on s'exposait à noter une température trop élevée, car l'air se réchauffait sur un faible parcours. Les chiffres du tableau représentent des moyennes approximatives, faites en excluant un certain nombre de lectures apparemment entachées d'erreurs.

Réfrigération du côté d'Iselle.

L'abaissement considérable de la température du rocher (fig. 53) dû au cours d'eau souterrain, dont les travaux de percement du côté d'Iselle ont saigné divers canaux entre les p. kil. 15.384 et 15.944 (k. 3.860 et 4.420 à partir du portail d'Iselle), abaissement qui s'est fait nettement sentir dans une zone s'étendant entre les k. 14 et 17, a permis d'espérer un moment qu'on pourrait pousser les chantiers d'Iselle jusqu'à leur rencontre avec ceux de Brigue, sans faire usage de la réfrigération auxiliaire par l'eau froide.

En effet, l'air de la ventilation, en contact intime sur un parcours de 4 à 5 kilomètres, avec l'eau froide de ce cours d'eau dévalant par la galerie parallèle, arrivait aux différents chantiers avec une température bien inférieure à celle des chantiers du côté de Brigue. Toutefois, comme il fallait nécessairement prévoir un changement d'allure de la courbe thermique du rocher pour qu'elle pût se raccorder avec celle, si élevée, du côté de Brigue, comme il fallait en outre s'apprêter à recevoir, après le percement, les eaux chaudes des sources coupées par l'attaque de Brigue au-delà du point culminant, on prit la résolution d'utiliser, le cas échéant, comme eau de réfrigération à conduire aux chantiers, celle de la grande source froide (12° C.) mise à jour dans la transversale n° 21a au p. k. 4400.

Cette solution permettait d'économiser une longueur de 5 kilomètres environ de conduite de 0^m,253 et de diminuer de 6 à 7 atmosphères la pression d'origine. De plus, comme la source sortait avec une grande violence d'une fissure de rocher, on eut aussi l'idée de se servir de sa pression naturelle pour refouler l'eau aux chantiers à rafraîchir.

La pression qu'il était nécessaire de produire au p. k. 4.400 pour cet objet pouvait s'évaluer à un minimum de 10 à 11 atmosphères afin d'avoir encore aux derniers appareils réfrigérants une disponibilité de 6 atmosphères, suffisante pour produire une bonne pulvérisation. On capta donc la source dans une conduite en l'entourant d'un fort massif en maçonnerie et on obtint de la sorte une pression naturelle de 6 atmosphères.

Pour remonter cette pression (qui diminuait d'ailleurs progressivement) on intercala sur la conduite au droit de la traverse 23 (p. k. 4.720 d'Iselle) une pompe centrifuge Sulzer, actionnée par une turbine Pelton, prenant sa force sur les deux conduites de la haute pression des perforatrices. On installa de même, dans cette transversale agrandie en conséquence, une locomobile qui, en travaillant avec la condensation, pouvait fournir 120 HP. Cette machine devait venir en aide à la turbine quand l'eau de la haute pression serait réclamée par la perforation.

Désignation de l'appareil	Eau de réfrigération			Air traversant l'appareil			Observations
	Volume consommé en lit. p. sec.	Température à la sortie de l'appareil	Pression à l'appareil en atmosph.	Volume en m ³ par sec.	Vitesse en m. p. sec.	Abaissement de la température	
Groupe de 42 petits pulvérisateurs verticaux placés en quinconce.	21	7°	14	22,5	4,—	9° ₅	Dans la galerie de base du tunnel I.
Groupe de 12 injecteurs horizontaux montés sur wagonnet	6	7°	14	—	—	3°,—	A l'intersection d'une transversale et de la galerie de base du tunnel I.
Un grand pulvérisateur	3,6	6°	15	27,5	3,5	4°.—	Dans la galerie parallèle.
Groupe de 2 grands pulvérisateurs.	7,2	6°	15	27,5	1,10	3°,—	Dans la partie supérieure de la section terminée du tunnel.
Tube de 0 ^m ,05 de diamètre percé de 16 trous distants de 0 ^m ,30	2,1	5°	12	20	3,—	2° ₅	Dans la galerie parallèle.

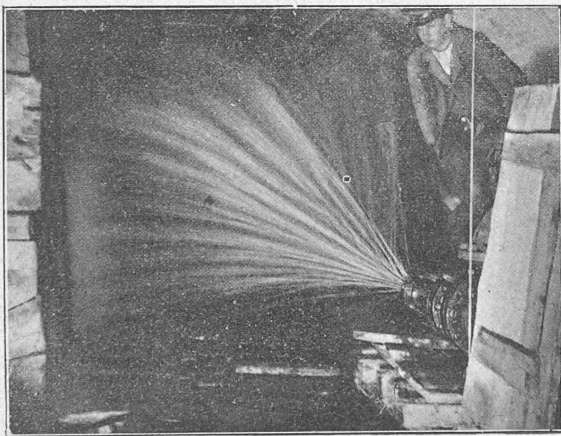


Fig. 49. — Appareil de pulvérisation employé du côté d'Iselle.

Toute cette installation ne fut prête à fonctionner qu'en septembre 1904. Le 6 du même mois, une forte source chaude (70 l.-s. à 45°,4) ayant jailli de l'avancement, il devint impossible de continuer les travaux sans le secours de l'eau froide. On se hâta et l'on put mettre en service six jours après la réfrigération. L'eau avait une température de 14°,5 au p. k. 4700 et 19° au p. k. 9000; la pression était de 5 à 6 atmosphères aux appareils de pulvérisation.

Fin décembre 1904, les appareils réfrigérants étaient répartis comme suit. Tunnel I: p. k. 7580, 8615 et 8730. Des tubes percés aspergeaient les galeries d'avancement, ainsi que les conduites de la ventilation secondaire. Dans le tunnel II, un pulvérisateur fonctionnait au p. k. 9150. Depuis ce moment, l'avancement fut encore interrompu par différentes venues d'eau chaude; la turbine utilisait l'eau de la haute pression pendant ces interruptions et la locomobile put être retirée après la rencontre des galeries Nord et Sud.

Les appareils de pulvérisation, quelque peu improvisés, étaient inférieurs comme rendement à ceux employés à

Brigue. Nous représentons un de ces appareils (fig. 49).

La rencontre des galeries ayant eu lieu au p. k. 9353, le 24 février 1906, et la réfrigération n'ayant commencé à fonctionner qu'au p. k. 9110, cette dernière n'a donc été nécessaire que sur le parcours très limité de 243 mètres. Mais il a fallu environ six mois pour perforer ce tronçon.

Réfrigération pendant l'exploitation.

La haute température, combattue d'une manière efficace, pendant les travaux de construction par la ventilation et les appareils réfrigérants que nous venons d'examiner, pourrait-elle être suffisamment abaissée pendant l'exploitation du tunnel par l'effet de la seule ventilation? Telle est la question qui se posa vers la fin de la campagne des travaux.

La ventilation, à la vérité, pouvait être fortement augmentée eu égard au faible frottement de l'air contre les parois revêtues du tunnel terminé, mais, en revanche, il y avait à prévoir, dans le calcul de la quantité de chaleur à soustraire, celle introduite dans le tunnel par les locomotives des trains de l'exploitation. Tout compte fait, une Commission spécialement chargée de s'occuper de cette question conclut à la nécessité d'installer à titre définitif la réfrigération auxiliaire par l'eau froide, et fixa la capacité de cette installation à 40 ou 50 litres par seconde.

Les appareils suivants furent donc installés pour l'exploitation du tunnel :

1° Quatre groupes de petits pulvérisateurs westphaliens, comprenant chacun six jets distants de 2 m., placés à 3 m. au-dessus de la voie et dirigés contre la voûte, ont été placés du côté droit aux p. k. 8680, 8850, 9480 et 9680, suivant disposition représentée fig. 50 et 51;

2° Trois tubes d'aspersion de parois de 200 m. de longueur chacun (fig. 52) régnant contre les deux piédroits, à 3 m. de hauteur, furent répartis entre les p. k. 8211 à

8411, 9836 à 10 036, 10 039 à 10 239, permettant de rafraîchir 3600 m² de parois chaudes.

Ces divers appareils sont alimentés par la conduite isolée de 0,253 et les pompes centrifuges ayant servi pendant la construction.

La traction électrique des trains à la traversée du tunnel ayant été appliquée sur ces entrefaites, l'utilité de ces appareils réfrigérants a été sensiblement diminuée; aussi, en pratique, ne fait-on fonctionner que les tubes d'aspersion, et cela suffit à maintenir l'air du tunnel à une température qui ne dépasse nulle part 27 à 28° (fig. 53), d'après un relevé du 28 avril 1907, qui nous a été communiqué par M. Fonjallaz, ingénieur, chargé de l'entretien du Tunnel du Simplon. Dans les parties où le rocher avait primitivement une température supérieure à 50°, la température de l'air est actuellement de 20 à 22°. Elle s'y abaisse même en un point à 18° sous l'action combinée de la grande ventilation et des appareils réfrigérants. La température plus élevée de l'air qu'on remarque du côté d'Iselle, précisément où la température du rocher était très basse, est due au sens de la ventilation qui va de Brigue à Iselle. L'air absorbe de la chaleur pendant son trajet et sa température monte, vu sa faible chaleur spécifique. Mais le refroidissement du rocher ne faisant que s'accroître, sous l'effet de la puissante ventilation qui fonctionne en permanence, cette courbe de température s'abaissera progressivement encore avec le temps.

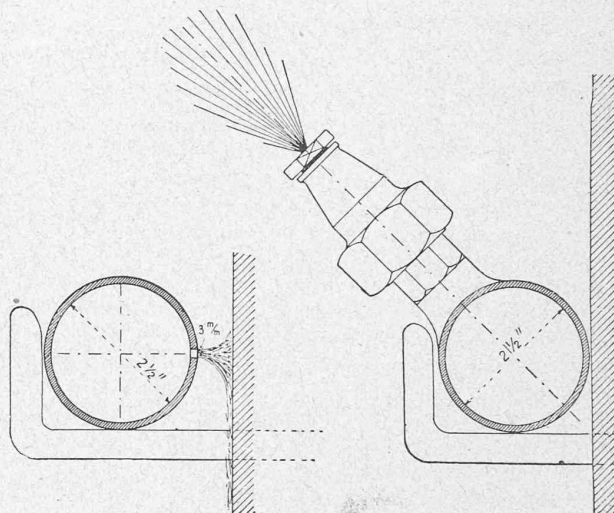


Fig. 52. — Tuyau percé aspergeant les piedroits du tunnel.

Fig. 51. — Pulvérisateur lançant une gerbe d'eau dans la direction de la voûte du tunnel.

Installation de la réfrigération du tunnel par l'eau froide pendant l'exploitation.

Avantages de la réfrigération par l'eau froide.

Pour combattre les hautes températures souterraines dans la construction des tunnels de très grande longueur,

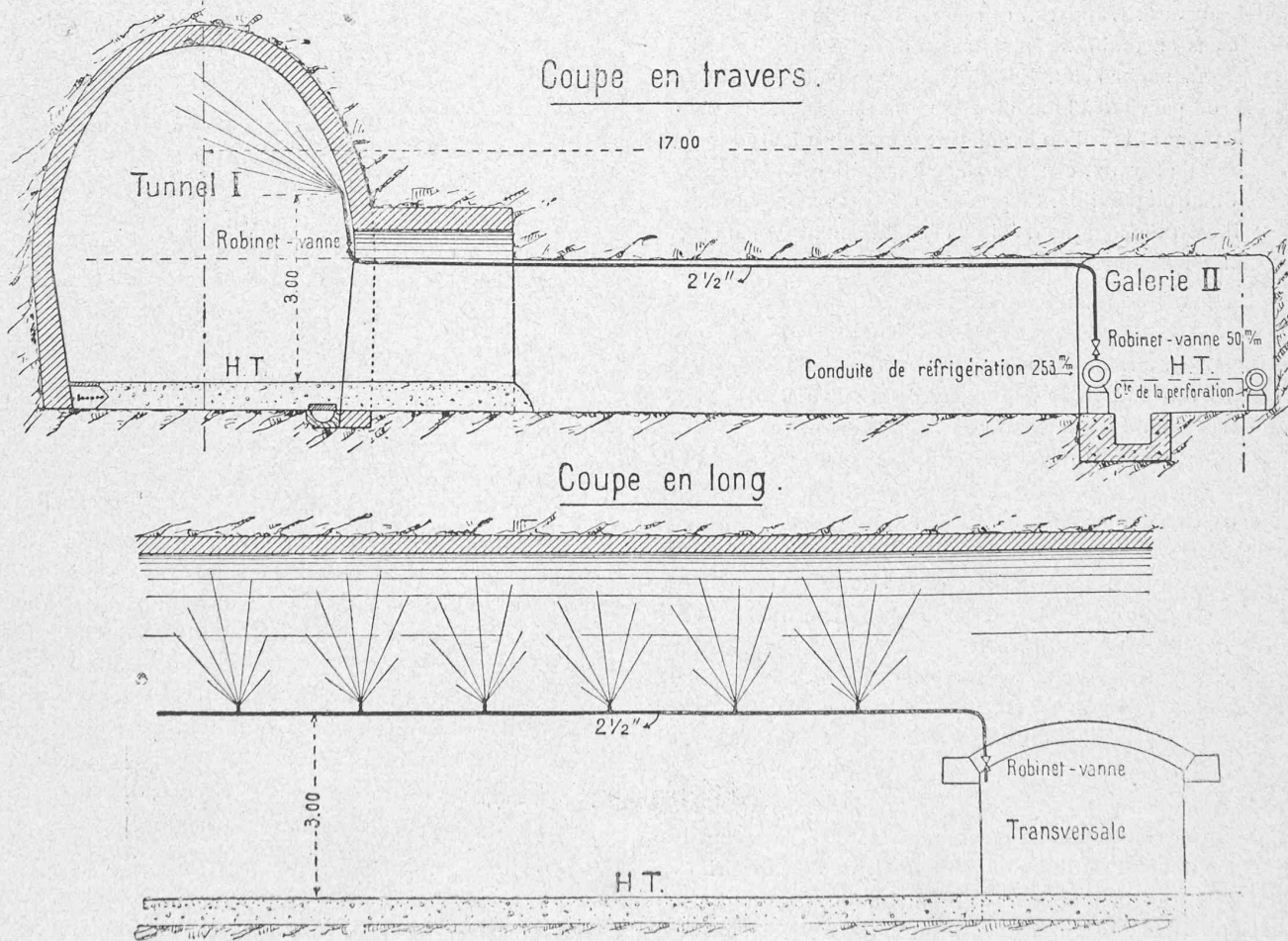


Fig. 50. — Installation de la réfrigération du tunnel par l'eau froide, pendant l'exploitation.

l'expérience du Simplon a montré que l'emploi de l'eau froide présentait des avantages incontestables. L'envoi, dans les galeries, d'un fort volume d'air est évidemment d'une grande valeur; c'est une condition indispensable pour entretenir la composition normale de l'élément respirable, mais ce n'est pas tout; il faut encore que cet air, tout en restant pur, ne s'échauffe pas au delà de 30 à 32° si l'on veut que le travail ne devienne pas extrêmement pénible et très coûteux. Or, lorsque les parois du rocher atteignent, comme au Simplon, une température de 50 à 54°, l'air en contact s'échauffe rapidement au-dessus de 30°, même quand sa vitesse atteint le maximum admissible.

Le *refroidissement de l'air par l'air* ne peut donc suffire que jusqu'à une certaine limite, au delà de laquelle il est nécessaire de faire intervenir un autre élément de réfrigération. Cette limite a été atteinte au Simplon quand la température du rocher s'est élevée à 38° environ.

Comme moyen auxiliaire de réfrigération, l'eau a été employée, nous l'avons dit, de deux manières différentes, suivant qu'on a voulu *éviter l'échauffement de l'air* ou *refroidir l'air après son échauffement*.

Pour obtenir le premier résultat, on recouvre les parois du rocher d'une mince nappe d'eau lentement renouvelée, qui absorbe la chaleur à sa source et l'emporte. Par ce moyen, l'air circule pour ainsi dire dans un enduit isolant et peut faire un long trajet dans la galerie sans s'échauffer beaucoup. L'appareil qui convient est le tube percé: il n'est pas encombrant, mais assez difficile à régler si l'on tient à ménager l'eau. En le plaçant à la naissance du plafond, on parvient à humecter les parois latérales, une partie du plafond et le sol de la galerie; il exige un long développement de tuyaux, car la surface à mouiller doit être aussi étendue que possible. Ce procédé est très recommandable, car il est plus logique d'éviter l'échauffement de l'air, que de laisser ce dernier se chauffer et de le refroidir ensuite.

Si l'on ne peut faire autrement, on a recours au deuxième procédé, qui consiste à noyer l'air dans de l'eau finement pulvérisée, formant rideau au travers de la galerie. Dans ce cas, on refroidit aussi le rocher, mais sur une faible longueur. Comme il y a intérêt à éviter les brusques changements de température, ces appareils pulvérisateurs doivent être répartis en groupes de force moyenne partageant la galerie en sections de faible longueur.

Ces pulvérisations présentent aussi un avantage des plus appréciables: elles entraînent et fixent la poussière, les miasmes et, en général, les matières nuisibles qui peuvent être en suspension dans l'air.

La pureté de l'air de la galerie de base du tunnel I était notamment des plus remarquable après le grand appareil de pulvérisation placé en avant des chantiers d'abatages.

Ainsi que nous l'avons déjà fait remarquer, les soins apportés à la ventilation et à la réfrigération des chantiers ont eu une répercussion bienfaisante sur la marche des travaux et l'état sanitaire du personnel. Du côté de Brigue, le rapport médical de M. le Dr Pometta (ouvrage déjà cité) affirme qu'aucun cas d'ankylostomiasis n'a été constaté

parmi les ouvriers du tunnel, et quant à l'état sanitaire général, il peut être apprécié par les chiffres suivants tirés de ce rapport: Sur un total général de 3445754 journées faites durant la campagne des travaux, il y a eu en tout 52677 journées de maladie, soit 1.53%. Quant au nombre des morts, il a été au total de 30 par suite d'accident et de 37 par suite de maladie. Du côté d'Iselle, le rapport de M. le Dr Giuseppe Volante¹, médecin de l'entreprise, dit que l'état sanitaire s'est maintenu toujours bon, que les maladies infectieuses les plus communes n'ont pu s'étendre et que c'est avec un véritable sentiment de satisfaction que, moyennant une rigoureuse vigilance dans l'acceptation des ouvriers sur les chantiers, jointe aux autres précautions hygiéniques, on a pu maintenir la galerie du Simplon indemne du terrible fléau de l'ankylostomiasis.

Chaleur souterraine.

En terminant cette notice, qui n'est que le développement d'une conférence que nous avons eu l'honneur de donner à la Société vaudoise des Ingénieurs et des Architectes le 15 décembre 1906, nous ne pouvons nous dispenser de dire quelques mots de la chaleur souterraine exceptionnelle contre laquelle les constructeurs du tunnel du Simplon ont eu à lutter, par les moyens énergiques que nous venons de passer en revue.

Nous avons indiqué, dans un tableau précédent, les températures du rocher constatées du côté de Brigue; nous complétons ce renseignement, pour la longueur totale du tunnel, par une courbe thermique, réduite à petite échelle (0,5 mm. pour 1° C., fig. 53), dans laquelle le trait plein représente les températures reconnues au moment du percement, tandis que le trait ponctué suit approximativement les prévisions établies par les auteurs qui ont étudié les conditions thermiques dans lesquelles pourraient s'exécuter les projets du grand tunnel de base du Simplon.

On remarque au premier coup d'œil que les différences considérables existant entre la réalité et les prévisions sont localisées en deux zones parfaitement distinctes: l'une s'étendant entre les km. 5 et 11, l'autre entre les km. 14 et 16. Ces différences, de signe contraire, sont dues, selon toute vraisemblance, à une cause accidentelle, qui ne se reproduirait pas dans une montagne à stratification normale et n'infirment pas, par le fait, la valeur des méthodes employées jusqu'ici pour l'évaluation de la chaleur souterraine. Elles montrent seulement qu'il y a lieu de tenir compte de la présence possible de couches aquifères à l'intérieur des massifs, ce qui implique la connaissance de la constitution géologique de la région intéressée. C'est un élément d'appréciation qu'il sera nécessaire de faire intervenir pour corriger, au besoin, les données fournies par la seule considération de la profondeur des couches et du relief superficiel.

L'abaissement anormal de la température qui s'est pro-

¹ Dott. Giuseppe Volante. *Intorno alle condizioni igieniche e sanitarie in cui si svolsero i lavori della Galleria del Sempione*, 1906.

duit sur le versant italien a été fort bien expliqué par M. le Dr H. Schardt¹.

Il est dû incontestablement à la circulation d'un cours d'eau souterrain qui s'alimente dans un grand bassin hydrographique superficiel, dont la dépression de Vallé fait partie, suit à l'intérieur du sol une voie que l'allure des couches calcaires et gypseuses du Trias jalonne dans ses grandes lignes et sort du massif quelque part en aval d'Iselle.

Les travaux de percement ayant eu la bonne fortune — au point de vue de l'explication du phénomène — de saigner ce cours d'eau, toute hésitation et toute autre interprétation devient impossible. Le volume d'eau que la perforatrice a détourné de ce torrent varie de 800 à 1200 litres par seconde suivant la saison et sa température, relativement très basse, varie de quelques degrés suivant les sources. Quelques parties, parmi les plus froides, ayant sans doute pris des raccourcis par les fissures du gneiss, au lieu de suivre les méandres du Trias, entrent dans la galerie à 12°. La température du rocher s'est abaissée elle-même jusqu'à 16°,2, en un point où la normale du milieu devrait être de 35° au moins.

Quant à l'exagération de température constatée du côté suisse, elle a son centre vers les km. 8 et 9. M. le Professeur Schardt a fait un rapprochement entre cette élévation anormale d'une part, la disposition des couches parallèles à sa surface, la siccité du terrain et la température superficielle du sol relativement élevée d'autre part, et a pensé que la coïncidence de ces trois derniers facteurs pouvait être la cause de la haute température rencontrée.

Il nous a paru que la coupe géologique du massif du Simplon donnée par M. Schardt pouvait mettre sur la voie d'une autre explication : nous avons donc placé au-dessus de la courbe thermique de la fig. 53 un schéma de cette coupe géologique, en la réduisant à ses plus grandes lignes : *G* représentant les différents gneiss et schistes cristallins, *T* les calcaires, dolomies, gypse, anhydrite, etc., du Trias, et *S* les schistes jurassiques. Les couches *T*, éminemment attaquables par les eaux, livrent passage à celles-ci à l'intérieur de la montagne. Or, il est impossible de ne pas remarquer la correspondance qui existe entre la zone à température exagérée et celle où les couches triasiques aquifères du massif de recouvrement s'enfoncent par une série de plis à une grande profondeur au-dessous du tunnel. L'eau de surface, qui a pénétré jusque dans ce bas-fonds et qui tend à corroder toujours plus les calcaires et à s'y frayer des passages toujours plus nombreux, a pu trouver quelque issue superficielle (il y a des sources chaudes au bord du Rhône dans le voisinage de Brigue). On peut donc concevoir qu'une circulation lente se produit dans cette nappe aquifère et que, sous une forte pression hydrostatique, l'eau monte jusqu'aux sommets des anticlinaux successifs de calcaires de Trias, après avoir passé par les parties profondes de ces mêmes couches. En circulant lentement dans ces cavités tortueuses, que M. Schardt fait passer à plus de

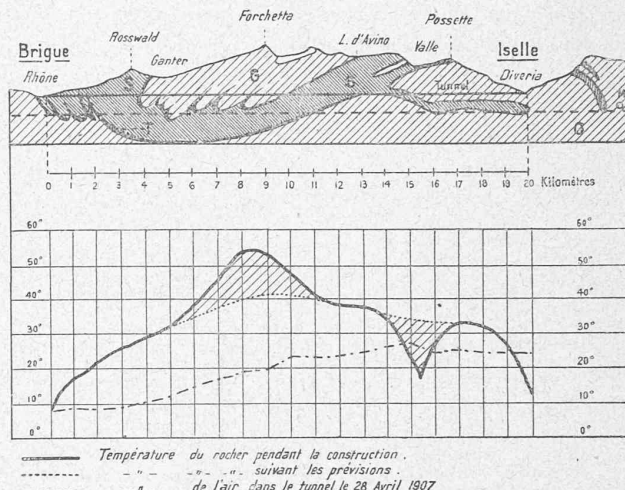


Fig. 53. — Profil géologique schématique du massif du Simplon, d'après la coupe de M. H. Schardt.

Courbes de températures.



Fig. 54. — Refroidissement progressif du rocher dans la galerie parallèle et son réchauffement à la suite du passage dans cette galerie des eaux chaudes de l'avancement.

500 m. au-dessous du tunnel, l'eau se réchauffe, puis elle véhicule cette chaleur d'emprunt dans un milieu plus élevé et plus froid, qu'elle réchauffe à son tour. Autrement dit, la présence d'un réseau aquifère extrêmement plissé produirait, dans cette partie de la montagne, une sorte d'égalisation de la température du rocher, ce qui ne peut avoir lieu que par un réchauffement des couches supérieures. Nous ajouterons que la circulation de l'eau servant de véhicule à la chaleur n'implique même pas la nécessité de l'issue superficielle que nous avons supposée.

C'est entre les km. 8 et 9 que le tunnel se serait rapproché le plus des canaux souterrains d'eau chaude. Il en a coupé quelques ramifications vers le km. 8.500, ayant une température de 54°, et d'autres plus abondantes et moins chaudes (45° à 49°) entre les km. 9.500 et 10.500.

Le fait qu'on a constaté une température moyenne superficielle du sol du côté Suisse légèrement supérieure à la température ordinaire¹ serait une répercussion lointaine de ce réchauffement anormal.

¹ Cette température superficielle a été constatée par une série de thermomètres spéciaux placés sur la montagne, le long du profil du tunnel, enfoncés à 1 m. de profondeur dans le sol. Ces thermomètres ont été lus régulièrement pendant toute la durée des travaux.

¹ H. Schardt, Prof. *Les résultats scientifiques du percement du tunnel du Simplon*. 1905.

Les deux anomalies, de signe contraire, qui affectent la courbe thermique seraient donc, à notre sens, une conséquence de la tectonique toute particulière de ce massif, que la science du D^r Schardt a su mettre en lumière, avant qu'elle ne fut définitivement démontrée par la découverte des schistes calcaires dans la partie centrale du tunnel.

Une présomption favorable à notre explication peut être tirée de la permanence des grandes sources chaudes qui débouchent dans le tunnel et dont la température ne s'est pas abaissée jusqu'à ce jour.

Un autre fait intéressant, et qui ne peut qu'étayer aussi notre manière de voir, s'est produit dans la galerie parallèle du côté de Brigue pendant qu'on y a déversé les eaux chaudes provenant précisément des sources auxquelles nous faisons allusion. Ce déversement a commencé en novembre 1903 et à partir de cette époque on constate un réchauffement progressif du rocher avoisinant la galerie parallèle, réchauffement qui atteint jusqu'à 8° C. aux kilomètres 6, 7 et 8 de la dite galerie¹. L'eau déversée avait un volume de 200 litres à la seconde au maximum et une température variant de 38° à 36° entre les kilomètres 8 et 6 en juin 1904.

La figure 54 montre cette particularité, très suggestive au point de vue de l'explication du réchauffement de la roche par la circulation des eaux chaudes. Elle fait voir aussi le refroidissement graduel du rocher tel qu'il se produisait, sous l'influence de la ventilation, avant qu'intervienne la cause perturbatrice dont nous venons de parler.

Principales publications parues sur le Simplon pendant la construction du tunnel ou depuis son achèvement :

Rapports trimestriels au Conseil fédéral suisse sur l'état des travaux du percement du Simplon, par M. J. Dumur, directeur des Chemins de fer J.-S., et M. E. Colomb, directeur des C. F. F.

Le tunnel du Simplon, par Pierre de Blonay (*Bulletin technique de la Suisse romande*, années 27 à 32).

Sulle condizioni igieniche e sanitarie dei lavori al traforo del Sempione, par L. Pagliani (Istituto d'igiene della R. università di Torino). 1900.

Le tunnel du Simplon, par A. Dumas (*Le Génie civil*). Paris, 1900.
Spec. Berichte der Direktion der J.-S. an das Schw. Eisenbahndep. über den Bau des Simplon-Tunnels. **Die Bestimmung der Richtung, der Länge und der Höhenverhältnisse**, par M. Rosenmund. 1901.

Der Bau des Simplontunnels, par P. Möller (*Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*). Berlin, 1902 et 1904.

Visite aux travaux du Simplon (Congrès de la Houille blanche. Compte rendu, vol. 2. 1902).

Note sur le profil et la tectonique du massif du Simplon, suivie d'un rapport supplémentaire sur les venues d'eau dans le tunnel du Simplon du côté d'Iselle, par H. Schardt. 1903.

Le tunnel du Simplon, par G. de Fooz (*Mém. de l'Union des ingénieurs de Louvain*). 1904.

Comitato italiano del valico ferroviario del Sempione. Relazione finale, par Guilberto Borromeo et E. Mola. 1904.

Die Bauarbeiten am Simplon-Tunnel, par S. Pestalozzi (*Schw. Bauzeitung*, Band XXXVIII et XXXIX). 1904.

¹ Aux km. 6, 7 et 8 de la galerie parallèle, la température du rocher a été observée au moyen de thermomètres isolés, placés dans des trous de mine de 1^m.50 de profondeur percés perpendiculairement à la paroi verticale située du côté opposé au collecteur des eaux.

Les résultats scientifiques du percement du tunnel du Simplon. Géologie, hydrologie, thermique, par H. Schardt (*Bulletin technique de la Suisse romande*). 1905.

Rapport sur les travaux du Simplon, par M. Jaquier, ingénieur en chef des P. et C. (*Ann. des P. et Ch.*, 4^e trim.). 1905.

Anhydrit-Kristalle aus dem Simplon-Tunnel, par H. Preiswerk (*N. Jahrbuch für Min., geol. und paleont.*). 1905.

Die Bauarbeiten am Simplon-Tunnel, par K. Pressel (*Schw. Bauzeitung*, Band XLVII). 1906.

Sanitäre Einrichtungen und ärztliche Erfahrungen beim Bau des Simplon-Tunnels, Nord-Seite. Dr. D. Pometta.

Intorno alle condizioni igieniche e sanitarie in cui si svolsero i lavori della galleria del Sempione. Dott. Giuseppe Volante. 1906.

Le percement du Simplon, par F. Bonjour, Lausanne. 1906.

Le Simplon. Texte de l'Album officiel, par Paul Zutter. Lausanne, 1906.

Il traforo del Sempione ei passaggi alpini, par A. Ferrucci. 1906.

Les installations électriques pour l'exploitation et l'éclairage dans le grand tunnel du Simplon, par E. Rod (*Bulletin technique de la Suisse romande*), 1907.

La Gare de Lausanne.

Par C. JAMBÉ, ingénieur.

(Suite et fin)¹.

Bâtiment à voyageurs. — Si l'on consulte le plan de comparaison (fig. 11) des superficies des bâtiments à voyageurs des plus importantes d'entre les gares suisses, on constate que Lausanne, qui se trouve en 1905 en troisième rang pour le nombre des voyageurs n'occupe plus que la sixième place comme superficie de bâtiment. Avec le bâtiment projeté, elle remonterait au 4^{me} rang.

Gares.	Rang par rapport au nombre des voyageurs en 1905.	Superficie totale du bâtiment à voyageurs.
1. Bâle	2	8113 m ²
2. Zurich	1	5127 »
3. Lucerne.	8	4201 »
(4). Lausanne (projet).	3	4090 » (projet)
4. Berne	4	4053 »
5. Genève	6	3490 »
6. Lausanne (actuelle)	3	2103 » (actuelle)

Une prompt solution s'impose, vu l'exiguïté des locaux de service et du public et l'état de délabrement dans lequel se trouve le présent bâtiment à voyageurs.

L'étude du nouveau bâtiment est laborieuse, à cause du grand nombre de locaux à ménager sur un emplacement forcément limité. Les crédits pour ce bâtiment s'élèvent à Fr. 1 800 000, ce qui correspond approximativement à Fr. 38.— le m³; ce dernier chiffre peut paraître élevé, mais il tient compte dans une assez large mesure des entraves

¹ Voir N° du 10 juin 1907, page 121. — Dans le tableau, page 127, du numéro du 10 juin, les chiffres relatifs à l'année 1906 doivent être rectifiés comme suit :

Voyageurs partis	Nombre.	1 538 488	
Bagages	Tonnes .	5 376	
Animaux vivants	Têtes .	9 010	
Marchandises {	Expéditions	Tonnes .	39 424
	Arrivages		254 192
	Totales		293 616