

**Zeitschrift:** Bulletin de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes  
**Band:** 9 (1883)  
**Heft:** 3

**Artikel:** La ventilation des grands tunnels  
**Autor:** Sinner, Ch. de  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-10339>

#### 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:** 11.02.2026

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

## BULLETIN

DE LA SOCIÉTÉ VAUDOISE

## DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

PARAISANT 4 FOIS PAR AN

**Prix de l'abonnement annuel : pour la SUISSE, 5 fr.; pour l'ÉTRANGER, 5 fr. 50.***Pour les abonnements et la rédaction, s'adresser à M. Georges Bridel éditeur, place de la Louve, à Lausanne.*

## LA VENTILATION DES GRANDS TUNNELS

par CH. DE SINNER, ingénieur des mines.

(Suite et fin.)

Des renseignements qui nous sont parvenus depuis la publication de la première partie de ce mémoire prouvent que nous sommes resté plutôt au-dessous de la vérité, et qu'en admettant une consommation de 9 kilogrammes de houille par kilomètre de tunnel (soit environ 24 kg. par kilomètre de rampe de 5,8 %), nous sommes encore très indulgent. Ainsi, pour assurer une bonne ventilation, la vitesse moyenne du courant d'air devrait être de 2 mètres<sup>1</sup> pour le mouvement actuel de 11 ou 12 trains dans chaque sens.

On nous fera peut-être l'objection que le mont Cenis, avec une rampe de 23 % du côté nord, et une consommation de combustible triple de celle du Gothard (d'après l'appréciation de M. Trautweiler), exigerait aussi une vitesse triple du courant d'air, soit 6 mètres pour le même mouvement de trains. Mais, quelle que soit cette consommation, on rencontre une limite qu'il serait inutile de dépasser, et qui dépend uniquement du nombre des trains, soit du temps qui s'écoule en moyenne entre le passage de deux convois consécutifs. Si la vitesse est suffisante pour que le courant traverse tout le tunnel pendant cet intervalle, la ventilation sera pour ainsi dire parfaite, quel que soit le volume des gaz nuisibles à évacuer. Pour le mont Cenis qui compte moins de 14 kilomètres, même après son prolongement récent, et dont le mouvement, resté stationnaire, ne dépasse guère 22 trains (soit 11 doubles courses) en moyenne, une vitesse de 4 mètres suffira pour produire ce renouvellement complet de l'atmosphère entre deux trains, tandis qu'elle ne suffirait bientôt plus, à ce point de vue, au Gothard avec 15 kilomètres et un mouvement qui progresse rapidement. Tout en reconnaissant que le Gothard peut se contenter actuellement, vu les considérations développées plus haut, d'une vitesse moyenne de 2 mètres, gardons-nous d'exagérer sa supériorité sur le mont Cenis, dont la ventilation naturelle est plus énergique et surtout moins sujette au renversement et aux arrêts, comme nous verrons. Il serait d'ailleurs facile d'assurer au mont Cenis cette vitesse de 4 mètres, radi-

Deux erreurs se sont glissées dans le dernier numéro. Page 11, colonne de gauche, 15<sup>e</sup> et 16<sup>e</sup> ligne comptée du bas de la page, il faut lire : V' = 1<sup>m</sup>98 au lieu de 1 = 1<sup>m</sup>98 et V'' = 2<sup>m</sup>48 au lieu 1 = 2<sup>m</sup>48. Quelques lignes plus haut, lire 2 kg. 09 au lieu de 2<sup>m</sup>09 et 0 kg. 44 au lieu de 0<sup>m</sup>44.

calement suffisante, au moyen d'un grand ventilateur venant en aide à l'aération naturelle.

Cette même considération, soit la durée de l'intervalle entre le passage des trains, nous rassure, du moins pour le moment, sur l'aération des tunnels des lignes d'accès du Gothard, dont la longueur ne dépasse guère 1500 mètres. Dans ces conditions, une vitesse moyenne de 0<sup>m</sup>40 à 0<sup>m</sup>50 suffit pour renouveler l'atmosphère entre deux trains. Or, M. l'ingénieur Trautweiler a constaté, au moyen de mesures directes, qu'on peut compter presque toujours sur cette vitesse, même dans les conditions de température les moins favorables, pour les tunnels à fortes rampes. Quant aux autres, on y brûle moins de combustible, et ils sont favorisés par l'action des vents extérieurs, plus sensible que dans les grands tunnels. D'ailleurs les souterrains, dont la longueur ne dépasse pas 3000 mètres, sont en général ventilés suffisamment par le mouvement même des trains qui entraîne l'air à sa suite, et lui communique une vitesse qui peut s'élever pour les tunnels étroits jusqu'à un tiers de la vitesse du convoi, donc à 2 m. et 4 m. pour les trains de la ligne du Gothard. Cette vitesse va en diminuant dès que le train a quitté le tunnel ; mais son action ne cesse que peu à peu, et lorsqu'elle a lieu dans le même sens que le courant dû aux circonstances atmosphériques, elle le favorise singulièrement.

Dans le cas contraire, elle ne l'entrave pas assez longtemps pour l'annuler. L'atmosphère du tunnel sera toujours renouvelée au moins douze fois dans vingt-quatre heures.

Quant aux tunnels hélicoïdaux en particulier, nous n'avons jamais partagé les craintes qui ont été exprimées au sujet de la difficulté de leur ventilation. Des courbes de 280 à 300 m. de rayon ne sauraient exercer une influence sensible sur la résistance que rencontre le courant d'air : dans les mines on ne craint que les « coudes » proprement dits. Les mesures directes de M. Trautweiler montrent bien que les tunnels en hélice se comportent sous ce rapport comme les tunnels rectilignes de mêmes dimensions. Il n'y a donc pas là de motif pour blâmer la solution ingénieuse de M. Hellwig qui est devenue un moyen de salut pour la ligne du Gothard. Nous ne pouvons d'ailleurs mieux faire que de renvoyer nos lecteurs à la remarquable étude de M. Trautweiler sur la « ventilation des tunnels des lignes d'accès », parue dans la *Revue polytechnique suisse*, N<sup>o</sup>s 7 et 8 de l'année 1883. Nous sommes heureux de constater notre parfait accord avec M. Trautweiler sur les points essentiels. Ses mesures directes viennent confirmer les déductions que nous avions tirées de la théorie et de nos observations dans

les mines. Seulement nous ne saurions comprendre ni les appréhensions que M. Trautweiler exprime au sujet de la rampe de 8% projétée au Simplon, ni sa quiétude à l'égard du grand tunnel du Gothard, dont il laisse d'ailleurs toute la responsabilité à M. Stapff. Quant à sa conclusion finale qui condamne les tunnels à rampes, elle implique une condamnation de toute la ligne du Gothard qui ne pouvait guère s'en passer.

M. Trautweiler a établi du reste une distinction importante sur laquelle on ne saurait trop insister : il faut se garder, en effet, d'attribuer à une « mauvaise ventilation » l'inconvénient, plus pénible que redoutable, qui résulte immédiatement de la fumée produite par la locomotive pendant son passage dans le tunnel, et qui augmente naturellement avec l'inclinaison pour les trains montants. Cet inconvénient, qui à lui seul n'est pas encore un danger, ne peut être supprimé par aucun moyen de « ventilation, » mais il pourra être atténué sur les lignes d'accès du Gothard par l'élargissement prévu et très désirable de tous les tunnels et le choix du combustible. En attendant les ingénieurs du Gothard ont eu l'excellente idée de munir les employés du train d'un réservoir d'air comprimé où l'on peut puiser à chaque instant. Quant aux voyageurs, ils sont garantis de tout désagrément en fermant les fenêtres à temps. Ces précautions mêmes ne sont du reste indispensables que lorsque l'air du tunnel a une température très élevée et empêche ainsi la fumée de se maintenir au-dessus du train. Cette température, que le passage du train tend à augmenter, ne peut être combattue elle-même, il est vrai, qu'au moyen d'une ventilation abondante et continue. Rappelons enfin que la fumée proprement dite est composée en grande partie de particules de carbone non brûlé et de carbures d'hydrogène qui ne se transforment que plus tard en gaz toxiques. L'acide carbonique et l'oxyde de carbone, qui sont les plus redoutables, sont enveloppés d'abord d'une grande quantité de vapeur d'eau qui rend le mélange plus inoffensif et plus léger et le maintient au dessus du train. Avec un courant énergique, ce mélange sera évacué avant la séparation des éléments. Mais il suffit d'un arrêt, pour que l'acide carbonique s'accumule en certains points près du sol de la galerie, et l'oxyde de carbone en d'autres points de la partie supérieure. Ces accumulations de gaz toxiques constituent le véritable danger, qui menace surtout le personnel chargé d'inspecter la voie. C'est parmi ces employés qu'on a eu à déplorer au mont Cenis les cas d'asphyxie auxquels le mémoire de M. de Kossuth fait allusion.

Pour les grands tunnels on ne peut plus compter, comme pour les petits, sur l'influence favorable du mouvement des trains. Un convoi agit comme un piston : l'effet d'aspiration qu'il produit dans un tunnel est en raison inverse de la section et de la longueur du souterrain. Au Gothard et au mont Cenis, on ne peut guère compter que sur un courant équivalent à la dixième partie de la vitesse du convoi, ou sur une vitesse maximum de 0<sup>m</sup>70 pour un train de marchandises, et de 1 m. pour un train de voyageurs. D'ailleurs le courant produit ainsi, qui va en diminuant, n'aura achevé qu'un faible trajet de 2 à 3 kilomètres au plus, à partir d'une des entrées, que déjà le mouvement d'un convoi en sens contraire vient lutter contre lui à l'extrémité opposée et l'emporte bientôt. Ainsi les extrémités seules du tunnel profiteront de ce mouvement, mais la partie centrale n'est point purifiée et en ressentira plutôt une

perturbation nuisible du courant naturel préexistant. L'aspiration produite par le train en mouvement, si utile aux tunnels de longueur modérée, se résume, pour les grands souterrains, par un effet nul, sinon nuisible. (M. l'ingénieur Frescot a déjà insisté sur cette différence.)

On pourrait faire un raisonnement analogue au sujet de l'action des vents extérieurs sur lesquels on fonde souvent de si grandes espérances. En faisant abstraction des tempêtes et cyclones qui sont heureusement une exception, les vents les plus forts ne dépassent pas une vitesse de 12 m. par seconde, dont un dixième seulement se retrouvera dans le tunnel (à cause des frottements dont nous parlerons plus tard), et encore ce n'est que la composante dirigée suivant l'axe du tunnel qui intervient utilement. L'action de ces vents forts, qui soufflent par rafales, s'épuise d'ailleurs en partie dans les remous qu'elle produit. M. Trautweiler a observé, pendant qu'un vent extérieur assez fort soufflait directement contre le portail supérieur du monte Cenere, que l'air de ce dernier en sortait néanmoins en sens contraire, avec une vitesse de 0<sup>m</sup>40. Enfin, au cas le plus favorable, cette cause ne peut agir que sur la moyenne journalière du courant, et non sur celle du mois : car si elle agit quelquefois dans le même sens que la cause principale de ventilation, elle lutte tout aussi souvent contre elle.

#### Ventilation naturelle.

Les seules causes naturelles qui influent d'une manière permanente et notable sur la ventilation d'un tunnel sont :

1<sup>o</sup> La différence entre les températures (les tensions) de l'air extérieur et de l'air intérieur ;

2<sup>o</sup> La différence entre les tensions que l'air extérieur possède à chacune des deux embouchures.

Pour le grand tunnel du Gothard on voit aussitôt que la première de ces deux causes de mouvement ne peut exercer qu'une action très faible : celle-ci est mesurée, en effet, par la différence de poids (par unité de surface) entre deux colonnes de densité différente dont la hauteur commune n'est que D = 36 m., différence de niveau entre les deux entrées. Pour évaluer la vitesse du courant résultant de cette seule cause, on remplace l'excès de densité de la colonne extérieure, plus froide, par un excédant de hauteur de cette colonne, ramenée à la densité de l'air intérieur du tunnel, de manière à transformer l'excès de densité en une hauteur génératrice de vitesse équivalente. On obtient ainsi la formule connue, qui sert aussi pour les cheminées :

$$h_1 = D \frac{1 + \alpha t}{1 + \alpha t'} - D = D \alpha \frac{(t - t')}{1 + \alpha t'}$$

où  $\alpha = 0,00367$  désigne le coefficient de dilatation de l'air.

D = 36 mètres, la différence de niveau entre l'entrée sud (1148 m.) et l'entrée nord (1112 m.)

t la température moyenne de l'air du tunnel,

$t'$  » » de l'air extérieur à Göschenen.

$h_1$  sera ainsi une hauteur génératrice donnée en mètres d'air du tunnel, et l'on déduira la vitesse résultante  $V_1$  par la formule connue d'hydrodynamique :

$$(1) V_1 = \sqrt{2gh_1} = \sqrt{2g} \sqrt{\frac{D\alpha t - t'}{1 + \alpha t'}} = 4,43 \sqrt{\frac{D\alpha t - t'}{1 + \alpha t'}}$$

Pour l'évaluation approximative que nous nous proposons, on

peut regarder  $(1 + \alpha t')$  comme égal à l'unité, et la formule devient ainsi :

$$(1 \text{ bis}) \quad V_1 = 4,43 \sqrt{36 \cdot 0,0037 (t - t')} = 1,5 \sqrt{t - t'}$$

$V_1$  est la vitesse qu'on obtiendrait en l'absence complète de toute résistance au courant d'air. En réalité il n'en est jamais ainsi : car l'air qui circule dans une galerie éprouve d'abord une résistance considérable due au frottement contre les parois. La perte de charge qui en résulte pour le courant est évaluée aujourd'hui, dans les mines, au moyen de la formule de M. Devillez (directeur de l'école des mines de Mons). Voici cette formule qui n'est que la traduction algébrique d'une loi générale d'aérodynamique, et qui donne en millimètres d'eau la perte de charge éprouvée par le courant d'air, qui se meut avec une vitesse  $V$  dans une galerie de longueur  $l$ , de périmètre  $p$ , de section  $s$  :

$$(2) \quad r = k l \frac{p}{s} V^2$$

$k$  est le coefficient de frottement qui a été trouvé par M. Devillez, à la suite d'une série d'expériences et de mesures minutieuses dans plusieurs houillères belges,  $k_1 = 0,0018$  pour l'ensemble d'une houillère et  $k_2 = 0,0004$  pour une galerie en droite ligne, à grande section, maçonnée entièrement, et débarrassée de toute installation encombrante.

Nous serions disposé à appliquer ce coefficient minimum, de 0,0004, au Gothard, s'il s'agissait du frottement seul. Mais le courant doit y vaincre encore une autre résistance due à la dilatation de l'air et au profil longitudinal défavorable à l'aérage naturel. Pour en tenir compte, en l'absence de données bien précises, nous nous contenterons d'élèver le coefficient  $k$  de 0,0004 à 0,0006. Ici encore, on ne pourra nous accuser d'exagération.

La formule (1) nous donne la vitesse théorique  $V_1$ ; il s'agit d'en déduire la vitesse réelle  $V_1$  en tenant compte de toutes les résistances.

Posons (3)  $e = \frac{V}{V_1}$  où  $e$  désigne le coefficient d'effet utile, d'après l'expression heureuse de M. Stapff, soit le coefficient qu'il faut appliquer à la vitesse théorique pour avoir la vitesse réelle.

Nous pouvons poser l'équation suivante :

$$(4) \quad h a = h_1 a - r$$

où  $h$  désigne la hauteur génératrice de la vitesse réelle  $V$   
 $h, \quad \gg \quad \gg \quad \gg \quad \gg$  théorique  $V_1$   
 $r$  la résistance totale ou perte de charge donnée en millimètres d'eau.

Les hauteurs  $h$  et  $h_1$  étant évaluées en mètres d'air du tunnel doivent être multipliées par  $\alpha$ , poids du litre de cet air, pour être exprimées, comme  $r$ , en millimètres d'eau. Cette unité est adoptée de préférence dans les mines, parce qu'elle est inviolable et correspond exactement à la pression de 1 kilogramme par mètre carré.

En remplaçant dans l'égalité (4)  $h$  et  $h'$  en fonction des vitesses correspondantes, et  $r$  par sa valeur tirée de l'égalité (2), il vient

$$(4 \text{ bis}) \quad \frac{V^2}{2 g} a = \frac{V_1^2}{2 g} a - k l \frac{p}{s} V^2$$

$$\text{ou } V^2 = V_1^2 - \frac{2 g}{a} k l \frac{p}{s} V^2$$

$$\text{d'où (5)} \quad e = \frac{V}{V_1} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{2 g}{a} k l \frac{p}{s}}}$$

Pour le Gothard, en particulier, on aura donc :

$$g = 9,807; l = 15000; \frac{p}{s} = 0,6; k = 0,0006$$

Le poids  $a$  d'un litre d'air, à l'altitude de 1130 mètres et à la latitude de 46°10' (moyenne entre les deux embouchures), doit être de 1 g. 294 à 0°, et 0 m 760 de mercure. Sous la pression moyenne observée de 0 m 664, ce poids sera à 0° de 1 g. 294  $\frac{664}{760} = 1$  g. 13. Enfin, à la température moyenne de l'année observée pour l'air du tunnel (16 à 17°) le poids  $a$  sera  $a = \frac{1,13}{1,066} = 1$  g. 06, valeur que nous introduisons dans la formule (5), d'où

$$e = \frac{V}{V_1} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{19,614}{1,066} 15000 \cdot 0,6}} = 0,10$$

Ainsi on peut compter en réalité sur les 10 % de la vitesse théorique. Ce rapport très simple nous paraît celui qui se rapproche le plus de la valeur réelle, laquelle pourra osciller entre 0,08, coefficient plus sévère adopté par M. Stapff, et 0,125 qui s'appliquerait à la résistance due au frottement seul. Ici encore nos calculs, basés sur l'expérience générale des mines, nous rendent plus indulgent que M. Stapff.

Aucune mine, ou galerie de mine ordinaire, n'offre un coefficient d'effet aussi avantageux. Ce résultat est dû, malgré la longueur extraordinaire, à la grande section, à sa forme circulaire et au muraillement complet.

Pour les tunnels des lignes d'accès  $e$  doit être plus faible, et  $k$  plus fort. M. Trautweiler a pris pour ses calculs, d'après M. Pürzl, ingénieur autrichien,  $k = 0,003$ , valeur que nous croyons deux ou même quatre fois trop forte, suivant le profil qui varie beaucoup. Les vitesses réelles du courant, calculées avec  $k$  réduit dans ces proportions, se trouveraient vérifiées par les mesures directes de M. Trautweiler.

Appliquons maintenant au grand tunnel notre coefficient 0,10. La vitesse réelle due à la différence de température entre l'air extérieur et l'air intérieur devient ainsi, d'après (1) :

$$(6) \quad V = 0,1 V_1 = 0,1 \sqrt{2 g D \alpha (t - t')} = 0,15 (t - t')$$

D'après les observations de la compagnie, la différence de température entre l'air extérieur et intérieur varie en hiver entre 16 et 30° C; ainsi la vitesse correspondante variera entre 0 m,60 et 0 m,85. Au printemps et en automne ( $t - t'$ ) varie entre 9 et 16°, donc la vitesse réelle entre 0 m,45 et 0 m,60, en été ( $t - t'$ ) varie de 9 à 0°, la vitesse entre 0 m,15 et 0°. Le renversement du courant par suite du seul excès de la température extérieure, doit être très rare, l'équilibre tendrait plutôt à s'établir, annulant toute cause de mouvement. Il n'y aurait donc pas de ventilation naturelle en été.

Au mont Genis, où la différence de niveau entre les deux embouchures est, depuis le prolongement du côté nord, d'environ 150 mètres, soit plus de quatre fois plus forte qu'au Gothard, les vitesses correspondant aux mêmes différences de température seraient plus que doubles et pourraient varier entre 1 m,30 et 2 m en hiver, de 1 m à 1 m,30 au printemps et en automne. Ainsi, sous ce rapport, il est incontestable que la ventilation du

mont Cenis offre des conditions deux fois plus favorables que celle du Gothard. D'ailleurs si la différence de température entre l'air extérieur et intérieur était la seule cause naturelle de mouvement, nous pourrions nous dispenser d'aller plus loin : l'insuffisance du courant ventilateur qui en résulterait pour le grand tunnel du Gothard saute aux yeux, d'après les chiffres ci-dessus.

Mais M. Stapff a insisté avec raison, pour ce souterrain, sur l'influence prépondérante de la seconde cause de mouvement, due, selon lui, à la différence qui existe entre les densités de l'air extérieur aux deux embouchures. (Nous aimons mieux l'attribuer à la différence de tension qui comprend, outre la différence de densité, d'autres influences que nous ne saurions regarder comme négligeables.) Cette cause est sans influence sensible sur la ventilation d'une mine profonde dont les puits sont ordinairement très rapprochés. Dans ce cas, elle fera tout au plus osciller les vitesses journalières autour de la moyenne due à la première et principale cause. On peut encore la négliger lorsqu'il s'agit de la ventilation des tunnels de longueur ordinaire, n'excédant pas 2000 mètres, et à fortes rampes. Son influence est même nulle pour les tunnels hélicoïdaux dont les deux orifices se trouvent sur la même verticale. C'est pourquoi, au tunnel du Pfaffensprung, par exemple, l'observation vérifie exactement la théorie. La température intérieure étant de 15° C. en moyenne, M. Trautweiler a en effet observé que lorsque l'air extérieur a la même température, le courant s'arrête complètement; qu'il est montant lorsque la température de l'air extérieur reste au-dessous de 15°, ne fût-ce que d'un demi-degré, et descendant lorsqu'elle est supérieure à 15°. La pente est du reste toujours dans le même sens dans ces galeries en hélice; elle n'a pas d'angle mort pour la ventilation dans leur profil en long, comme les grands tunnels à double pente.

Pour ces derniers, au contraire, les deux entrées présentent des différences de température et de pression atmosphérique notables, dont l'action s'exerce tantôt dans le même sens que celle de la première cause de ventilation, tantôt dans le sens contraire. Les deux causes peuvent ainsi se renforcer mutuellement, ou se détruire, en tout ou en partie. C'est grâce à la faiblesse de la différence de niveau entre les deux entrées, et grâce à la distance considérable qui les sépare, que l'action de la seconde cause devient ici prépondérante. M. Stapff a donc raison d'insister sur ce point, méconnu par d'autres auteurs; mais, à son tour, il nous paraît exagérer cette nouvelle influence. Les observations thermométriques et barométriques, continuées jour par jour<sup>1</sup> en 1881, à Gœschenen et à Airolo, et dans l'intérieur du tunnel, ont servi de base à M. Stapff pour l'évaluation approximative de la dépression totale, due aux deux causes réunies, et de la vitesse moyenne du courant d'air qui en résulte pour le tunnel achevé. D'après la formule

$$d = \frac{1 g.,29 \times b}{760 (1 + 0,00367 t)} = \frac{0,0017 b}{(1 + 0,00367 t)}, \quad (\text{où } t \text{ désigne la température et } b \text{ la pression atmosphérique}),$$

M. Stapff calcule d'abord pour chaque jour de l'année les densités  $d'$  et  $d''$  que

<sup>1</sup> M. Stapff ne nous dit pas s'il s'agit d'une seule observation faite chaque jour à la même heure, ou d'une moyenne journalière entre plusieurs observations.

l'air possède aux deux embouchures. Puis, par la seconde formule  $V = \mu 281,8 \sqrt{d' - d'' + 0,00032}$  dont les constantes ne sont directement valables que pour le grand tunnel du Gothard, » M. Stapff déduit les vitesses moyennes du courant pour chaque jour, en donnant au coefficient d'effet utile la valeur  $\mu = 0,08$  (inférieure à la nôtre). Le terme 0,00032 sous le radical tient compte de la différence de densité entre l'air extérieur et intérieur, d'après une moyenne annuelle qui prête bien à la critique. Mais nous avons une objection plus importante à faire à la formule de M. Stapff, c'est que son auteur ne nous explique pas du tout de quelle manière il a évalué la hauteur commune des deux colonnes, soit la hauteur sur laquelle doit porter la différence de densité. D'après la formule, elle devrait être d'environ  $\frac{(281,8)^2 1,1}{2 g} = 4454$  mètres.

Or, cette hauteur ne peut être évaluée avec certitude, pas même approximativement. Un pareil calcul ne peut s'appuyer sur aucune loi physique ou météorologique nettement établie et reconnue. Si M. Stapff croit avoir découvert une loi de ce genre, ne fût-ce que pour Airolo et Gœschenen, il serait très intéressant de la faire connaître. En attendant, il nous sera permis de préférer une méthode beaucoup plus simple et plus sûre qui n'a besoin d'aucune hypothèse problématique.

En effet l'excès de tension, qui est la cause réelle de l'aérage naturel, s'obtient directement en retranchant de la hauteur du baromètre observée à Gœschenen (et réduite à zéro) la hauteur correspondante d'Airolo, plus le poids par unité de surface de la colonne d'air contenue dans le tunnel. On aura ainsi la surpression (ou dépression) totale, due aux deux causes de mouvement réunies. Pour en déduire la vitesse résultante en mètres par seconde, les deux hauteurs barométriques réduites à zéro  $b'$  et  $b''$  qui sont données en millimètres de mercure (dont la densité est 13,596) doivent être exprimées en mètres d'air, ayant la densité moyenne de l'air contenu dans le tunnel, soit par une hauteur génératrice équivalente du fluide qui s'écoule. La pression exercée par unité de surface par la colonne d'air contenue dans le tunnel se trouvera alors exprimée simplement par le chiffre 36<sup>m</sup>, qui mesure la différence de niveau entre les deux entrées. La formule qui nous a servi à calculer les hauteurs génératrices et les vitesses moyennes journalières devient ainsi simple :

$$(7) V = e \sqrt{2 g h} = 0,443 \sqrt{h} = \\ 0,443 \sqrt{(b' - b'') \frac{13,6}{a}} - 36, \quad \text{où } e = 0,10 \text{ désigne toujours le coefficient d'effet, donné plus haut par la formule (5); } a \text{ désigne le poids du litre d'air du tunnel qui varie constamment, mais qu'on peut très bien regarder comme constant pendant un mois, dans les limites d'approximation que nous ne pouvons dépasser. Les valeurs négatives de } h \text{ doivent être interprétées ici d'après la règle de Descartes, soit comme hauteurs génératrices d'un courant dirigé du sud au nord, tandis que les valeurs positives caractérisent le courant normal nord-sud.}$$

L'écart barométrique ( $b' - b''$ ), obtenu directement, se compose de l'écart normal  $b$  dû à la seule différence de niveau et de l'écart accidentel ( $b' - b'' - b$ ). Nous avons tenu à donner dans nos tableaux séparément le premier élément presque constant, et le second qui varie sans cesse. Il est ainsi plus

facile de faire la part de chacune des deux causes de mouvement : en mètres d'air, la hauteur génératrice due à la première est représentée par  $(b \frac{13,6}{a} - 36)$ ; et celle qui est due à la seconde par  $(b' - b'' - b) \frac{13,6}{a}$ .

Leur somme algébrique donne la dépression totale  $h$  de la formule (7) qui détermine la vitesse réelle ou du moins sa moyenne journalière. Les variations brusques de cette vitesse deviennent, grâce à la prépondérance de la seconde cause, la règle plutôt que l'exception; notre épure indique bien cette tendance qu'elle n'exagère nullement. Cette irrégularité persiste à travers toutes les saisons, ainsi que le montrent nos tableaux de calcul pour février et août. Celui du mois d'avril a été calculé de la même manière; nous avons préféré en donner la représentation graphique, avec les courbes barométriques et thermométriques correspondantes. Les causes d'oscillation, ou d'annulation réelle du courant sont plus visibles sur le dessin. Les écarts thermométriques qui n'entrent pas directement dans notre calcul, sont la cause principale de l'écart barométrique (accidentel) correspondant, mais non la seule, car la pression atmosphérique mesurée par le baromètre dépend à la fois de la température, de l'état hygrométrique de l'air, et enfin de perturbations atmosphériques très variables et très complexes dont la météorologie cherche l'explication, sans pouvoir nous en donner une évaluation précise.

Le baromètre nous donne justement la tension de l'air qui résulte de l'ensemble de toutes ces diverses causes à un moment donné, et la différence entre les tensions qu'il nous donne ainsi pour les deux embouchures détermine l'intensité du courant d'air, au lieu de la seule différence de densité ou de température, ainsi que la formule de M. Stapff et celle de M. Pürzl (citée par M. Trautweiler) le supposent. Donc ces méthodes sont à la fois plus compliquées et moins sûres que la nôtre.

Nous n'avons d'ailleurs aucune prétention à l'exactitude rigoureuse qu'il est impossible d'atteindre par le calcul en pareille matière. La vitesse, à un moment donné, sera toujours influencée par le mouvement des trains, par les vents extérieurs, etc., et son évaluation précise échappera toujours à un calcul basé sur les seules observations météorologiques.

Tout ce que nous avons cherché par ces longs calculs, ce sont des moyennes mensuelles qui ne s'éloignent pas trop de la vérité. Notre but est de combattre les illusions dangereuses que pourraient donner les beaux résultats de M. Stapff et leur groupement qui dissimule au lecteur pressé la véritable moyenne. En effet, M. Stapff évalue séparément la belle moyenne des beaux jours de ventilation, en divisant la somme par le nombre de ces beaux jours; puis, après avoir admis lui-même que le courant s'annule en réalité dans la partie centrale pour les jours de courant oscillant, il n'en donne pas moins la moyenne apparente calculée, comme moyenne des plus mauvais jours. Or la vitesse d'un courant annulé ne peut être que zéro, au point de vue pratique où nous nous plaçons. Si l'on nous trouve trop sévère pour avoir retranché de la somme théorique des vitesses la somme totale des vitesses apparentes des jours à «courant annulé», nous ferons remarquer que parmi les jours «oscillants» de M. Stapff nous n'avons retranché que les chiffres relatifs aux plus suspects. Et les arrêts

plus courts mais inévitables, même pendant les beaux jours de ventilation, que nous devons négliger en l'absence de données précises, compenseront et au delà les bonnes heures des mauvais jours.

On trouvera, réunies dans un petit tableau, nos moyennes réelles qui résultent de nos trois tableaux mensuels, et obtenues en déduisant des moyennes théoriques ou apparentes les chiffres qui se rapportent aux jours d'annulation. Nous avons mis en regard les moyennes de M. Stapff des beaux jours que nos vitesses maximales parviennent à peine à effleurer. (Voir l'épure.) Nous donnons séparément, comme M. Stapff, les moyennes des deux courants nord et sud, et de plus la moyenne générale qui comprend les deux courants également utiles, en tenant compte du nombre de jours qui correspondent à chacune des directions. Ce petit tableau montre que la moyenne mensuelle sur laquelle on peut compter ne dépasse guère 1<sup>m</sup>,35 en hiver et 1 m. en été, tandis que 2 m. est la vitesse nécessaire à une bonne ventilation dans les conditions actuelles de trafic qui ne tarderont pas à être dépassées à leur tour.

#### Vitesses moyennes calculées

	PAR M. STAPFF		D'APRÈS NOTRE MÉTHODE		
	Nord	Sud	Nord	Sud	Générale
Février ...	2 <sup>m</sup> 29	2 <sup>m</sup> 49	1 <sup>m</sup> 06	1 <sup>m</sup> 39	1 <sup>m</sup> 32
Avril .....	2 <sup>m</sup> 67	2 <sup>m</sup> 11	1 <sup>m</sup> 30	1 <sup>m</sup> 17	1 <sup>m</sup> 22
Août .....	2 <sup>m</sup> 53	0 <sup>m</sup> 94	1 <sup>m</sup> 20	0 <sup>m</sup> 81	1 <sup>m</sup> 00

Moyenne des trois mois, 1<sup>m</sup>18.

On nous dira peut-être que M. Stapff appuie ses chiffres plus encourageants sur une série de mesures anémométriques continuées pendant vingt-quatre heures, du 18 au 19 février 1882. Mais ces mesures, qui ne s'étendent qu'à un seul jour de l'année et à un seul point du tunnel, ne peuvent être regardées comme une base expérimentale suffisante. En effet, en ce jour-là, la moyenne a pu être influencée par les vents extérieurs et des circonstances atmosphériques très favorables. De plus, la vitesse mesurée au centre d'une galerie ne représente pas la véritable moyenne qui n'en est que les 0,75 à 0,85. Enfin, les ingénieurs qui se sont le plus occupés de ces mesures de vitesse dans les mines (en particulier MM. Aguillon, Murgue, Fumat) font remarquer que tout anémomètre indique une vitesse un peu exagérée, par suite du mode de graduation de l'instrument qu'on fait tourner à cet effet dans un air en repos. En général, les mesures anémométriques doivent toujours être interprétées avec beaucoup de prudence, et l'absence d'explication de M. Stapff à cet égard nous laisse bien des doutes. Une série de mesures anémométriques, continuées pendant un ou plusieurs mois, et sur plusieurs points du tunnel à la fois, en se servant de préférence de l'anémomètre enregistreur Bourdon récemment inventé, vaudrait mieux que tous les calculs, à condition d'être exécutée et interprétée avec beaucoup de soin et de précautions.

En attendant, nous devons, pour combattre les résultats optimistes de M. Stapff, obtenus par sa formule nouvelle, nous appuyer sur nos calculs qui reposent eux-mêmes sur des lois physiques reconnues partout, et dont nous avons banni avec soin toute exagération. Or, d'après les résultats de ces calculs, nous regardons la ventilation due aux causes naturelles

*comme insuffisante en toute saison, dans les conditions actuelles de l'exploitation.* Et elle deviendra de plus en plus insuffisante, c'est-à-dire que l'atmosphère du tunnel se viciera de plus en plus, à mesure que le trafic ira en augmentant. La situation a pu être très tolérable pendant la première année d'exploitation modérée, mais aujourd'hui il serait temps d'aviser.

M. Stapff fait observer lui-même que la moyenne mensuelle ne doit pas être considérée à elle seule ; mais qu'il suffit d'un arrêt complet de ventilation de quatre jours, qui se serait produit deux fois dans les conditions météorologiques observées en 1881, pour que l'atmosphère devienne presque irrespirable. La composition du mélange qu'il nous donne pour le quatrième jour d'arrêt ne justifie que trop cette crainte. Avec 2,12 % d'acide carbonique, et 1,11 % d'oxyde de carbone, un mélange gazeux, s'il n'est pas irrespirable dans le sens absolu du mot, est du moins éminemment toxique et capable de produire des effets foudroyants, surtout si l'on tient compte de la répartition inégale des gaz nuisibles dans l'air stagnant de la partie centrale. Et le seul remède proposé par M. Stapff, « d'arrêter l'un ou l'autre des trains de marchandises, » n'est point à la hauteur du danger. C'est après deux jours d'absence de courant utile, au plus tard, qu'il faudrait arrêter tous les trains, et s'il plaisait au baromètre de se montrer rebelle pendant un 3<sup>e</sup>, 4<sup>e</sup>, 5<sup>e</sup> jour peut-être, l'exploitation devrait être complètement interrompue pendant ce temps, sous peine d'accident grave. Sans parler de la gêne et de la perte qui en résulterait pour une grande ligne internationale, l'effet moral d'une pareille mesure, lors même qu'elle arriverait à temps, serait déplorable.

Nous ne comprenons point la « tristesse » de M. Stapff au sujet de la dépense qu'un ventilateur pourrait coûter à la puissante compagnie du Gothard. Il nous paraîtrait bien plus triste de voir cette compagnie, qui possède aux abords du tunnel une force hydraulique gratuite, et sans autre emploi, de 2000 chevaux, désarmée devant une pareille éventualité, et incapable de fournir de l'air respirable à ses voyageurs et à ses employés, dans un pays qui passe pour avoir l'air le plus pur du monde.

#### Traction électrique et à air comprimé.

Rendons justice à la compagnie du Gothard : elle s'est préoccupée depuis longtemps de la question, mais elle a cherché la solution un peu loin peut-être. Elle a consulté deux grands spécialistes dont les journaux scientifiques français nous ont communiqué l'avis : d'abord M. Siemens à Berlin, le héros du jour, qui a proposé un système de traction électrique pour le grand tunnel. Le journal, *la Nature*, de Paris, et le beau volume de Maxime Hélène, les *Routes du globe*, ont donné des détails intéressants sur ce projet. Mais quelque séduisant qu'il puisse paraître, on ne saurait en vouloir à la compagnie de s'être refusée à offrir une ligne internationale comme champ d'essai à un système qui n'a pas encore fait ses preuves sur une grande échelle. Les chemins de fer électriques ont sans doute de l'avenir, mais ils ne sont pas mûrs pour de pareilles conditions. Ils nous paraissent plutôt appelés à transporter un grand nombre de convois légers, se succédant rapidement, qu'à traîner de lourdes marchandises dans des conditions pratiques et économiques.

La compagnie s'est ensuite adressée à M. Mekarsky, à Paris, l'inventeur et le promoteur des tramways à air comprimé. L'habile ingénieur, plus compétent que personne en pareille matière, a reconnu lui-même <sup>1</sup> l'impossibilité économique d'une solution exclusive par locomotives à air comprimé. En effet, le poids mort que représenterait le réservoir d'air avec ses trucs et accessoires, pour un train de marchandises devant remorquer 400 tonnes, serait de près de 200 tonnes. M. Mekarsky propose en revanche une solution mixte, au moyen de locomotives ordinaires alimentées par un mélange de vapeur et d'air comprimé, ce qui réduirait la consommation de charbon de moitié. Ce système, qui pourra rendre de grands services dans d'autres circonstances, ne serait ici qu'une demi-solution qui exigerait toujours un auxiliaire, à cause de l'irrégularité de l'aérage naturel, sans parler d'autres difficultés pratiques.

Le système de M. Gonin, ingénieur en chef des ponts et chaussées, utilise bien mieux l'air comprimé, et dispenserait ici de toute consommation de combustible. A nos yeux, c'est le mode particulier de traction qui s'appliquerait le mieux aux grands tunnels avec leurs compresseurs tout prêts. Nous n'avons pas à faire la description de ce système ingénieux, connu de tous nos lecteurs. Mais nous ne pouvons pas nous empêcher d'exprimer notre regret de ne pas le voir appliqué en Suisse, et qu'on n'y ait pas même songé pour résoudre le problème qui nous occupe. Il serait cependant facile de l'adapter à ce cas particulier, et de l'étendre même à toute la section de montagne où il remplacerait avec avantage la seconde locomotive. Dans le grand tunnel on pourrait ainsi éviter entièrement l'emploi de la vapeur.

Pour le moment, la compagnie s'est contentée d'une mesure beaucoup plus modeste dont nous avons déjà parlé, soit d'une petite provision d'air comprimé dans laquelle le chauffeur et le mécanicien puissent au besoin pour leur sécurité personnelle. Cette mesure est excellente, mais personne ne la regarde comme un moyen de ventilation générale. Il en est de même des chambres de refuge, avec conduite et robinets à air comprimé : mesure d'autant plus nécessaire, comme le dit très bien M. Stapff, qu'on ne songe pas à une solution plus radicale. D'autre part, cette dernière, du moins celle que nous proposerons, ne coûterait pas plus cher d'entretien et d'amortissement que l'entretien seul des compresseurs et des conduites. En attendant, il est hors de doute que ceux-ci sont indispensables et qu'ils ont empêché plus d'un malheur au mont Cenis. Mais les praticiens qui savent comment se produisent dans les mines les cas d'asphyxie et d'intoxication, quelquefois foudroyants, ne verront là qu'une sécurité assez précaire. Nous sommes donc d'accord avec M. Stapff sur ce point, ainsi que sur l'effet à peu près nul des gigantesques cloches d'aspiration que M. Gerwig avait imposées à M. Favre, et qui devaient produire une ventilation supérieure à celle de toutes les mines du globe ! Elles seraient aussi insuffisantes et antiéconomiques aujourd'hui que pendant le percement.

Ces appareils sont abandonnés depuis longtemps dans les mines.

<sup>1</sup> Voir l'article de M. Mekarsky dans le *Génie civil* du 15 mai 1882.

### Foyers et puits d'aérage.

Du moment qu'on conserve la traction par locomotives ordinaires avec ses avantages incontestables, et ses inconvénients examinés plus haut, il faut songer aux *moyens de ventilation* proprement dits, et les premiers qui s'imposent à l'examen sont les auxiliaires thermiques de l'aérage naturel. Le plus connu et le plus puissant de ces moyens est le foyer d'aérage qui fournit aux grandes houillères du nord de l'Angleterre des volumes d'air de 150 m<sup>3</sup> par seconde et au delà. Mais pour être avantageux, ce moyen exige une mine large et profonde. La première condition est remplie par le tunnel du Gothard, supérieur par sa grande section aux plus belles mines anglaises, c'est-à-dire qu'il présente le plus grand coefficient d'effet; mais la profondeur qui fournit le second facteur de l'aérage devrait être créée encore par un ou deux puits. Et après cette dépense, il faudrait, pour que le principal facteur d'aérage, la différence de température, restât toujours suffisant, brûler jusqu'à 10 et 15 tonnes de houille, à plus de 40 fr. la tonne, par jour. Ces chiffres suffisent pour tourner la page, sans parler de l'inconvénient d'une pareille élévation de température, certes peu désirable.

Aussi M. Pressel propose-t-il, dans sa brochure citée plus haut, le contraire d'un foyer : il conseille de foncer des puits aux deux extrémités du tunnel, et au lieu de diminuer la densité de l'air dans un de ces puits en l'échauffant au moyen d'un foyer, d'augmenter au contraire la densité de l'autre puits, en le refroidissant au moyen d'un courant d'eau. M. Pressel espère obtenir ainsi une différence de 10° centigrades, même en été, entre les deux colonnes d'air correspondant aux deux puits, différence qui suffirait à l'aération nécessaire (selon M. Pressel) et à un rafraîchissement de l'air en toute saison. Mais pour que cette différence de 10° au minimum (qu'il ne serait point facile de maintenir en été) produisit le courant nécessaire de 2 mètres par seconde, indépendant des coups de baromètre, il faudrait que la profondeur des deux puits fût de 500 mètres et leur diamètre de 6 à 7 mètres. Ce serait une dépense d'un demi-million, au meilleur cas. Pour le Gothard en particulier, un puits dans le terrain aquifère du côté d'Airolo pourrait coûter à lui seul un ou plusieurs millions. Quant à l'eau pour rafraîchir, elle ne manquerait pas : le tout serait de la contenir et de l'éviter pour l'autre puits. Après avoir dépensé des millions pour se défendre contre cette eau pendant le fonçage, il faudrait encore lui creuser une galerie spéciale d'écoulement. On avouera que le rafraîchissement obtenu ainsi serait payé bien cher. D'ailleurs le grand tunnel du Gothard n'a plus un besoin réel d'abaissement de température ; de février à juin 1882, la moyenne de la température intérieure a varié entre 14° et 18° centigrades, et le maximum dans la partie centrale entre 20°,1 et 21°,8. (Rapport trimestriel du Conseil fédéral N° 39, page 50.) Cette chaleur n'a rien d'effrayant<sup>1</sup>.

En revanche un puits d'aérage serait d'un grand secours pour la ventilation d'un long tunnel pendant son percement et rendrait encore des services pendant l'exploitation. Envi-

sagée sous ce double point de vue, la mesure est sage et même économique. C'est sans doute dans ce sens que doit être interprétée la pensée de M. Pressel, rendue incomplètement dans quelques journaux. L'utilité d'un puits d'aérage, foncé dès le début, sera d'autant plus grande que la température intérieure du tunnel sera estimée plus élevée, mais encore faut-il que la nature et le profil de la montagne s'y prête, et que l'emplacement du puits soit bien choisi pour qu'il devienne économiquement possible. Enfin, pour être efficace comme moyen de ventilation, il doit être aussi large, aussi profond et surtout aussi central que possible. Des puits très rapprochés des extrémités auraient bien peu d'effet, et coûteraient toujours plus cher qu'ils ne vaudraient pour l'aérage. Au Gothard il eût été très difficile, même impossible, de réaliser ces conditions, et un puits de ventilation, désirable peut-être pendant le percement, aurait coûté sans doute de grands sacrifices en hommes et en argent.

Avec le nouveau projet du Simplon, où les questions de température et d'aérage joueront un rôle plus important encore qu'au Gothard, un des deux puits prévus (dont les conditions : chute d'eau disponible, profondeur, nature de la roche, etc., ont été étudiées d'avance avec beaucoup de soin) pourra devenir un immense bienfait pour les ouvriers, et un bienfait qui ne sera point perdu pour la compagnie ni pour l'entreprise générale éventuelle.

Nous raisonnons d'abord dans l'hypothèse d'un puits unique d'une profondeur de 700 mètres, à 5 ou 6 kilomètres d'une des entrées, d'après les données mêmes du projet, d'un diamètre de 5 à 6 mètres, et entièrement maçonné. Les chiffres que nous donnons plus loin pour la vitesse du courant d'air et qui figurent sur notre épure, comme points de comparaison, doivent être rapportés à cette hypothèse pour avoir droit à l'exactitude, toujours relative, cela va sans dire.

Au point de vue du meilleur effet utile d'aération, deux grands ventilateurs mécaniques pourraient remplacer avec avantage et grande économie un second puits qui atteindrait près de 1000 mètres et nécessiterait une seconde installation complète avec machines d'extraction et d'épuisement. La grande difficulté dans les fonçages sera toujours l'eau, surtout lorsqu'elle est accompagnée d'un terrain peu solide. C'est elle, bien plus que la dureté de la roche, qui fait varier le prix du mètre courant de fonçage entre 300 et 20 000 francs.

L'étude très complète des divers profils du Simplon par quatre géologues de réputation européenne, MM. les professeurs Renevier, Lory, Heim et Taramelli, permettra d'éviter les terrains désavantageux. Mais il est impossible d'éviter l'eau entièrement et à coup sûr. Si l'on devait en rencontrer beaucoup, on trouverait probablement de l'avantage à suivre le système adopté par M. Breton, à Sangatte, soit de foncer deux puits jumeaux séparés seulement par un faible massif de 15 à 20 mètres : l'un, le principal, à grand diamètre, et l'autre, à dimensions beaucoup plus réduites, qui précéderait toujours le premier pendant le fonçage et servirait à l'épuisement et à l'aérage du puits principal dont le fonçage isolé pourrait devenir assez pénible, à cause de la température élevée. M. Breton a trouvé que, dans le cas de sources d'eau importantes, deux puits jumeaux coûtent moins cher que le fonçage d'un seul puits devant réunir tous les services. Cette manière de voir

<sup>1</sup> Si elle paraît néanmoins pénible à supposer, cela prouve encore l'insuffisance de la ventilation.

nous paraît justifiée, surtout dans le cas où il s'agit d'une exécution rapide et de perforation mécanique. (Cette dernière exige aussi un grand diamètre.) Au Simplon, cette disposition aurait un autre avantage important : c'est que le puits d'épuisement, nécessairement plus humide et plus froid, servirait pendant toute la durée du percement à l'entrée de l'air frais, tandis que le grand puits, maintenu sec et chaud, serait consacré uniquement à l'aspiration de l'air vicié et dilaté. (C'est l'idée de M. Pressel, réalisée plus sûrement et bien plus avantageusement que par des puits placés aux deux extrémités.) On pourrait ainsi, tout en réservant l'air comprimé aux chantiers d'avancement<sup>1</sup>, établir un circuit complet, l'air frais entrant par le petit puits et la galerie de base pour revenir à travers la cheminée la plus avancée et la galerie supérieure, vers le grand puits d'aspiration ; la partie achevée du tunnel serait partagée en deux par un diaphragme (prévu dans le projet de M. Meyer) pour maintenir la séparation indispensable entre le courant d'air frais entrant et le retour de l'air vicié. Quelques dispositions, d'ailleurs très simples, seraient peut-être nécessaires pour assurer cette séparation à travers toutes les phases du percement. En activant plus tard le mouvement de l'air par un ventilateur aspirant placé au haut du puits (dès que la force motrice employée d'abord à l'extraction des déblais et à l'épuisement sera devenue disponible) on pourrait obtenir non seulement la pureté de l'atmosphère dans tous les travaux, mais encore un abaissement progressif de température qui se ferait au fur et à mesure du percement<sup>2</sup> et qui pourrait être de 5 à 10° C. au-dessous de la température primitive de la roche. Nous ne voyons pas d'autre moyen vraiment efficace de lutter contre la température. Enfin, on abaisserait du même coup le degré d'humidité qui rend la chaleur doublement malsaine et insupportable. A l'aide des deux puits jumeaux (qui, à la rigueur, pourraient être remplacés par un seul puits à compartiment dans un terrain sec), de deux grands ventilateurs à force centrifuge placés l'un au sommet du grand puits, l'autre à l'extrémité du tunnel qui en est le plus éloignée, on arrivera, pendant le percement, à des conditions d'aérage et de salubrité bien meilleures qu'au Gothard, malgré une température de la roche plus élevée au début. Pendant l'exploitation régulière du tunnel, le grand puits suffirait à lui seul à donner au courant d'air la vitesse nécessaire pendant six à huit mois de l'année. Au mois d'avril (voir l'épure), elle serait encore de 2<sup>m</sup>,80, au moins les premiers temps, car peu à peu cette vitesse ira en diminuant avec la température intérieure maximale. Pendant les mois d'été, l'aérage sera moins intense et souvent insuffisant. Comme c'est le moment le plus pénible à passer, la compagnie préférera sans doute conserver un des ventilateurs utilisés pendant le percement. Avec son concours et le puits projeté, on pourra non seulement suffire à la ventilation de ces

<sup>1</sup> A la pression modérée et dans la large mesure si sagement prévue par M. l'ingénieur en chef Meyer, et avec le secours d'un injecteur Körting qui utilise la compression de l'air à l'entraînement des gaz de la dynamite.

<sup>2</sup> Au Gothard, cet abaissement n'a eu lieu qu'après l'achèvement du tunnel. Entre les profils 7300 N. et 6500 S., la température de l'air était, le 8 juillet 1881, encore de 30°,4; le 24 août suivant, de 28°,9; le 3 septembre, de 27°,4; et le 1<sup>er</sup> novembre, après l'enlèvement des boisages et l'achèvement complet, de 20°,5, la même température qu'en avril et mai 1882. (Voir la première page du mémoire de M. Stappf.)

vingt kilomètres de tunnel, au milieu de l'exploitation la plus active qu'on puisse imaginer, mais on obtiendra encore un abaissement progressif de température, qui placera le tunnel du Simplon en peu de mois dans les mêmes conditions thermiques que celui du Gothard, malgré la différence probable entre les températures initiales.

Ainsi, pour les tunnels futurs, et dans les conditions et limites que nous venons d'indiquer, un puits d'aérage peut offrir de grands avantages pendant et après le percement. Mais pour un tunnel complètement achevé, comme celui du Gothard, cette solution, incomplète par elle-même, serait à nos yeux une véritable folie économique.

#### La ventilation mécanique.

Avec la traction par locomotives ordinaires, il n'y a aujourd'hui, pour le Gothard comme pour le mont Cenis, qu'une solution certaine, à la fois complète et économique. C'est celle que M. Frescot a le premier proposée en 1871, avant l'inauguration définitive du mont Cenis, dans un beau mémoire qui prévoyait et précisait d'avance toutes les difficultés, et que M. de Kossuth réclamait en 1881, après dix années d'exploitation, en démontrant à la fois sa nécessité et son efficacité : *l'installation d'un grand ventilateur aspirant à force centrifuge près de l'embouchure méridionale*. Celle-ci serait fermée au moyen d'une porte mobile que le train ouvrirait à son passage et refermerait de même, au moyen d'une disposition facile à imaginer, car le tunnel ne doit communiquer avec l'atmosphère qu'à travers le ventilateur. L'ouïe centrale de ce dernier communiquerait avec l'extrémité en courbe du tunnel au moyen d'une galerie latérale, à grande section, mais dont la longueur n'aurait pas besoin de dépasser 15 à 25 mètres. Cependant à Airolo (comme à Bardonnèche) il serait peut-être plus avantageux d'utiliser la galerie rectiligne percée en premier lieu, malgré sa longueur exagérée de 140 mètres, les installations hydrauliques se trouvant de ce côté. On pourrait encore percer une galerie en droite ligne qui relierait directement les deux extrémités sud.

Ne nous arrêtons pas à discuter cette question secondaire, qui ne peut être résolue que sur place, par les premiers intéressés. (Il importera toutefois de protéger l'appareil contre l'action directe des coups de fohn.) Du reste, notre intention n'est pas de présenter ici un projet complet de ventilateur avec tous ses détails d'installation et de construction. Il nous suffira de démontrer que des appareils connus et expérimentés depuis des années dans les mines possèdent bien la puissance qu'exige l'aération du tunnel du Gothard, et au delà. Tout ce qu'il faut demander à un aspirateur à force centrifuge, c'est de fournir, en marche normale, la dépression capable de faire circuler par seconde, dans une galerie ou mine donnée, le volume d'air nécessaire à la dilution des gaz nuisibles. Le rapport du volume d'air qui doit circuler par seconde, à la racine carrée de la dépression à créer, ne dépend point de l'appareil, mais des résistances de frottement, etc., que la galerie ou la mine oppose au courant. C'est pourquoi ce rapport constant  $\frac{q}{\sqrt{h}} = \frac{V}{\sqrt{h}}$  caractérise une mine, ou plus exactement une galerie de mine, et s'appelle en Belgique son « tempérament mécanique. »

Nous avons trouvé, dans la première partie de cette étude, que l'énergie ou la vitesse  $V$  du courant d'air nécessaire au Gothard est aujourd'hui de 2 mètres par seconde, ainsi le volume d'air qui doit être aspiré par seconde,  $q = 82 \text{ m}^3$ , pour une section moyenne  $s = 41 \text{ m}^2$ . Il nous reste à évaluer la dépression à créer par le ventilateur ou la résistance qu'il devra vaincre pour donner réellement ce courant de 2 mètres. Cette dépression, faisant équilibre à la résistance  $r$ , s'obtient en millimètres d'eau, ou en kilogrammes par mètre carré, au moyen de la formule (2) de M. Devillez, employée déjà précédemment :

$$(2) r = k l \frac{p}{s} V^2 \text{ où } \begin{cases} l = 15000 \text{ m.} \\ \frac{p}{s} = 0,6 \\ k = 0,0004. \end{cases}$$

Pour la valeur du coefficient  $k$ , on peut descendre ici au minimum 0,0004, puisqu'il s'agit de ventilation mécanique, et que nous tiendrons compte séparément de la contre-pression éventuelle due aux causes naturelles. Si l'effet de ces dernières était nul, les valeurs ci-dessus, substituées dans la formule (2), donneraient :

$$\text{pour } V = 2^{\text{m}} \therefore r = 0,0004 \cdot 15000 \cdot 0,6 \cdot 4 = 14,4 \\ \text{et pour } V = 4^{\text{m}} \therefore r = 0,0004 \cdot 15000 \cdot 0,6 \cdot 16 = 57,6$$

La plus forte contre-pression au courant nord-sud que nous ayons constatée dans nos calculs (et encore c'est une exception qui doit se produire bien rarement) est de 45 mm. d'eau, et correspond sur notre tableau à la date du 15 février. En demandant au ventilateur une dépression réelle de  $45 + 14,4$  ou de 60 mm. en chiffre rond, on pourra donc compter sur une vitesse minimum de 2 m. par seconde, pour les jours les plus défavorables, et sur une moyenne d'environ 4 m. Pour les jours où l'action des causes naturelles est nulle, ou s'exerce dans le même sens que celle du ventilateur, la vitesse résultante montera à 4 m. et audelà. C'est plus qu'on ne lui demande actuellement; mais les changements si fréquents et si brusques de la ventilation naturelle exigent une force supérieure qui la tienne en respect, et qui permette de dormir tranquille, malgré tous les soubresauts du baromètre. Si l'on ne songeait qu'au présent, on pourrait à la rigueur se contenter d'un appareil moitié moins puissant qu'on arrêterait simplement lorsque la contre-pression due aux causes naturelles devient trop forte. Une dépression de 33 mm. d'eau suffirait dans ce cas, et donnerait toujours une vitesse moyenne de près de 3 m. C'est celle que nous avons indiquée sur l'épure du mois d'avril, et elle suffirait sans doute pour les premières années. Mais nous avons en vue le brillant avenir de la ligne du Gothard, car le mouvement commercial ne peut que se développer d'année en année entre l'Italie et l'Allemagne. Or, avec un ventilateur donnant une dépression de 60 mm., le tunnel sera encore bien aéré pour un mouvement de 20 à 25 trains par jour dans chaque direction, mouvement qui ne sera pas dépassé de sitôt. Ce résultat peut être facilement obtenu avec un bon ventilateur Guibal.

Le travail utile de ventilation s'évalue en multipliant la pression totale  $rs$  exercée réellement sur toute la section du tunnel, par la vitesse  $V$ , ou bien encore, puisque  $rs V = rq$ , en multipliant la dépression réelle  $r$  par le volume d'air  $q$  débité (aspiré) en une seconde. Ainsi, pour le Gothard, le travail utile

devrait être pour une vitesse de 4 m. ou un volume  $q$  d'environ  $164 \text{ m}^3$  par seconde,  $T = 60 \cdot 164 \text{ kgm.} = 9840 \text{ kgm.} = 131$  chevaux. Le travail effectif à demander à deux turbines serait de 250 à 300 chevaux au plus; c'est un emprunt bien modeste que nous demandons aux forces hydrauliques disponibles et gratuites à Airolo qui dorment depuis l'achèvement du tunnel. Une des belles turbines d'Airolo (de 200 chevaux) suffirait largement aux besoins actuels, et plus tard on pourrait lui adjoindre une turbine de renfort de 100 chevaux au plus, qui permettrait aussi de réparer l'autre, en cas d'avarie, sans arrêt complet. Si l'on préférerait d'emblée renoncer pour toujours à une vitesse moyenne supérieure à 3 m., le travail utile ne serait plus que de  $33 \times 123 \text{ kgm.} = 59$  chevaux et le travail effectif à demander à la turbine de 150 chevaux au plus.

Quant à l'appareil le plus approprié à ces conditions, c'est certainement le ventilateur Guibal, de 12 à 14 m. de diamètre pour la première condition, soit pour un courant moyen de 4 m. avec minimum de 2 m.; et de 8 à 10 m. de diamètre pour la seconde condition : courant de 3 m. en moyenne, et 1<sup>m</sup>50 au minimum. Les frais de premier établissement, tout compris, ne pourraient guère dépasser 45 000 à 50 000 fr. pour le plus grand de ces appareils; ils se réduiraient à 35 000 fr. environ pour le second. Ils pourraient être abaissés encore en donnant la préférence à de plus petits ventilateurs tournant à de plus grandes vitesses. Mais l'expérience a démontré que pour débiter, ainsi que le Gothard l'exige, un grand volume d'air sous une dépression relativement modérée, les appareils à grand diamètre sont beaucoup plus avantageux et plus durables. Aussi les trouvons-nous dans toutes ces belles et vastes houillères du nord de l'Angleterre dont les conditions mécaniques de ventilation se rapprochent le plus de celles des grands tunnels alpins. On peut même dire que le ventilateur Guibal, à grand diamètre, est le seul qui ait fait ses preuves dans des conditions semblables et plus difficiles. A Barnsley (Yorkshire) un ventilateur Guibal de 12<sup>m</sup>,80 de diamètre extérieur donne 108 m<sup>3</sup> 36 d'air par seconde sous une dépression réelle de 63<sup>mm</sup>5 d'eau. Cet appareil remplit précisément (et dépasse même un peu) les conditions qu'exige le Gothard, comme nous avons vu, en lui supposant le plus brillant avenir. Il assurerait à ce tunnel, malgré la plus forte contre-pression qu'on puisse prévoir, en moyenne un volume d'air de 170 m<sup>3</sup> par seconde, soit un courant de plus de 4 m. Le même ventilateur serait plus que suffisant pour donner au mont Cenis la vitesse nécessaire au renouvellement complet de l'atmosphère entre deux trains, même avec un trafic plus développé qu'aujourd'hui; car au mont Cenis, grâce à la différence du niveau entre les deux entrées, le courant nord domine presque toujours et deviendrait un auxiliaire constant d'un aspirateur établi à Bardonnèche.

Un autre ventilateur Guibal de 14 m. donne à la mine de Pemberton<sup>1</sup> (Lancashire) un volume d'air de 125 m<sup>3</sup> par seconde, sous une dépression réelle de 75 mm. d'eau. Deux de ces appareils (dont chacun absorberait au plus 300 chevaux

<sup>1</sup> Ces chiffres sont extraits du bel ouvrage sur l'exploitation et la réglementation des mines à grisou, par MM. Pernolet et Aguillon. Ces deux ingénieurs distingués et bien connus ont pris sur place toutes les mesures de dépression et de volume que nous citons.

effectifs) placés, l'un au sommet du puits projeté au Simplon, l'autre à l'embouchure la plus éloignée, pourraient, pendant le perçement, renouveler l'air dans tout le tunnel, (à l'exception du chantier d'avancement qui aura toujours besoin d'air comprimé) dix à vingt fois par jour, malgré les difficultés pratiques que présente l'aération de pareils travaux.

Nous citons cet appareil surtout à titre d'exemple du résultat pratique obtenu dans les mines. Il serait trop puissant pour le Gothard et le mont Cenis pendant l'exploitation<sup>2</sup> et l'on en construit cependant de plus puissants pour les houillères anglaises, belges, françaises et allemandes, où ils ont à vaincre des résistances bien plus considérables.

Date	Température		Différence de température	Hauteur barométrique		Ecart barom. total en millim. de mercure	Ecart normal dû à la différ. de niveau	Ecart accidentel et variable	Dépressions totales théoriques mesurées en mètres d'air du tunnel			Vitesses réelles : Moyennes journalières approximatives			
	à Göschenen	à Airolo		à Göschenen	à Airolo				positives	négatives	mètres	h	mètres		
													Nord	Sud	
Février	t'	t''	t' - t''	b'	b''	b' - b''	b	b' - b'' - b							
1	0.9	0.7	+ 0.2	661.6	658.8	+ 2.8	+ 3.0	- 0.2						0.53	
2	1.1	2.0	- 0.9	667.1	663.7	3.4	3.0	+ 0.4	+ 7.18				1.10		
3	2.3	- 1.7	+ 4.0	667.1	665.2	1.9	3.0	- 1.1		- 11.87			1.51		
4	3.4	- 1.6	+ 5.0	662.9	662.2	0.7	3.0	- 2.3		- 27.11			* 2.29		
5	3.3	- 1.2	+ 4.5	659.8	658.5	1.3	3.0	- 1.7		- 19.49			1.94		
6	- 2.0	- 1.4	- 0.6	661.5	657.1	4.4	3.0	+ 1.4	+ 19.88				1.96		
7	- 2.4	- 2.8	+ 0.4	667.1	664.4	2.7	3.0	- 0.3		- 1.77			* 0.57		
8	- 0.2	- 1.5	+ 1.3	660.7	659.6	1.1	3.0	- 1.9		- 22.03			* 2.06		
9	- 0.7	- 0.1	- 0.6	661.3	658.4	2.9	3.0	- 0.1	+ 0.83				* 0.40		
10	+ 4.7	+ 2.1	+ 2.6	658.4	657.1	1.3	2.9	- 1.6		- 19.49			* 1.94		
11	- 0.7	- 0.9	+ 0.2	661.3	659.0	2.3	3.0	- 0.7		- 6.79			* 1.14		
12	- 6.6	- 5.2	- 1.4	659.5	656.0	3.5	3.0	+ 0.5	+ 8.45				1.28		
13	- 8.4	- 5.0	- 3.4	666.0	661.5	4.5	3.0	+ 1.5	+ 21.15				2.02		
14	- 4.2	- 4.2	0.0	665.1	661.6	3.5	3.0	+ 0.5	+ 8.45				* 1.28		
15	+ 0.9	- 6.	+ 6.9	664.1	664.5	- 0.4	3.0	- 3.4		- 41.08			2.82		
16	4.1	- 2.6	+ 6.7	666.9	666.8	+ 0.1	3.0	- 2.9		- 34.73			2.60		
17	2.9	- 0.4	+ 3.3	667.5	665.7	1.8	3.0	- 1.2		- 13.14			1.59		
18	2.6	- 0.4	+ 3.0	668.1	666.3	1.8	3.0	- 1.2		- 13.14			1.59		
19	3.5	+ 0.5	+ 3.0	669.7	668.4	1.3	3.0	- 1.7		- 19.49			1.94		
20	4.3	1.6	+ 2.7	670.8	669.9	0.9	3.0	- 2.1		- 24.57			2.18		
21	5.3	2.3	+ 3.0	671.4	670.6	0.8	2.9	- 2.1		- 25.84			2.24		
22	3.9	1.4	+ 2.5	671.3	670.3	1.0	3.0	- 2.0		- 23.30			2.12		
23	3.2	0.7	+ 2.5	671.6	670.2	1.4	3.0	- 1.6		- 18.22			1.87		
24	1.9	- 1.7	+ 3.6	670.0	667.9	2.1	3.0	- 0.9		- 9.33			1.34		
25	1.9	- 1.0	+ 2.9	666.2	664.4	2.1	3.0	- 0.9		- 9.33			1.34		
26	1.4	0.2	+ 1.2	663.4	661.7	1.7	3.0	- 1.3		- 14.44			1.67		
27	2.7	0.3	+ 2.4	662.4	660.7	1.7	3.0	- 1.3		- 14.44			1.67		
28	5.3	0.5	+ 4.8	660.7	659.0	1.7	2.9	- 1.2		- 14.44			1.67		
Sommes	+ 34.4	- 25.4	+ 59.8							+ 65.94	- 385.39		8.04 (46.26) 38.62		
algébriq.	{ + 59.6	{ - 25.2	{ + 12.3	{ - 37.7	{ + 66.7	{ - 6.9							Diviseur (6)	(22)	
Moyennes	+ 1.2	- 0.9	+ 2.1	665.1	663.2	+ 1.9	+ 3	- 1.1	+ 10.99	- 17.52	N 1.38 (4.65) 1.75 S				

Formules  $V = 0.4 \sqrt{2gh} = 0.44 \sqrt{h}$  mètres.  
pour le calcul  $h = (b' - b'') \frac{13.596}{1.07} - 36 = [(b' - b'') 12.7 - 36]$  mètres d'air du tunnel à 14° et 0.665 de mercure.

\* Désigne, d'après les observations de M. Stapff, les jours de courant oscillant ou nul.

7 jours à déduire*	... 1.68	8
Sommes réelles.....	6.36	30.62
Somme totale .....	36.98	
Vitesse moyenne réelle, N 1.06	S 1.39	
Moyenne générale.....	1.32	

Enfin, s'il faut une preuve de la possibilité et de l'opportunité d'appliquer cette solution, éprouvée dans les mines, à un tunnel de chemin de fer proprement dit, la voici :

A Saint-Louis (Etats-Unis) on a dû recourir à un ventilateur à force centrifuge pour aérer un pareil tunnel qui passe sous la ville. Il n'a que 1500 m. de longueur, mais il est parcouru par près de 300 trains par jour. Des courbes à petit rayon et des pentes variables augmentent encore la consommation de combustible. Les cinq puits d'aérage sur lesquels on comptait s'étaient montrés tout à fait insuffisants, et l'on a même

dû en fermer l'accès et n'en conserver qu'un seul au sommet duquel fut installé le ventilateur. Pour ne rien emprunter à l'Europe, M. Shaler-Smith a inventé un nouveau type qui ressemble cependant au ventilateur Schiele, très répandu dans le pays de Galles. Il est double comme lui, c'est-à-dire composé de deux ventilateurs coniques accolés. Il a un diamètre extérieur de 4m57 et une largeur de 2m75; il a 32 ailes. En faisant 110 tours par minute, il produit à travers tout le tunnel

<sup>2</sup> Pendant le perçement du Gothard, toute combinaison de ce genre devenait impossible à cause de l'insuffisance de la force motrice.

un courant dont la vitesse est de 4<sup>m</sup>.20 et qui évacue en six minutes toute la fumée d'un train. Cette vitesse (qu'on ne dépasse pas pour ne point gêner les ouvriers qui réparent le tunnel) n'exige qu'une dépense de travail de 56 chevaux, fournis par une machine à vapeur.

Tout en rendant hommage à la conception ingénieuse de M. Shaler-Smith, dont le succès est complet, il est permis

d'admettre qu'un de nos types européens éprouvés, en particulier l'appareil Guibal, eût fait aussi bien et mieux, en réduisant la dépense de travail. Il est vrai qu'au milieu d'une grande cité et d'une voie très fréquentée, on a dû éviter un appareil de dimensions trop encombrantes et préserver la ville du mauvais air, au moyen d'une cheminée de grande hauteur que M. Shaler a poussée jusqu'à 40 m. (avec une section de 11<sup>m</sup>.28

Date	Température		Différence de température	Hauteur barométrique		Ecart barom. total en millim. de mercure	Ecart normal dû à la différ. de niveau	Ecart accidentel et variable	Dépressions totales théoriques mesurées en mètres d'air du tunnel		Vitesses réelles : Moyennes journalières approximatives		
	à Göschenen	à Airolo		à Göschenen	à Airolo				Nord	Sud	Nord	Sud	
Août	t'	t''	t'' - t''	b'	b''	b' - b''	b	b' - b'' - b	h		mètres	V	mètres
1	20.9	19.4	+ 1.5	671.6	669.5	+ 2.1	+ 3	- 0.9	+ 8 <sup>m</sup> 91				1.31
2	17.3	20.3	- 3.0	673.7	669.9	3.8	"	+ 0.8	+ 13 <sup>m</sup> 02				1.59
3	16.7	20.0	- 3.3	676.4	672.6	3.8	"	+ 0.8	+ 13 <sup>m</sup> 02				1.59
4	17.3	19.3	- 2.3	677.6	673.9	3.7	"	+ 0.7	+ 11 <sup>m</sup> 73				* 1.50
5-12 <sup>1</sup>													
13	15.1	15.0	+ 0.1	664.2	661.3	+ 2.9	+ 3	- 0.1	+ 1 <sup>m</sup> 41				0.53
14	9.3	15.4	- 6.1	664.6	659.9	4.7	"	+ 1.7	+ 24 <sup>m</sup> 63				2.20
15	7.9	11.0	- 3.1	666.7	663.4	3.3	"	+ 0.3	+ 6 <sup>m</sup> 57				1.10
16	10.9	11.2	- 0.3	666.3	663.8	2.5	"	- 0.5	- 3 <sup>m</sup> 75				* 0.84
17	13.1	11.4	+ 1.7	662.0	660.0	2.0	"	- 1.0	- 10 <sup>m</sup> 20				* 1.41
18	10.9	15.1	- 4.2	664.9	661.0	3.9	"	+ 0.9	+ 14 <sup>m</sup> 31				1.67
19	15.1	14.7	+ 0.7	670.2	668.5	1.7	"	- 1.3	- 14 <sup>m</sup> 07				* 1.63
20	16.2	15.4	+ 0.8	670.8	669.0	1.8	"	- 1.2	- 12 <sup>m</sup> 78				1.58
21	17.5	17.2	+ 0.3	670.6	668.2	2.4	"	- 0.6	- 5 <sup>m</sup> 04				* 0.96
22	16.5	17.7	- 1.2	669.9	667.5	2.4	"	- 0.6	- 5 <sup>m</sup> 04				0.96
23	21.3	18.9	+ 2.4	668.2	667.0	1.2	"	- 1.8	- 20 <sup>m</sup> 52				1.98
24	12.0	13.3	- 1.3	669.3	666.8	2.5	"	- 0.5	- 3 <sup>m</sup> 75				0.84
25,26 <sup>2</sup>													
27	13.7	13.0	+ 0.7	665.5	663.1	2.4	"	- 0.6	- 5 <sup>m</sup> 04				* 0.96
28	4.2	8.6	- 4.4	669.0	664.4	4.6	"	+ 1.6	+ 23 <sup>m</sup> 34				2.11
29	9.3	11.7	- 2.4	674.6	671.2	3.4	"	+ 0.4	+ 7 <sup>m</sup> 86				* 1.23
30	14.8	12.0	+ 2.8	670.7	669.2	1.5	"	- 1.5	- 16 <sup>m</sup> 65				1.80
31	10.9	12.9	- 2.0	668.2	664.7	3.5	"	+ 0.5	+ 9 <sup>m</sup> 15				1.32
Sommes algébriq.	290.9	313.5	- 22.6						+ 125 <sup>m</sup> 04 - 105 <sup>m</sup> 75	(9) 13.52 (12) 15.59			
Moyennes	13.9	14.9	- 1.0	669.3	666.4	+ 2.9	+ 3	- 0.06	+ 13 <sup>m</sup> 89 - 8 <sup>m</sup> 81	N 1.50 S 1.30			

Formules pour le calcul  $\left\{ \begin{array}{l} V = 0.1 \sqrt{2gh} = 0.44 \sqrt{h} \text{ mètres.} \\ h = (b' - b'') \frac{13.596}{1.05} - 36 [(b' - b'') 12.9 - 36] \text{ mètres d'air du tunnel} \end{array} \right. \text{ à } 18^\circ \text{ et } 0.667. \right.$

7 jours à déduire\*... 2.73 5.90  
Sommes réelles ..... 10.79 9.69  
(20.48)  
Vitesses réelles ..... N 1.20 S 0.81  
Moyenne générale..... 1.00

<sup>1</sup> Les observations ont été incomplètes. — <sup>2</sup> Pas d'observations. — \* Désigne, d'après M. Stappf, les jours de courant oscillant ou nul.

à la base et 4<sup>m</sup>.57 au sommet). Cette disposition, nécessaire au centre d'une grande ville, ne l'est plus du tout dans nos montagnes; dès lors une cheminée trop haute ne ferait que diminuer son effet utile par suite des frottements qui en résulteraient. Celle de M. Guibal, évasée vers le haut, sera beaucoup plus avantageuse. Cette cheminée qui n'a que 7 à 10 m. de haut, et dont l'ouverture supérieure doit avoir une section triple ou quadruple de la section de base, double la dépression, en utilisant toute la force vive que l'air possède encore au sortir du ventilateur proprement dit. C'est cette disposition, résultat des longues études théoriques et pratiques de M. le professeur Guibal, qui fait de son appareil simple et robuste le ventilateur de mine par excellence, et le plus répandu en Angleterre et sur le continent. Tous nos exemples et nos calculs se rapportent à ce type qui seul a fait ses preuves, et les fait tous les

jours, dans des conditions semblables et plus difficiles qu'au Gotnard. La longueur de ce souterrain exige une dépression plus forte qu'à Saint-Louis, mais un courant aussi énergique n'est pas nécessaire. D'ailleurs nous avons vu qu'on l'obtiendrait facilement au moyen d'un des ventilateurs cités et éprouvés depuis longtemps.

L'initiative américaine nous fournit la preuve évidente et palpable de l'efficacité de ce genre de solution pour un tunnel de chemin de fer. Une disposition semblable est projetée pour le tunnel de l'Hudson, et il en est question pour le (premier) métropolitain de Londres dont l'aérage naturel, malgré ses nombreuses cheminées, laisse beaucoup à désirer.

Il y a longtemps que M. Frescot, et plus récemment M. de Kossuth, ont proposé la même mesure pour le mont Cenis. Quelques journaux, entre autres, la *Nature* de Paris, avaient

annoncé, il y a deux ans, qu'un ventilateur venait d'être installé à Bardonnèche. La nouvelle était malheureusement inexacte, nous voudrions pouvoir dire qu'elle n'était que prématuée. A notre tour, nous avons cherché à établir, par des considérations théoriques et des exemples plus récents, tirés de la pratique des chemins de fer et des houillères, qu'un grand ventilateur centrifuge, du système éprouvé de M. Guibal, constitue la seule solution certaine, complète et économique de l'aération du tunnel du Gothard, en conservant la traction par locomotives ordinaires<sup>1</sup>.

Le exemples cités suffiront pour réfuter l'affirmation gratuite de M. Pressel (contenue dans la brochure mentionnée) que « les aspirateurs centrifuges fonctionnent mal dans ces conditions, » et l'appréhension de M. de Weber que « des tunnels plus longs que celui du mont Cenis ne pourraient être aérés qu'au moyen d'appareils encore à inventer et d'un prix inabordable (unerschwinglich). » Une installation dont les frais de premier établissement sont inférieurs à 1 % du coût du tunnel, et dont l'entretien est presque nul, ne peut être regardée comme ruineuse lorsqu'il s'agit d'une question de sécurité et de salubrité, pour le personnel et les voyageurs. Cette dépense, qui ne peut guère dépasser 40 000 à 50 000 fr. et qui pourrait être réduite à 30 000 fr. au besoin, sera d'ailleurs compensée par l'économie réalisée sur les compresseurs et conduites devenus inutiles, et par les grands avantages qu'on retirera d'une pareille ventilation pour l'entretien du tunnel. C'est le meilleur placement que la compagnie puisse trouver pour ses premiers bénéfices. D'autre part, nous croyons avoir démontré dans la première partie de cette étude que l'aérage naturel ne doit plus être regardé comme suffisant pour les conditions actuelles et futures du trafic, et qu'il n'y a plus beaucoup de temps à perdre.

<sup>1</sup> Nous avons dit plus haut que parmi les autres modes de traction, l'ascenseur pneumatique de M. Gonin nous paraît seul susceptible d'une application immédiate. Son installation, il va sans dire, rendrait superflu tout moyen de ventilation proprement dit.

### QUELQUES DONNÉES STATISTIQUES SUR LES CHEMINS DE FER DU GLOBE

par R. GUISAN, ingénieur.

Rien n'est plus difficile que de réunir les documents statistiques concernant toutes les lignes de chemins de fer. D'un côté il est des renseignements impossibles à se procurer, de l'autre ils ne se rapportent pas à une même période d'exploitation. En outre, on n'a pas mal de travail pour ramener ces données au franc et au kilomètre, sans compter d'interminables calculs pour la discussion de tant de chiffres. J'ai pensé toutefois que ce travail pourrait présenter un certain intérêt, ce qui m'a engagé à le poursuivre, malgré toutes les lacunes qu'on ne manquera pas d'y observer, provenant du défaut de renseignements et que je n'ai pu me procurer.

TABLEAU I.

#### Longueurs des chemins de fer en exploitation.

Europe.	Année	Kilom.	Année	Kilom.
Belgique.....	1882	4182	Grande-Bretagne ..	id. 29257
Luxembourg .....	id.	360	Allemagne.....	id. 34727
			Suisse.....	1883 2711

	Année	Kilom.		Année	Kilom.
Pays-Bas .....	1882	1976	Paraguay .....	1881	72
France .....	id.	27419	Equateur.....	id.	122
Danemark.....	id.	1576	Guatémala.....	id.	22
Autriche-Hongrie ..	id.	18904	Guyanne anglaise.	id.	34
Italie.....	id.	8713	Colombie.....	1880	121
Portugal.....	id.	1673	Vénézuela .....	id.	113
Espagne .....	1878	6199	Bolivie .....	id.	50
Suède .....	1882	6177	Total pr l'Amérique, 195710		
Norvège .....	1883	1524	soit 46.9 km. pour 10 000 km <sup>2</sup> ,		
Roumanie.....	1882	1475	l'Amérique ayant 41 739 000 km <sup>2</sup> .		
Turquie.....	id.	1432			
Russie.....	id.	22653			
Bulgarie.....	id.	224			
Finlande.....	id.	873			
Grèce .....	id.	12			
Bosnie.....	id.	291			

Total pour l'Europe, 172358  
soit 173.5 km. par 10 000 km<sup>2</sup>,  
l'Europe ayant 9 932 556 km<sup>2</sup>.

	Année	Kilom.
Indes anglaises ...	1881	15992
Java .....	id.	562
Ceylan .....	1880	219
Asie mineure.....	1882	274
Indes portugaises..	id.	79
Japon .....	1881	156

Total pour l'Asie, 17282  
soit 4.1 km par 10 000 km<sup>2</sup>, l'Asie  
ayant 42 044 000 km<sup>2</sup>.

	Année	Kilom.
États-Unis.....	1882	168000
Cuba.....	1880	1382
Trinidad.....	id.	26
Chili .....	id.	1689
Jamaïque .....	id.	40
Costa-Rica .....	id.	170
Pérou .....	1878	2510
Uruguay .....	1880	376
Mexique.....	1882	3574
Canada .....	1881	11684
Argentine.....	1882	2607
Honduras.....	1880	60
Brésil .....	id.	3058

Total pour l'Océanie, 7859  
soit 7.05 km. par 10 000 km<sup>2</sup>,  
l'Océanie ayant 11 151 000 km<sup>2</sup>.

#### Afrique.

	Année	Kilom.
Maurice.....	1880	106
Natal.....	id.	163
Algérie .....	1882	1295
Cap .....	1880	1586
Tunisie .....	1882	250
Angola, Mozambique	1881	253
Egypte .....	id.	1518

Total pour l'Afrique, 5171  
soit 1.68 km. par 10 000 km<sup>2</sup>,  
l'Afrique ayant 30 805 000 km<sup>2</sup>.

#### Océanie.

	Année	Kilom.
Nouvelle-Zélande...	1880	2025
Nouv.-Galles du Sud	id.	1367
Victoria.....	id.	1930
Queensland.....	id.	1019
Tasmanie .....	id.	278
Australie méridion..	id.	1073
» occidentale	id.	116
Hawaï.....	id.	51

Total pour l'Océanie, 7859  
soit 7.05 km. par 10 000 km<sup>2</sup>,  
l'Océanie ayant 11 151 000 km<sup>2</sup>.

#### RÉCAPITULATION

Europe.....	172 358 km.
Asie.....	17 282 »
Amérique .....	195 710 »
Afrique .....	5 171 »
Océanie .....	7 859 »

Réseau du globe 398 380 km.

TABLEAU II.

#### Longueur totale des chemins de fer à différentes époques.

En 1830.....	332 km.	En 1874.....	283 072 km.
1840.....	8 591 »	1875.....	295 783 »
1850.....	38 022 »	1876.....	309 600 »
1860.....	106 886 »	1877.....	320 830 »
1870.....	221 980 »	1878.....	331 136 »
1871.....	235 375 »	1879.....	344 182 »
1872.....	251 032 »	1880.....	357 035 »
1873.....	270 071 »	1881.....	380 296 »

TABLEAU III.

#### Accroissement moyen kilométrique annuel.

Période	1830-1840..	826 km.	Période	1873-1874..	13 001 Km.
» 1840-1850..	2 943 »		» 1874-1875..	12 711 »	
» 1850-1860..	6 886 »		» 1875-1876..	13 820 »	
» 1860-1865..	7 646 »		» 1876-1877..	11 230 »	
» 1865-1870..	15 373 »		» 1877-1878..	10 306 »	
» 1870-1871..	13 395 »		» 1878-1879..	13 046 »	
» 1871-1872..	15 657 »		» 1879-1880..	12 853 »	
» 1872-1873..	19 039 »		» 1880-1881..	23 261 »	