

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 45 (1919)  
**Heft:** 25

**Artikel:** La ventilation artificielle des tunnels  
**Autor:** Besson, Henri  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-34942>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 30.03.2025

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

## DIVERS

## La ventilation artificielle des tunnels.

Après avoir analysé dans différents journaux, notamment dans la presse politique, de nombreux ouvrages économiques ou techniques dus à la plume d'auteurs étrangers, c'est pour nous un agréable devoir de présenter aujourd'hui aux lecteurs du *Bulletin Technique de la Suisse Romande*, la thèse de doctorat d'un bon compatriote, M. le Dr Wiesmann, bien connu pour ses importants travaux dans le domaine du Génie Civil<sup>1</sup>.

La ventilation des travaux souterrains est une question toute d'actualité à notre époque où il s'agit de développer dans une large mesure les voies de communication, où l'on reparle de percer le Mont-Blanc et la Faucille, où l'on paraît vouloir passer à l'exécution tant souhaitée du tunnel sous la Manche, où il a même été proposé de passer sous le détroit de Gibraltar, où enfin l'on construit d'autres tunnels que ceux de chemin de fer, comme celui du Rove près de Marseille, qui doit livrer passage à la navigation.

La rapidité d'exécution exigée par les besoins modernes et le gain de sécurité et de facilité d'exploitation exigent une ventilation toujours meilleure des travaux souterrains, soit qu'il s'agisse d'apporter l'oxygène nécessaire à la respiration des hommes et des animaux employés dans les travaux, soit qu'il faille expulser l'acide carbonique produit par cette même respiration, ainsi que les gaz nocifs dégagés par les explosifs employés pour l'abatage, ou ceux qui se dégagent naturellement dans les mines, tels que le grisou. La ventilation a encore pour but de refroidir l'atmosphère des exploitations souterraines, dont la température s'élève dans certains cas à un degré inacceptable pour les travailleurs.

Dans sa préface, l'auteur considère les lois qui régissent le transport des fluides. Il rappelle que la vitesse du fluide, et avec elle la quantité du fluide en mouvement est proportionnelle à la vitesse de l'organe de propulsion, que la résistance croît comme le carré de la vitesse et qu'enfin le travail absorbé croît comme le cube de la vitesse.

M. Wiesmann qui a le mérite rare d'être à la fois un savant théoricien et un praticien éprouvé par sa participation à l'exécution de nombreux travaux d'art dont l'un des plus importants est le tunnel du Hauenstein, a su rendre sa thèse attrayante par de nombreux exemples et par des données pratiques découlant de sa propre expérience. Il nous rappelle que dans les travaux souterrains, la quantité d'air nécessaire pour la respiration d'un ouvrier, compris l'alimentation de sa lampe, est de 0,7 mètres cube par minute, qu'un cheval absorbe pendant le même temps 0,354 mètre cube, et que l'explosion d'un kilo de dynamite vicie 340 mètres cubes

d'air. Le calcul, basé sur ses données, indique que le percement d'un tunnel occupant 400 hommes et 6 chevaux, avec une consommation de dynamite de 300 kg. par 24 heures, doit consommer théoriquement 2,20 mètres cubes d'air par seconde. En réalité la ventilation suffisante exige une quantité d'air bien supérieure, ainsi un tunnel de 10 kilomètres de long, à deux voies, consomme normalement 7 mètres cubes par seconde, lorsqu'on y emploie des explosifs.

On voit par ces chiffres, que, malgré le développement considérable de la perforation mécanique, l'air qui s'échappe des perforatrices et marteaux pneumatiques ne saurait suffire pour la ventilation. Ainsi un ensemble de 40 marteaux pneumatiques travaillant simultanément ne fournit que 0,7 mètre cube d'air par seconde, c'est-à-dire dix fois moins que la quantité exigée par le tunnel de l'exemple précédent.

Lorsque, conjointement à la ventilation, on doit rafraîchir l'air du tunnel, la quantité d'air exigée est bien plus considérable. Au percement du Simplon, par exemple, où la température du rocher atteignait 56° C., on a pu maintenir la température de l'air entre 25 et 28° C., à l'aide d'eau pulvérisée, véhiculée par un excès d'air de ventilation. Au côté nord du tunnel, la quantité totale d'air refoulée atteignait 30 à 35 mètres cubes par seconde.

Pour résoudre cet important problème du refroidissement, on a proposé, en vue de réduire la dépense d'air, diverses solutions dont aucune n'a donné satisfaction. On a préconisé notamment l'emploi de la glace et de la détente de l'air comprimé, mais le calcul montre que ces deux procédés sont inapplicables. Ainsi avec une bonne machine à glace, actionnée à vapeur, produisant 1000 calories négatives par kilo de charbon consommé, il aurait fallu brûler 130 tonnes de charbon par 24 heures pour obtenir l'absorption de 1500 calories par seconde, exigée pour le refroidissement de l'air au côté nord du tunnel du Simplon, un jour d'été. Or, le refroidissement par pulvérisation d'eau et ventilation a exigé une consommation d'énergie bien inférieure.

La détente adiabatique d'air comprimé n'est pas plus avantageuse que l'emploi de la glace, ainsi le calcul montre que pour réaliser le même refroidissement que ci-dessus au tunnel du Simplon, il aurait fallu maintenir en service continu un compresseur du modèle le plus économique absorbant 15700 chevaux. Nous avons cru devoir nous étendre sur ces exemples exposés de la façon la plus rationnelle par le savant praticien qu'est M. le Dr Wiesmann, et que l'on ne citera jamais trop lorsqu'il s'agira de dissiper les erreurs ancrées dans l'esprit des novices, trop portés à ne voir que le côté élégant des solutions sans même leur appliquer le calcul le plus élémentaire.

Après détermination du cube d'air nécessaire, l'ingénieur doit se préoccuper de l'établissement des conduites et appareils de production nécessaires, et pour cela doit être en possession des formules s'appliquant à l'écoulement de l'air en espaces libres, à la résistance des

<sup>1</sup> Künstliche Lüftung im Stollen- und Tunnelbau sowie von Tunnels im Betrieb, von Dr E. Wiesmann, Ingénieur. (Rascher & Co., Verlag, Zurich, 1919).

conduites et à la notion de ce qu'on a appelé l'*orifice équivalent*. On appelle ainsi une section théorique de passage, déterminée de telle façon que la pression nécessaire au refoulement d'une quantité d'air donnée au travers de cette section soit équivalente à la résistance totale de la conduite traversée par cette même quantité d'air. Cette notion, que nous avons cru devoir rappeler ici, est la base de tous les calculs d'établissement des appareils de ventilation.

On sait que même sans ventilation artificielle, il se produit un courant dans une galerie ouverte d'un seul bout, par suite de la différence de température et d'état hygrométrique entre l'air intérieur et l'air extérieur. Malgré le perfectionnement consistant dans l'emploi d'une paroi horizontale séparant la galerie en deux parties, l'inférieure réservée à l'entrée et la supérieure à la sortie de l'air, ce mode de ventilation ne répond plus aux besoins modernes, surtout lorsqu'on emploie des explosifs. Dans une galerie ouverte par les deux bouts, la ventilation naturelle simple est également inefficace, car le courant d'air est très variable en intensité et en direction. En revanche, une bonne ventilation naturelle peut être obtenue dans certains cas par l'établissement de cheminées, rehaussées au besoin à leur sortie du sol et munies s'il le faut d'un chauffage à leur base. Il y a lieu de remarquer toutefois que le combustible employé à ce chauffage est mieux utilisé dans le foyer d'une chaudière actionnant la machine d'un ventilateur.

Après l'examen de ces vieux systèmes qui n'ont plus guère qu'un intérêt historique, l'auteur nous présente les premiers dispositifs de ventilation artificielle à l'aide de compresseurs à pistons, d'appareils à cloche et de pompes cellulaires, tous abandonnés à l'heure actuelle, puis les appareils à jet ou éjecteurs, de construction analogue au célèbre injecteur de Giffard et rappelant l'ancienne trompe employée pour la soufflerie des forges du moyen âge. Ces derniers appareils ont un mauvais rendement et ne sont avantageux que comme organes accessoires, ainsi que ce fut le cas pour la ventilation des deux galeries de roulage au côté nord du tunnel du Simplon.

Nous arrivons maintenant aux appareils mécaniques modernes qui se divisent en deux groupes, les ventilateurs hélicoïdaux et les ventilateurs centrifuges.

Les premiers ont dû être abandonnés dans le travail des mines et tunnels, non par insuffisance de rendement mais par suite de la trop faible pression qu'ils permettent d'obtenir; nous arrivons donc aux véritables appareils modernes, les ventilateurs centrifuges dont les nombreux perfectionnements sont dus pour une bonne part aux travaux de M. le professeur Rateau. Ces perfectionnements consistent principalement en l'insertion de palettes intercalaires, convergence des parois latérales, enveloppement, entrée d'air oblique, forme rationnelle des palettes, diffuseur évasé, disposition en spirale de l'enveloppe, construction spéciale permettant l'accouplement avec des moteurs à grande vitesse, grâce à

la diminution du diamètre et de la longueur des aubes. Ce nouveau mode de construction a permis, grâce à l'accouplement en série d'un certain nombre de ventilateurs, de réaliser la turbo-soufflante pour hauts-fourneaux et le turbo-compresseur capable de produire des pressions de plusieurs atmosphères. Ce dernier appareil, par suite des échanges thermiques auxquels il est soumis ne peut même plus être classé parmi les ventilateurs proprement dits.

On voit par ce qui précède que, dans le seul domaine de la ventilation, les connaissances de l'ingénieur chargé du percement d'un tunnel doivent être très vastes. Comme dans tous les autres domaines de la technique, où il s'agit de réaliser des rendements maxima, il convient que l'ingénieur s'applique au contrôle des consommations et des débits de façon à pouvoir déterminer les conditions de fonctionnement les plus avantageuses. A cet effet il doit avoir sous la main les appareils de mesure et d'enregistrement les plus perfectionnés permettant de contrôler les pressions, débits et vitesses d'air.

Les pressions se contrôlent à l'aide de manomètres très sensibles (micromanomètres), les vitesses à l'aide d'anémomètres et les débits à l'aide d'appareils spéciaux, le plus souvent enregistreurs, à l'étude desquels nous sommes nous-mêmes appliqué. Nous avons réalisé notamment pour les turbo-compresseurs des mines et les turbo-soufflantes des aciéries, un enregistreur de débit d'air placé sur l'aspiration de ces machines, qu'il est facile d'appliquer également aux ventilateurs. Ce même appareil a été modifié par nous de façon à en faire un enregistreur de débit d'air comprimé à haute pression et de débit de vapeur.

Pour la détermination des conditions les meilleures en matière de ventilation il y a lieu de rappeler qu'il s'agit d'un fluide léger à faible pression sur le mouvement duquel les moindres variations d'état ont la plus grande influence. Lors des calculs d'établissement il convient de ne pas négliger l'action des modifications de poids spécifique de l'air sous l'action de l'état de l'atmosphère, température, pression atmosphérique, état hygrométrique. Puis l'établissement des conduites et passages d'air exige le plus grand soin, de façon à éliminer les résistances inutiles et les remous. L'auteur s'étend longuement sur ce sujet et indique un grand nombre de formules et de résultats d'expérience.

Dans la deuxième partie de son ouvrage, M. Wiesmann traite spécialement de la ventilation des tunnels en service, aussi importante que celle des tunnels en construction. Il s'agit en effet d'apporter l'oxygène nécessaire à la respiration des voyageurs et d'expulser la fumée des locomotives avec l'acide carbonique produit tant par la combustion du charbon que par la respiration des personnes et enfin de refroidir l'air qui dans certains tunnels profonds atteint des températures insupportables.

Les trains produisent par leur mouvement une cer-

taine ventilation, suffisante seulement dans les tunnels très courts, et à ce sujet il y a lieu de remarquer que le mouvement des trains à travers les tunnels produit un courant d'air qui ne suit jamais un mouvement uniforme, mais accéléré. Il ne s'installe jamais un état de persistance tel que celui admis dans les calculs de résistance des conduites; c'est pourquoi la solution de ce problème présentait de sérieuses difficultés. M. Wiesmann est arrivé à trouver des formules tout à fait nouvelles et intéressantes, non seulement au point de vue pratique, parce que le travail de la colonne d'air en mouvement permet de déterminer la résistance des trains, mais encore au point de vue scientifique par suite des généralisations possibles.

Les formules trouvées ont permis de tracer des courbes qui sont des fonctions hyperboliques. Le mathématicien aura intérêt à lire attentivement le paragraphe 6 de la deuxième partie de l'ouvrage, relatif aux perturbations de la ventilation produites par la marche des trains.

Une bonne ventilation n'a pas seulement pour effet de rendre l'atmosphère respirable, elle a aussi une action bienfaisante sur la conservation des rails et des traverses et même, dans une certaine mesure, du revêtement en maçonnerie.

Dans l'établissement des appareils de ventilation, il convient de tenir compte des perturbations apportées par le courant d'air naturel et par le passage des trains. Dans certains cas on emploie des ventilateurs aspirants, dans d'autres des ventilateurs refoulants, avec rideaux de fermeture du tunnel, puis des appareils à jet. Ces derniers, faisant l'objet de l'invention de l'ingénieur italien Saccardo ont été employés au tunnel du Gothard, tandis que le Simplon est muni des ventilateurs Sulzer.

Dans certains tunnels, notamment ceux autres que les tunnels de montagne, dans lesquels l'épaisseur de rocher à traverser serait trop considérable, on a pratiqué la ventilation à l'aide de puits surmontés d'un ventilateur aspirant. Ainsi a été fait dans les tunnels anglais de Severn, de la Tamise et de la Mersey.

M. Wiesmann, qui fut ingénieur de la construction du tunnel de base du Hauenstein, avait pour devoir de nous donner quelques indications sur le projet de ventilation de ce récent et important ouvrage, qui est obtenue à l'aide d'un puits de 135 mètres de profondeur, aboutissant dans le tunnel à 3594 mètres du portail nord et 4540 mètres du portail sud. Le puits sera surmonté plus tard par une installation de ventilateurs aspirants capables d'évacuer 260 m<sup>3</sup> d'air par seconde, actionnés par des moteurs électriques dont la puissance totale serait de 150 à 180 chevaux.

En terminant l'auteur donne un aperçu des frais qu'entraîne la ventilation artificielle des tunnels d'après les trois systèmes principaux, savoir la ventilation avec rideaux aux extrémités, le système Saccardo avec appareils à jet et l'emploi de puits d'aération avec ventilateurs aspirants. Le premier système est le plus économique, ainsi l'installation en fonctionnement au tunnel

de Granges a coûté 124.000 francs tandis que l'installation avec puits et ventilateurs prévue pour le Hauenstein est devisée à 280.000 francs.

Comme exemple d'application du système Saccardo, l'auteur cite le tunnel du Tauern en Autriche qui a coûté 494.000 couronnes, compris les turbines produisant la force motrice. Nous ajouterons que l'adoption de tel ou tel système doit dépendre avant tout des circonstances locales, ainsi en hautes montagnes il serait évidemment fort dispendieux d'établir des puits, réservés aux terrains peu accidentés. Quant au système Saccardo, son seul avantage nous paraît être la possibilité de faire passer les trains sans interrompre la ventilation, mais à puissance égale dépensée, son effet utile est certainement moindre que dans les autres systèmes.

La lecture de l'ouvrage de M. le Dr Wiesmann est à recommander non seulement aux ingénieurs qui y trouvent un ensemble de formules et surtout d'exemples d'applications des plus utiles, mais encore aux profanes qui désirent s'initier dans une certaine mesure à l'un des plus importants problèmes de la technique moderne.

Genève, le 26 novembre.

HENRI BESSON.

**Errata et rectifications à la notice de M. Ed. Carey sur les « Coups de bélier ».**

Page 11, numéro du 25 janvier 1919, 12<sup>e</sup> ligne. — Lire :

$$B_n = \frac{a}{g} \frac{v_{n-1} - v_n}{1 + \frac{av_n}{2gy_0}} \text{ au lieu de : } B_n = \frac{g}{a} \frac{v_{n-1} - v_n}{1 + \frac{av_n}{2gy_0}}$$

Page 103 : les figures 3 et 4 sont omises :

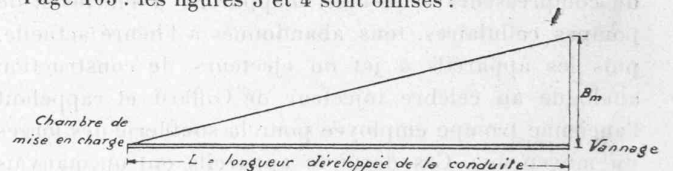


Fig. 3. — Répartition du coup de bélier maximum le long de la conduite pour une fermeture en un temps

$$T \geq \frac{2L}{a}$$

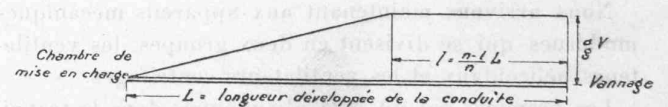


Fig. 4. — Répartition du coup de bélier  $\frac{aV}{g}$  le long de la conduite pour une fermeture en un temps  $t = \frac{\theta}{n}$ .

Page 122, 2<sup>e</sup> colonne, 3<sup>e</sup> ligne. — Ajouter à la fin de la phrase : p étant entier.

Page 123, 1<sup>re</sup> colonne, 24<sup>e</sup> ligne. — Lire : 2n+1 au lieu de : 2<sup>n+1</sup>.

Page 155, figure 12. — Lire : V = 6<sup>m</sup> au lieu de : V<sub>2</sub>, 6<sup>m</sup>.

Page 165, 2<sup>e</sup> colonne, 8<sup>e</sup> ligne. — Lire : 183<sup>m</sup>,75 au lieu de : 283<sup>m</sup>,75.

Page 175, 2<sup>e</sup> colonne. — Supprimer les signes ≡ et les remplacer par =.