

**Zeitschrift:** Bulletin de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes  
**Band:** 8 (1882)  
**Heft:** 4

**Artikel:** Notice sur la ventilation, la température, le refroidissement et l'humidité de l'air dans le grand tunnel du St-Gothard  
**Autor:** Stapff, F.-M.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-9519>

### **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:** 12.04.2026

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

six pages de texte et en tout plus de cent illustrations avec quelques suppléments artistiques. Chaque numéro contiendra une partie élégamment encadrée, consacrée aux annonces pour l'industrie et le commerce.

Le prix du volume complet est, comparativement à ce qui est offert, très minime : il a été fixé à 15 fr. (pour l'étranger 20 fr.) expédié franco, contre remboursement du montant, avec l'envoi du premier numéro.

Le journal officiel de l'Exposition sera expédié promptement aux conditions ci-dessus à tous les abonnés déjà inscrits jusqu'à ce jour, par suite d'une demande d'abonnement écrite.

Les éditeurs feront confectionner, comme reliure, une couverture artistement et richement décorée, qu'ils enverront aux abonnés, sur leur demande, à un prix très modéré. Une annonce relative à cela sera publiée ultérieurement.

Dans la première moitié de novembre paraîtra le premier numéro principal. Jusqu'à la fin du janvier 1883 paraîtront environ six numéros, parmi lesquels trois numéros principaux ; du commencement de février jusqu'à la fin d'avril paraîtront environ douze numéros, dont six numéros principaux ; et, pendant la durée de l'exposition, depuis le 1<sup>er</sup> mai il sera publié trente et un numéros principaux.

Toutes nos communications officielles à l'adresse des exposants seront publiées uniquement dans le journal officiel de l'Exposition, auquel nous renvoyons expressément pour cela.

(Extrait du prospectus.)

## NOTICE

SUR

### LA VENTILATION, LA TEMPÉRATURE

#### LE REFROIDISSEMENT ET L'HUMIDITÉ DE L'AIR

dans le grand tunnel du St-Gothard.

Extrait du rapport annuel présenté pour 1881  
à la Direction des travaux du chemin de fer du Gothard  
par M. le Dr F.-M. STAFFF.

Les questions qui se rattachent à la salubrité des grands souterrains, aussi bien pendant leur exploitation que durant les travaux, ont été et sont encore l'objet de discussions dont l'intérêt est grand, puisque la santé et la vie de nombreux ouvriers et même des voyageurs en dépendent.

Nous croyons donc devoir reproduire ici une notice rédigée par M. le Dr F.-M. Stafff, notice qui fait partie du rapport trimestriel N° 39 du Conseil fédéral Suisse aux Etats intéressés à la construction de la ligne du Saint-Gothard.

A cette notice feront suite, dans un prochain numéro de notre Bulletin, des observations sur le même sujet qui nous sont annoncées par l'un des membres de notre Société, en sorte que nous osons espérer que cette publication donnera lieu à un échange de communications utiles au progrès de cette branche du génie civil.

Rédaction.

#### TEMPÉRATURE ET REFROIDISSEMENT DE L'AIR

Les températures de l'air, mesurées sur divers points du tunnel pendant l'année 1881, sont indiquées dans le tableau de

la page suivante et placées en regard de la température mesurée jadis sur ces points, pour la roche fraîchement mise à découvert au cours des travaux d'excavation du souterrain. Ce tableau permet avant tout de se rendre compte des variations de la température du tunnel dépendant du sens du courant d'air régnant et de la température simultanée de l'air aux embouchures du souterrain. On voit que le courant du Sud rafraîchit la moitié méridionale du tunnel et réchauffe la partie septentrionale, tandis que le courant du Nord produit l'effet inverse. Le refroidissement de l'air du côté d'où vient le courant est d'autant plus fort que la température est plus basse à l'embouchure correspondante du tunnel. Vers le milieu du souterrain, les variations de température sont d'abord demeurées tout à fait insignifiantes ; mais on peut constater que le courant du Sud déplace le centre de chaleur vers le Nord, tandis que le courant du Nord le ramène vers le Sud. Ce n'est qu'à partir du mois d'août qu'il s'est produit dans la partie centrale du tunnel un refroidissement plus sensible de l'air (température observée le 8 juillet, entre les profils 7400 et 6500 S., 30.<sup>4</sup><sup>0</sup> C. ; le 24 août entre les profils 7300 N. et 6500 S., 28.<sup>9</sup><sup>0</sup> C. ; le 3 septembre, entre les profils 7300 et 6600 S., 27.<sup>4</sup><sup>0</sup> C.) Après l'enlèvement des boisages vers le milieu du tunnel, la température y est descendue à 20.<sup>3</sup><sup>0</sup> C. (1<sup>er</sup> novembre.) En comparant ces chiffres, il convient cependant de tenir compte de la température initiale de l'air pénétrant dans le tunnel, laquelle était, le 8 juillet, de 17.<sup>2</sup> à 18.<sup>9</sup><sup>0</sup> C. ; le 24 août, de 11.<sup>3</sup><sup>0</sup> C. ; le 3 septembre, de 7.<sup>8</sup><sup>0</sup> C., et le 1<sup>er</sup> novembre, de — 1.<sup>2</sup><sup>0</sup> C. En général, l'air est toujours plus chaud et plus étouffant au Sud qu'au Nord de la partie centrale du tunnel, et il en sera toujours ainsi pour des causes naturelles.

Quant au refroidissement du souterrain dans toute sa longueur, les observations du tableau général de la page 2 sont trop clairsemées pour fournir des renseignements directs, mais un résumé spécial des observations faites du 28 août 1880 au 3 septembre 1881 permet de fixer la température moyenne de l'air à 29.<sup>35</sup><sup>0</sup> C. sur le tronçon compris entre les profils 5675 N. et 5200 S. Comme la température moyenne primitive de la roche était pour ce tronçon de 30.<sup>23</sup><sup>0</sup> C., le refroidissement aurait donc été de 0.<sup>93</sup><sup>0</sup> C. pendant la période où, après le percement de la galerie de direction, on travaillait encore assidûment dans le tunnel et où des boisages empêchaient la libre circulation de l'air. Il peut paraître singulier que la température moyenne du tronçon ci-dessus, qui était de 29.<sup>34</sup><sup>0</sup> C. pour la période du 28 août 1880 au 1<sup>er</sup> mars 1881, se soit encore maintenue à 29.<sup>32</sup><sup>0</sup> C. dans la période du 1<sup>er</sup> mars au 3 septembre 1881. Ces chiffres diffèrent si peu l'un de l'autre qu'il semblerait qu'aucun refroidissement de l'air ne se soit produit durant l'année en question, si on ne devait pas tenir compte en même temps de la différence de température entre le semestre d'hiver et le semestre d'été, différence tout à fait indépendante du refroidissement graduel de l'air dans le souterrain.

La température moyenne de la roche du tunnel tout entier était primitivement de 23.<sup>43</sup><sup>0</sup> C. La température moyenne de l'air s'élevait, en revanche,

|   |                                     |
|---|-------------------------------------|
| le 29 février 1880 (après-midi après le percement de la galerie), | à 21. <sup>69</sup> <sup>0</sup> C. |
| » 11 » 1881 . . . . .   | à 19. <sup>80</sup> <sup>0</sup> C. |
| » 24 » 1882 . . . . .   | à 14. <sup>15</sup> <sup>0</sup> C. |

Ces trois chiffres sont d'autant mieux comparables qu'ils se

TEMPÉRATURE DE L'AIR DANS LE GRAND TUNNEL DU ST-GOTHARD EN 1881.  
(N = Courant du Nord. S = Courant du Sud. 0 = Courant nul ou alternatif très faible.)

| Points d'observation. |                | Température de la roche fraîchement mise à découvert | Date des observations et température de l'air en degrés centigrades. |         |         |         |         |         |                          |             |         |         |         |         |         |         |         |         |
|-----------------------|----------------|--|--|---------|---------|---------|---------|---------|--------------------------|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                       |                |  | Janvier  |         |         |         |         |         | Février                  | Mars        |         | Avril   | Mai     | Juin    | Juillet | Août    | Sept.   | Nov.    |
|                       |                |  | 3  | 4       | 22      | 24      | 26      | 28      | 11                       | 15          | 30      | 1       | 3       | 21      | 8       | 24      | 3       | 1       |
| COTE NORD             | Portail Nord.  | —  | + 3.2  | + 4.8   | - 8.5   | - 5.9   | + 0.4   | + 4.2   | - 0.4                    | + 3.9       | + 5.6   | + 9.9   | + 7.8   | + 18.1  | + 17.2  | + 11.3  | + 7.8   | - 1.2   |
|                       | Profils 0- 100 | 8.8  | —  | —       | —       | Glace   | —       | —       | —                        | —           | —       | 13.55 S | —       | —       | —       | —       | —       | —       |
|                       | » 100- 200     | 11.6   | —  | —       | —       | —       | —       | —       | 15.00 NS                 | —           | —       | —       | —       | —       | —       | —       | —       | —       |
|                       | » 2400-2500    | 21.8   | —  | —       | —       | —       | —       | —       | 22.50 S                  | —           | —       | 22.10 S | —       | —       | —       | —       | —       | —       |
|                       | » 2600-2700    | 21.6   | —  | —       | —       | —       | —       | —       | —                        | —           | —       | —       | —       | —       | —       | 20.00 N | —       | —       |
|                       | » 3000-3100    | 19.5   | —  | —       | —       | —       | —       | —       | 25.00 S                  | —           | —       | 26.20 S | —       | —       | —       | 20.45 0 | —       | —       |
|                       | » 4700-4800    | 24.1   | —  | —       | —       | —       | —       | —       | 27.00 S                  | —           | —       | —       | —       | —       | —       | —       | —       | —       |
|                       | » 5000-5100    | 25.1   | —  | —       | —       | —       | —       | —       | —                        | —           | —       | 28.00 0 | —       | —       | —       | 22.55 0 | —       | —       |
|                       | » 5700-5800    | 28.6   | 28.35 S  | 28.64 S | 27.50 S | —       | —       | —       | —                        | { 29.55 S } | —       | 29.00 0 | —       | —       | —       | —       | —       | —       |
|                       | » 5800-5900    | 27.9   | —  | —       | 27.50 S | 27.00 S | 27.40 S | 28.45 S | —                        | { 28.65 S } | —       | —       | —       | —       | —       | —       | —       | —       |
|                       | » 6300-6400    | 28.6   | —  | —       | —       | —       | —       | —       | 29.20 0                  | —           | —       | —       | —       | —       | —       | —       | —       | —       |
|                       | » 6600-6700    | 29.4   | —  | —       | —       | —       | —       | —       | —                        | 29.95 S     | —       | 29.90 S | —       | —       | —       | —       | —       | —       |
|                       | » 6700-6800    | 29.7   | —  | —       | —       | —       | —       | 29.15 S | —                        | —           | —       | —       | —       | —       | —       | —       | —       | —       |
|                       | » 7000-7100    | 29.8   | —  | —       | —       | —       | —       | —       | 29.35 S                  | —           | —       | —       | —       | —       | —       | —       | —       | —       |
|                       | » 7300-7400    | 30.4   | —  | —       | —       | —       | —       | —       | —                        | —           | —       | —       | —       | —       | —       | 27.95 N | —       | —       |
|                       | » 7400-7460    | 30.4   | —  | —       | —       | —       | —       | —       | —                        | 29.55 S     | —       | 29.50 S | —       | —       | —       | —       | —       | —       |
|                       | COTE SUD       | » 7460-7400  | 30.2   | —       | —       | —       | —       | 28.90 S | 30.00 0                  | 29.55 S     | 30.70 0 | —       | —       | —       | —       | 28.95 N | 26.95 N | 20.50 N |
| » 7400-7300           |                | 29.5   | —  | —       | —       | —       | —       | —       | { 29.15 S <sup>2</sup> } | 30.60 N     | 29.50 S | 29.50 S | 30.20 S | 30.55 0 | —       | —       | —       |         |
| » 7300-7200           |                | 29.9   | —  | —       | —       | —       | —       | 29.40 N | —                        | —           | —       | —       | —       | —       | —       | 27.55 N | —       |         |
| » 7200-7100           |                | 30.5   | —  | —       | —       | —       | 28.80 S | —       | —                        | —           | —       | —       | —       | —       | —       | 27.80 N | —       |         |
| » 7100-7000           |                | 30.3   | —  | —       | —       | —       | —       | —       | —                        | —           | —       | 30.10 S | —       | —       | —       | —       | —       |         |
| » 6900-6800           |                | 30.5   | —  | —       | —       | —       | —       | —       | —                        | 30.40 N     | —       | —       | 30.25 0 | —       | —       | —       | —       |         |
| » 6800-6700           |                | 30.5   | —  | —       | —       | —       | —       | —       | —                        | —           | 29.60 S | —       | —       | —       | —       | —       | —       |         |
| » 6700-6600           |                | 30.9   | —  | —       | —       | —       | 28.25 S | —       | 28.05 S                  | —           | 28.10 S | —       | —       | —       | —       | 27.35 N | —       |         |
| » 6600-6500           |                | 30.7   | —  | —       | —       | —       | —       | —       | —                        | —           | —       | —       | 30.35 0 | 29.65 0 | —       | —       | —       |         |
| » 6500-6400           |                | 30.5   | —  | —       | —       | —       | —       | —       | —                        | —           | —       | 29.80 S | —       | —       | —       | —       | —       |         |
| » 6400-6300           |                | 30.4   | —  | —       | —       | —       | —       | —       | —                        | —           | 28.60 S | —       | —       | —       | —       | —       | —       |         |
| » 6300-6200           |                | 29.4   | —  | —       | —       | —       | —       | 29.30 N | —                        | —           | —       | —       | —       | —       | —       | —       | —       |         |
| » 6000-5900           |                | 30.4   | —  | —       | —       | —       | —       | —       | —                        | 29.50 N     | —       | —       | —       | —       | —       | —       | —       |         |
| » 5900-5800           |                | 29.3   | —  | —       | —       | —       | —       | —       | —                        | —           | 26.30 S | —       | —       | —       | —       | —       | —       |         |
| » 5800-6700           |                | 29.3   | —  | —       | —       | —       | —       | —       | —                        | —           | —       | 27.80 S | —       | —       | —       | —       | —       |         |
| » 5600-5500           |                | 29.6   | —  | —       | —       | —       | 27.05 S | 28.50 S | —                        | —           | —       | —       | —       | —       | —       | —       | —       |         |
| » 5300-5200           |                | 28.3   | —  | —       | —       | —       | —       | —       | 25.65 S                  | 28.60 N     | 25.70 S | —       | 28.60 S | —       | —       | —       | —       |         |
| » 5200-5100           | 28.5           | —  | —  | —       | —       | 26.75 S | —       | —       | —                        | —           | 27.40 S | —       | —       | —       | —       | —       |         |         |
| » 4200-4100           | 26.5           | —  | —  | —       | —       | —       | —       | —       | —                        | —           | 24.90 S | 26.80 S | 28.65 0 | —       | —       | —       |         |         |
| » 4000-3900           | 27.4           | —  | —  | —       | —       | 24.00 S | 25.00 S | —       | —                        | 23.00 S     | —       | —       | —       | —       | —       | —       |         |         |
| » 3500-3400           | 26.2           | —  | —  | —       | —       | —       | 23.30 0 | —       | —                        | —           | —       | —       | —       | —       | —       | —       |         |         |
| » 3000-2900           | 25.7           | —  | —  | —       | —       | —       | —       | —       | —                        | —           | 18.40 S | —       | —       | —       | —       | —       |         |         |
| » 2100-2000           | 20.5           | —  | —  | —       | —       | —       | —       | —       | —                        | —           | 13.30 S | —       | —       | —       | —       | —       |         |         |
| » 200- 100            | 9.0            | —  | —  | —       | —       | —       | —       | 9.30 0  | —                        | —           | —       | —       | —       | —       | —       | —       |         |         |
| » 100- 0              | 8.4            | —  | —  | —       | —       | —       | —       | —       | —                        | —           | —       | —       | —       | —       | —       | —       |         |         |
| Portail Sud.          | —              | + 0.1  | - 0.1  | - 8.7   | - 10.9  | - 1.9   | - 0.9   | - 0.1   | + 3.8                    | + 8.3       | + 3.4   | + 1.7   | + 16.7  | + 18.9  | + 12.1  | + 12.3  | + 4.9   |         |

\* Courant du Nord, à la base, et du Sud au faite. \* Partie éboulée. \* Cunette dans la partie éboulée.

rappellent tous au même mois de l'année, mais il faut se garder de les prendre pour des températures moyennes annuelles. Il doivent être considérés plutôt comme des minimums moyens. Le 2 octobre 1880, par exemple, la température moyenne du tunnel entier s'élevait à 22.24° C., après être descendue le 2 avril de la même année à 19.12° C. Avec les forts courants d'air actuels, l'influence de la température extérieure se fait sentir, du côté d'où ces courants viennent, à une grande profondeur dans le souterrain. C'est ainsi que les 18 et 19 février 1882, avec un courant du Nord constant de 2.84 m. par seconde, la température est descendue dans l'espace de 24 heures, au kilomètre 8, graduellement de 20.4° à 20.0° C. Le courant du Sud fait remonter la température encore plus rapidement.

## HUMIDITÉ DE L'AIR

Le degré d'humidité de l'air dans le tunnel, qui exerce une

si grande influence sur la santé des ouvriers, a pris, depuis l'achèvement du souterrain, des proportions plus favorables, comme le montre le résumé ci-dessous des observations faites le 11 février 1881 et le 24 février 1882. Avec un courant du Nord fort et soutenu, l'humidité relative de la partie voisine du point culminant du tunnel (km. 8.) tombe maintenant à 89 (24 février 1882) et même à 81 et 83.5 % (18-19 février 1882). A partir de ce point et en avançant vers le Sud, elle s'élève cependant encore à 95 ou 100 %. Lorsqu'il règne un courant du Sud, la partie méridionale du tunnel ne devient jamais aussi sèche que la partie septentrionale avec un courant du Nord, et l'humidité remonte même simultanément, dans cette dernière, à 90 ou 97 %. Dans le voisinage des embouchures du tunnel, les courants spéciaux qui se forment vers les têtes modifient le degré d'humidité de l'air aussi bien que sa température.

## HUMIDITÉ DE L'AIR PENDANT LE BATTAGE AU LARGE ET DANS LE TUNNEL ACHÉVÉ

| 11 Février 1881.           |                 |             |          | 24 Février 1882.           |                 |             |          |
|----------------------------|-----------------|-------------|----------|----------------------------|-----------------|-------------|----------|
| Distance du portail Nord.  | Thermomètre sec | Humidité    |          | Distance du portail Nord   | Thermomètre sec | Humidité    |          |
|                            |                 | absolue     | relative |                            |                 | absolue     | relative |
| Mètres                     | C°              | Millimètres | %        | Mètres                     | C°              | Millimètres | %        |
| Extérieur, embouchure Nord | - 5.2           | 3.0         | 98       | Extérieur, embouchure Nord | 4.8             | ?           | ?        |
| —                          | —               | —           | —        | 50                         | 2.8             | 4.1         | 73.5     |
| 200                        | 5.0             | 5.7         | 87       | —                          | —               | —           | —        |
| —                          | —               | —           | —        | 1000                       | 5.2             | 5.8         | 86.5     |
| —                          | —               | —           | —        | 2000                       | 7.4             | 7.3         | 94       |
| —                          | —               | —           | —        | 3000                       | 9.9             | 8.8         | 97       |
| —                          | —               | —           | —        | 4000                       | 12.2            | 9.7         | 92       |
| —                          | —               | —           | —        | 5000                       | 13.9            | 11.2        | 96       |
| —                          | —               | —           | —        | 6000                       | 15.7            | 12.5        | 93       |
| —                          | —               | —           | —        | 7000                       | 17.5            | 13.4        | 90       |
| 7100                       | 29.3            | 30.3        | 100      | —                          | —               | —           | —        |
| 7500                       | 30.0            | 30.9        | 98       | —                          | —               | —           | —        |
| 7620                       | 29.8            | 30.5        | 98       | —                          | —               | —           | —        |
| —                          | —               | —           | —        | 8000                       | 19.2            | 14.7        | 89       |
| 8700                       | 29.3            | 29.8        | 100      | —                          | —               | —           | —        |
| —                          | —               | —           | —        | 9000                       | 19.4            | 15.9        | 95       |
| 9350                       | 28.7            | 28.9        | 99       | —                          | —               | —           | —        |
| —                          | —               | —           | —        | 10000                      | 19.8            | 16.6        | 98       |
| —                          | —               | —           | —        | 10000*                     | 20.0            | 16.8        | 98       |
| —                          | —               | —           | —        | 11000                      | 19.6            | 16.5        | 99       |
| —                          | —               | —           | —        | 12000                      | 18.6            | 15.6        | 99       |
| —                          | —               | —           | —        | 13000                      | 16.4            | 13.9        | 100      |
| —                          | —               | —           | —        | 14000                      | 12.8            | 10.6        | 98       |
| —                          | —               | —           | —        | 14650                      | 9.0             | 6.7         | 78       |
| 14750                      | 9.2             | 8.6         | 98       | —                          | —               | —           | —        |
| Extérieur, embouchure Sud  | - 0.2           | 4.2         | 91.5     | Extérieur, embouchure Sud  | 5.2             | 3.4         | 51       |

Du portail Sud au km. 11 courant du Nord; puis courant oscillant; à travers le portail Nord, courant du Nord.

Du portail Sud au km. 12, courant du Sud; puis faible courant du Nord jusqu'au portail Nord.

\* Après le passage du train venant de Geschenen.

## VENTILATION

Les conditions qui régissent la circulation de l'air dans le tunnel sont résumées comme suit dans le Rapport annuel de la Direction du chemin de fer du Gothard pour l'année 1880 :

« Le courant d'air naturel à travers le tunnel dépend de la différence de pression atmosphérique sur les deux versants

du Gothard, laquelle varie avec la hauteur du baromètre, la température et l'humidité. Le courant vient du côté où règne la plus forte pression et sa vitesse croît comme la racine carrée de la différence existant entre les pressions des deux versants.

» La colonne d'air de 36 m. de hauteur dans le tunnel peut accroître ou diminuer la vitesse du courant, selon qu'elle est plus légère ou plus lourde que l'air extérieur et selon que le

courant se dirige du Nord au Sud ou vice-versâ. La *dilatation de l'air* pénétrant dans le tunnel et s'y échauffant, ainsi que les *frottements* de tout genre sont autant d'obstacles à la circulation de l'air dans le tunnel. Les frottements diminuent dans la mesure de l'avancement des travaux en pleine section et du revêtement du tunnel. C'est pourquoi, les mêmes conditions atmosphériques étant données, il circulera dans le *tunnel achevé* un volume d'air plus considérable que maintenant. »

Ces principes se trouvent résumés dans la formule suivante, aussi simplifiée que possible, et dont les constantes ne sont directement valables que pour le tunnel du Saint-Gothard, en tant qu'elles dérivent des conditions météorologiques locales, de la longueur, de la section, du profil en long, etc., de ce tunnel, ou qu'elles ont été déterminées par des observations faites sur place.

Appelant  $v$  la vitesse (en mètres par seconde) du courant d'air naturel,  $d'$  le poids de 1 m<sup>3</sup> d'air au portail Nord,  $d''$  le poids de 1 m<sup>3</sup> au portail Sud et  $\mu$  un coefficient d'effet correspondant aux résistances dues aux frottements de tout genre, on peut écrire :

$$\text{Pour le courant du Nord } v = \mu 281.8 \sqrt{d' - d'' + 0.00032}$$

$$\text{» » du Sud } v = \mu 281.8 \sqrt{d'' - d' - 0.00032}$$

Le chiffre 0.00032 (placé sous le signe radical) provient de la différence du poids de l'air au milieu du tunnel et en avant des deux portails. Depuis le jour du percement de la galerie jusqu'au 11 février 1881, 1 m<sup>3</sup> d'air pesait au milieu du tunnel de 0.0734 à 0.1592, en moyenne 0.1246 kg. de moins que simultanément 1 m<sup>3</sup> d'air aux deux embouchures. Le terme en question compris sous le radical variait par conséquent entre 0.00019 et 0.00044. On a admis comme *constante* la moyenne de 10 séries d'observations (0.00032), parce que les différences précitées sont de trop peu d'importance pour exercer une influence sur le résultat final. La *différence* entre le poids de l'air du tunnel et de l'air extérieur a été jusqu'ici la plus forte au printemps, la plus faible en automne, et elle doit en somme graduellement diminuer. Le 18-19 février 1882, elle était de 0.0821 kg., de sorte que pour ces jours-là le terme 0.0003 aurait dû être remplacé dans la formule par le terme 0.0002.

Les densités  $d$  se calculent aisément au moyen des hauteurs barométriques correspondantes  $b$  mm, réduites à 0° et à la ligne médiane des portails, et combinés avec les températures de l'air  $t^0$  à Göschenen et Airolo, suivant la formule

$$d = \frac{0.00171 \times b}{1 + 0.00367 t}$$

L'influence de l'humidité de l'air n'a pour le moment pas encore été prise en considération dans la construction des formules ci-dessus. Quant au coefficient  $\mu$ , résumant l'effet de toutes les résistances dues au frottement, etc., le tableau de la page suivante montre combien il a graduellement augmenté au fur et à mesure de l'avancement des travaux d'excavation.

Chacune des vitesses indiquées dans la col. 11 représente la valeur moyenne d'une série de mesurages exécutés pendant les heures mentionnées à la col. 3 pour divers profils du tunnel. Les vitesses locales ont toutes été réduites au même profil de 41 m<sup>2</sup> de section, quoiqu'elles ne varient pas exactement en

<sup>4</sup> OBSERVATION. Le poids de 1 m<sup>3</sup> d'air à 0° et 760 mm. de pression barométrique est fixé ici et dans ce qui suit à 1,2995 kg.

raison directe et inverse de l'aire des sections transversales du souterrain. La plupart des séries d'observations, tombant sur des périodes où la direction des courants changeait, ont dû être exclues du tableau, parce qu'il se produit pendant les changements dans le mouvement de l'air une certaine confusion que les matériaux d'observation recueillis jusqu'à présent ne permettent pas encore de déchiffrer.

Il ressort de la col. 13 que du 29 février au 14 avril 1880, il n'a circulé en moyenne (abstraction faites de l'observation N° 1) dans le tunnel, à cause des résistances considérables dues au frottement, etc., que 0.007 du volume d'air qu'aurait pu débiter le courant naturel en l'absence de tout obstacle. Du 18 septembre 1880 au 11 février 1881, l'effet moyen de la ventilation est monté à 0.019 (sauf pour l'observation N° 10) c'est-à-dire qu'il est devenu 2.7 fois plus intense. Il est facile de se rendre compte par les diagrammes mensuels du progrès des travaux (et en général aussi par les diagrammes des progrès annuels joints aux rapports de la Direction pour 1879 et 1880) des obstacles qui ont dû être écartés dans le souterrain pour que cet effet croissant de la ventilation naturelle ait pu se produire.

Pour bien juger de la question de la ventilation du tunnel, il est nécessaire de déterminer par des observations directes continues le coefficient d'effet du courant d'air naturel dans le souterrain achevé. Dans ce but, on avait essayé de mesurer la vitesse de l'air à partir de la fenêtre d'un wagon faisant partie d'un train traversant le tunnel (dans ce cas la vitesse du train devait être additionnée algébriquement à la vitesse indiquée par l'anémomètre). Cette tentative n'a pu avoir de succès, parce qu'il se forme immédiatement à côté du train des courants séparés qui rendent illusoires les résultats obtenus par cette sorte de mesurage. Des observations anémométriques prolongées pendant plusieurs heures sur divers points du tunnel ont permis de constater que les trains traversant le souterrain amènent dans les courants naturels de l'air assez de confusion pour que les mesurages isolés de la vitesse de l'air ne conduisent qu'à des erreurs sur le courant réel et moyen à travers le tunnel entier (pour certaines conditions météorologiques données). Il ne reste donc pas d'autre expédient que d'exécuter des séries d'observations, embrassant chaque fois une période de 24 heures, et qui indiquent par conséquent une vitesse *moyenne*, dépendant des conditions atmosphériques simultanées à l'extérieur du tunnel, ainsi que de l'ensemble du mouvement des trains.

Une série d'observations continues de ce genre a été faite les 18 et 19 février 1882 à partir de et jusqu'à 5 heures de l'après-midi, dans la partie culminante du tunnel, vers le km. 8. Les résultats en sont reproduits sous N° 11 dans le tableau ci-dessus. On y voit qu'avec une section de tunnel libre de 43.2 m<sup>2</sup>, la vitesse moyenne du courant du Nord, fort et continu, était de 2.84 m. par seconde. La vitesse variait entre 1.64 et 3.52 m. Le tableau précité montre quelles étaient alors pour les deux embouchures du tunnel la hauteur moyenne du baromètre, la température et la densité moyenne de l'air. En introduisant ces facteurs dans la formule indiquée plus haut, on trouve pour vitesse théorique de l'air 35.68 m. et par conséquent pour coefficient d'effet  $\mu = 2.84 : 35.68 = 0.0796$ .

Depuis 1880-1881 et après l'enlèvement de tous les obstacles qui s'opposaient à la circulation de l'air, l'effet de la ventilation naturelle du souterrain s'est donc amélioré dans la proportion de 0.0796 : 0.019 c'est-à-dire 4.2 fois.

Si le coefficient d'effet  $\mu$  était déterminé plus exactement encore, en poursuivant, pour diverses conditions atmosphériques typiques, les mesurages commencés, on réussirait en fin de compte à pouvoir calculer à chaque instant le sens et la

force du courant d'air à travers le tunnel au moyen des seules observations météorologiques de Gæschenen et d'Airolo.

En introduisant pour la valeur de  $\mu$  dans les formules indiquées ci-dessus le coefficient 0.0796, déterminé par la dernière série d'observations, ces formules prennent la forme suivante :

$$\begin{aligned} \text{Courant du Nord : } v &= 22.43 \sqrt{d' - d'' + 0.0003} \\ \text{» du Sud : } v &= 22.43 \sqrt{d'' - d' - 0.0003} \end{aligned}$$

DENSITÉ DE L'AIR EXTÉRIEUR AUX EMOUCHURES DU TUNNEL ET CIRCULATION SIMULTANÉE DE L'AIR A TRAVERS LE SOUTERRAIN

| N° des observations. | DATE              | HEURES              | Densité de l'air extérieur à mi-hauteur des portails du tunnel pendant les heures d'observation. (Col. 3) |             |                                    |                      |             |                                     | Vitesse moyenne du courant dans une section transversale de 41 m <sup>2</sup> |                    |                      |   |
|----------------------|-------------------|---------------------|---|-------------|------------------------------------|----------------------|-------------|-------------------------------------|---|--------------------|----------------------|---|
|                      |                   |                     | Gæschenen 1112 m.   |             |                                    | Airolo 1148 m.       |             |                                     | Calculée (sans tenir compte des frottements)                                  | Observée           | Direction du courant | Coefficient d'effet $\mu$ (col. 11) / (col. 10) |
|                      |                   |                     | Baromètre réduit à 0  | Thermomètre | Poids de 1 m <sup>3</sup> d'air d' | Baromètre réduit à 0 | Thermomètre | Poids de 1 m <sup>3</sup> d'air d'' |   |                    |                      |   |
| 4                    | 2                 | 3                   | 4   | 5           | 6                                  | 7                    | 8           | 9                                   | 10  | 11                 | 12                   | 13  |
| <b>1880</b>          |                   |                     |   |             |                                    |                      |             |                                     |   |                    |                      |   |
| 1                    | 29 février .....  | XII-V 1/4 .....     | 664.5   | 3.0         | 1.1240                             | 661.2                | 4.9         | 1.1106                              | 32.90   | 0.125              | N <sup>1</sup>       | 0.004   |
| 2                    | 17 mars .....     | X-V 1/4 .....       | 667.0   | 3.6         | 1.1256                             | 663.0                | 7.3         | 1.1041                              | 41.45   | 0.305              | N                    | 0.007   |
| 3                    | 19 » .....        | X-VI .....          | 672.3   | 3.4         | 1.1356                             | 668.3                | 8.0         | 1.1103                              | 45.12   | 0.400              | N                    | 0.009   |
| 4                    | 2 avril .....     | X-V .....           | 664.1   | 3.1         | 1.1226                             | 660.9                | 5.5         | 1.1079                              | 34.34   | 0.219              | N <sup>2</sup>       | 0.006   |
| 5                    | 14 » .....        | XI-VI .....         | 670.8   | 9.7         | 1.1077                             | 669.0                | 4.9         | 1.1443                              | 53.58   | 0.426              | S                    | 0.008   |
| 6                    | 18 septembre...   | X-VII 1/2 .....     | 670.9   | 9.9         | 1.1070                             | 668.4                | 12.1        | 1.0939                              | 32.43   | 0.653              | N                    | 0.020   |
| 7                    | 2 octobre .....   | X 1/2-VII 1/2 ..... | 669.8   | 13.0        | 1.0932                             | 667.1                | 12.9        | 1.0892                              | 18.49   | 0.322              | N                    | 0.017   |
| 8                    | 14 » .....        | XI-VIII 1/2 .....   | 673.2   | 4.2         | 1.1338                             | 668.8                | 8.7         | 1.1085                              | 45.12   | 0.960              | N                    | 0.021   |
| 9                    | 10 novembre ...   | VIII 1/2-VI .....   | 670.3   | 1.8         | 1.1385                             | 665.9                | 4.9         | 1.1187                              | 39.76   | 0.790              | N                    | 0.020   |
| <b>1881</b>          |                   |                     |   |             |                                    |                      |             |                                     |   |                    |                      |   |
| 10                   | 11 février .....  | X 1/2-VI .....      | 650.9   | 0.0         | 1.1130                             | 649.0                | -0.1        | 1.1098                              | 16.86   | 0.202              | N <sup>3</sup>       | 0.012   |
| <b>1882</b>          |                   |                     |   |             |                                    |                      |             |                                     |   |                    |                      |   |
| 11                   | 18-19 février ... | V-V après-midi.     | 674.0   | -0.8        | 1.1560                             | 669.5                | 1.1         | 1.1403                              | 35.68   | 2.840 <sup>4</sup> | N                    | 0.080   |

<sup>1</sup> Courant du Nord pendant les observations; le courant du Sud régnant ensuite n'entre pas en ligne de compte.  
<sup>2</sup> Changement de courant pendant les observations; le courant du Nord initial est seul entré en ligne de compte.  
<sup>4</sup> Section transversale libre de de 43.19 m<sup>2</sup> (km. 8).

On voit que le courant d'air devient nul aussitôt que 1 m<sup>3</sup> d'air pèse 0.0003 kg. de plus au portail Sud qu'au portail Nord. Une vitesse de 1 m. est suffisante, avec l'horaire actuel des trains, pour chasser au moins une fois par jour la fumée du tunnel tout entier. Le courant du Nord atteint cette vitesse lorsque 1 m<sup>3</sup> d'air pèse 0.00167 kg. de plus à l'embouchure Nord que simultanément à l'embouchure Sud. Cet excédant de poids suppose, qu'avec une température 0° sur les deux versants, le baromètre s'élève au portail Nord à 0.96 mm. au-dessus de sa hauteur normale de 667.75 mm., tandis qu'il s'y maintient au portail Sud (664.37 mm.) Le même phénomène se produit, du reste, aussi lorsque le baromètre reste des deux côtés à sa hauteur normale, tandis que l'air est de 0.4° C. plus chaud à l'embouchure d'Airolo qu'à celle de Gæschenen. Le courant du Sud atteint de son côté une vitesse de 1 m. lorsque le m<sup>3</sup> d'air pèse 0.00231 kg. de plus au portail Sud qu'au portail Nord, c'est-à-dire que le baromètre monte à Airolo à 1.35 mm. au-dessus de sa hauteur normale (Gæschenen restant normal) ou que la température de l'air à Airolo est de 0.55° C. inférieure à la température simultanée à Gæschenen (la pression barométrique restant la même de part et d'autre).

On peut voir par tout ce qui précède combien les moindres variations atmosphériques sur les deux versants du Gothard suffisent pour faire entièrement tourner le courant d'air naturel à travers le tunnel, ou le faire simplement osciller, ce qui, en pratique, revient à l'annuler. Les chiffres ci-dessus montrent en outre que les chances sont notablement plus grandes pour le courant du Nord que pour celui du Sud.

Nous venons de déterminer la vitesse des courants d'air dans le tunnel, mais au point de vue de la ventilation, il est tout aussi important de déterminer les changements de courants provoqués par les conditions atmosphériques externes. Les observations météorologiques faites pendant plusieurs années à Gæschenen et Airolo fournissent sur ce point les bases statistiques voulues. Nous donnons ci-après, pour les mois de février, avril, août et octobre<sup>1</sup> un extrait d'un tableau plus complet comprenant pour chaque jour de l'année 1881 les hauteurs barométriques et thermométriques observées et les den-

<sup>1</sup> OBSERVATION. Le mois de février correspond au minimum de fréquence du courant du Nord (hiver), le mois d'août à son maximum (été). Les mois d'avril et d'octobre correspondent à la moyenne de fréquence du courant du Nord au printemps et en automne.

DENSITÉ DE L'AIR DES DEUX CÔTÉS DU SOUTERRAIN ET COURANT D'AIR SIMULTANÉ A TRAVERS LE TUNNEL.

| Date | Avril 1881.                     |                       |   |                                 |                      |   |   |                                 | Octobre 1881.                   |                      |   |                                 |                      |   |   |                                 |
|------|---------------------------------|-----------------------|---|---------------------------------|----------------------|---|---|---------------------------------|---------------------------------|----------------------|---|---------------------------------|----------------------|---|---|---------------------------------|
|      | Goeschenen                      |                       |   | Airolo                          |                      |   | Excédent de densité $d'-d''$<br>+ du côté Nord<br>- du côté Sud | Courant observé dans le tunnel. | Goeschenen                      |                      |   | Airolo                          |                      |   | Excédent de densité $d'-d''$<br>+ du côté Nord<br>- du côté Sud | Courant observé dans le tunnel. |
|      | Baromètre réduit à 0° (1112 m.) | Température de l'air. | Densité de l'air. Poids de 1 <sup>m3</sup> $d'$ | Baromètre réduit à 0° (1148 m.) | Température de l'air | Densité de l'air Poids de 1 <sup>m3</sup> $d''$ |   |                                 | Baromètre réduit à 0° (1112 m.) | Température de l'air | Densité de l'air. Poids de 1 <sup>m3</sup> $d'$ | Baromètre réduit à 0° (1148 m.) | Température de l'air | Densité de l'air Poids de 1 <sup>m3</sup> $d''$ |   |                                 |
| 1    | 661.5                           | 8.6                   | 1.0966  | 660.4                           | 3.0                  | 1.1170  | - 0.0204  | S'                              | 667.4                           | 4.4                  | 1.1231  | 664.5                           | 7.2                  | 1.1069  | + 0.0162  | N, S?                           |
| 2    | 660.4                           | 7.5                   | 1.0991  | 657.3                           | 7.0                  | 1.0959  | + 0.0032  | S, N                            | 666.8                           | 4.7                  | 1.1209  | 663.1                           | 7.3                  | 1.1043  | + 0.0166  | N'                              |
| 3    | 659.9                           | 6.6                   | 1.1018  | 657.4                           | 4.4                  | 1.1063  | - 0.0045  | S, N                            | 665.5                           | 3.9                  | 1.1220  | 662.1                           | 5.9                  | 1.1082  | + 0.0138  | N                               |
| 4    | 661.7                           | 2.7                   | 1.1204  | 659.2                           | 6.9                  | 1.0991  | + 0.0210  | S, O, N?                        | 664.9                           | 1.3                  | 1.1301  | 660.2                           | 3.1                  | 1.1162  | + 0.0139  | N                               |
| 5    | 660.6                           | 9.2                   | 1.0928  | 659.3                           | 5.3                  | 1.1059  | - 0.0131  | S                               | 666.3                           | 0.5                  | 1.1373  | 663.4                           | 1.3                  | 1.1290  | + 0.0083  | N                               |
| 6    | 660.3                           | 9.1                   | 1.0927  | 658.7                           | 7.6                  | 1.0958  | - 0.0031  | S°                              | 672.1                           | 1.3                  | 1.1438  | 668.8                           | 2.7                  | 1.1324  | + 0.0114  | N, S?                           |
| 7    | 662.1                           | 6.5                   | 1.1059  | 660.1                           | 8.1                  | 1.0962  | + 0.0097  | S, O, N                         | 673.4                           | 2.2                  | 1.1423  | 671.5                           | 7.0                  | 1.1195  | + 0.0228  | N, S?                           |
| 8    | 666.2                           | 6.3                   | 1.1135  | 663.9                           | 8.9                  | 1.0979  | + 0.0156  | N°                              | 670.6                           | 10.7                 | 1.1035  | 669.3                           | 7.0                  | 1.1159  | - 0.0124  | S'                              |
| 9    | 667.6                           | 7.3                   | 1.1119  | 664.8                           | 8.6                  | 1.1021  | + 0.0098  | N°                              | 666.3                           | 7.8                  | 1.1077  | 663.7                           | 6.9                  | 1.1069  | + 0.0008  | S, N                            |
| 10   | 668.0                           | 6.9                   | 1.1141  | 665.2                           | 6.2                  | 1.1120  | + 0.0021  | N, O, S                         | 669.6                           | 5.4                  | 1.1228  | 664.8                           | 7.5                  | 1.1064  | + 0.0164  | N'                              |
| 11   | 666.3                           | 6.9                   | 1.1113  | 664.0                           | 6.3                  | 1.1198  | + 0.0015  | N, O, S                         | 668.6                           | 4.3                  | 1.1256  | 664.5                           | 7.8                  | 1.1047  | + 0.0209  | N'                              |
| 12   | 667.4                           | 7.3                   | 1.1115  | 664.2                           | 9.8                  | 1.0964  | + 0.0151  | N, O, S?                        | 668.1                           | 6.3                  | 1.1167  | 664.1                           | 10.0                 | 1.0955  | + 0.0212  | N'                              |
| 13   | 667.4                           | 9.1                   | 1.1045  | 666.2                           | 4.7                  | 1.1199  | - 0.0154  | S'                              | 667.1                           | 6.9                  | 1.1126  | 663.8                           | 8.8                  | 1.0996  | + 0.0130  | N, S                            |
| 14   | 669.0                           | 6.9                   | 1.1158  | 667.3                           | 3.2                  | 1.1278  | - 0.0120  | S'                              | 664.5                           | 10.9                 | 1.0927  | 663.3                           | 8.4                  | 1.1004  | - 0.0077  | N, S                            |
| 15   | 669.1                           | 7.3                   | 1.1144  | 667.6                           | 2.9                  | 1.1296  | - 0.0152  | S'                              | 667.5                           | 4.9                  | 1.1214  | 663.4                           | 7.1                  | 1.1056  | + 0.0157  | N                               |
| 16   | 668.0                           | 7.2                   | 1.1130  | 666.6                           | 5.4                  | 1.1177  | - 0.0047  | S°                              | 671.5                           | - 1.7                | 1.1555  | 667.8                           | 1.1                  | 1.1368  | + 0.0187  | N'                              |
| 17   | 668.1                           | 9.0                   | 1.1060  | 667.0                           | 6.9                  | 1.1124  | - 0.0064  | S'                              | 673.5                           | - 0.8                | 1.1551  | 669.6                           | 0.9                  | 1.1383  | + 0.0168  | N'                              |
| 18   | 666.1                           | 10.4                  | 1.0972  | 664.6                           | 6.3                  | 1.1108  | - 0.0136  | S'                              | 671.0                           | - 1.9                | 1.1554  | 665.9                           | 0.1                  | 1.1382  | + 0.0172  | N, S                            |
| 19   | 657.5                           | 8.9                   | 1.0889  | 655.3                           | 7.6                  | 1.0902  | - 0.0913  | S, N                            | 666.3                           | 1.2                  | 1.1344  | 664.8                           | 0.5                  | 1.1388  | - 0.0044  | S                               |
| 20   | 655.9                           | 0.2                   | 1.1207  | 651.5                           | 6.3                  | 1.0889  | + 0.0318  | N'                              | 666.1                           | 3.3                  | 1.1254  | 665.0                           | 0.5                  | 1.1350  | - 0.0096  | S'                              |
| 21   | 656.8                           | 0.8                   | 1.1198  | 652.5                           | 5.6                  | 1.0933  | + 0.0265  | N                               | 660.1                           | 1.8                  | 1.1214  | 657.2                           | 3.4                  | 1.1198  | + 0.0016  | S, N                            |
| 22   | 658.8                           | - 1.3                 | 1.1319  | 654.2                           | 0.7                  | 1.1158  | + 0.0161  | N°                              | 661.3                           | 7.7                  | 1.0998  | 660.7                           | 4.6                  | 1.1110  | - 0.0112  | S'                              |
| 23   | 665.0                           | - 0.1                 | 1.1376  | 661.4                           | 1.1                  | 1.1264  | + 0.0112  | N                               | 658.4                           | 8.3                  | 1.0927  | 657.2                           | 3.2                  | 1.1108  | - 0.0181  | S, N                            |
| 24   | 667.1                           | 0.4                   | 1.1391  | 663.3                           | 3.1                  | 1.1215  | + 0.0176  | N°                              | 660.1                           | 5.7                  | 1.1057  | 656.8                           | 6.7                  | 1.0961  | + 0.0096  | N°                              |
| 25   | 671.2                           | 2.8                   | 1.1361  | 667.4                           | 5.5                  | 1.1187  | + 0.0174  | N°                              | 657.3                           | 5.9                  | 1.1002  | 655.0                           | 6.4                  | 1.0944  | + 0.0058  | N, S?                           |
| 26   | 666.3                           | 2.4                   | 1.1295  | 663.4                           | 5.4                  | 1.1124  | + 0.0171  | N°                              | 662.2                           | - 0.7                | 1.1353  | 658.1                           | 2.7                  | 1.1143  | + 0.0210  | N                               |
| 27   | 668.2                           | 0.1                   | 1.1422  | 664.5                           | 2.9                  | 1.1243  | + 0.0179  | N°                              | 665.1                           | 2.3                  | 1.1278  | 663.2                           | 2.0                  | 1.1258  | + 0.0020  | S°?                             |
| 28   | 668.8                           | - 0.1                 | 1.1441  | 665.0                           | 2.3                  | 1.1276  | + 0.0165  | N°                              | 664.8                           | 0.0                  | 1.1368  | 662.5                           | 2.9                  | 1.1209  | + 0.0159  | S, N?                           |
| 29   | 672.7                           | 0.5                   | 1.1482  | 668.4                           | 1.9                  | 1.1350  | + 0.0132  | N°                              | 663.5                           | - 0.9                | 1.1383  | 659.0                           | 2.4                  | 1.1170  | + 0.0213  | N'                              |
| 30   | 669.9                           | 7.2                   | 1.1161  | 668.1                           | 7.1                  | 1.1135  | + 0.0026  | N, O, S                         | 661.5                           | - 2.7                | 1.1425  | 657.3                           | 0.6                  | 1.1215  | + 0.0210  | N                               |
| 31   |                                 |                       |   |                                 |                      |   |   |                                 | 661.9                           | - 2.2                | 1.1410  | 656.8                           | 0.2                  | 1.1223  | + 0.0187  | N'                              |

Dans l'état d'avancement où se trouvait le tunnel en 1881, il a régné :

|   |   |         |
|---|---|---------|
| { | pendant 12 jours, ou 40 %, un courant du Nord ..... | N       |
|   | » 9 » ou 30 %, un courant nul ou alternatif..       | N, O, S |
|   | » 9 » ou 30 %, un courant du Sud.....               | S       |

Dans l'état d'avancement où se trouvait le tunnel en 1881, il a régné :

|   |  |         |
|---|--|---------|
| { | pendant 15 jours, ou 48.4 %, un courant du Nord..... | N       |
|   | » 11 » ou 35.5 %, un courant nul ou altern.          | N, O, S |
|   | » 5 » ou 16.1 %, un courant du Sud.....              | S       |

OBSERVATION. N = courant du Nord; S = courant du Sud; N, S = courant alternatif; N, O, S = courant nul ou alternatif. L'index ' indique un fort courant, l'index ° un courant faible.

DENSITÉ DE L'AIR DES DEUX CÔTÉS DU SOUTERRAIN ET COURANT D'AIR SIMULTANÉ A TRAVERS LE TUNNEL

| Date | Février 1881                    |                      |   |                                 |                      |  |   |                                | Août 1881                       |                      |   |                                 |                      |  |   |                                |
|------|---------------------------------|----------------------|---|---------------------------------|----------------------|--|---|--------------------------------|---------------------------------|----------------------|---|---------------------------------|----------------------|--|---|--------------------------------|
|      | Göschenen                       |                      |   | Airolo                          |                      |  | Excédent de densité d'-d''<br>+ du côté Nord<br>- du côté Sud | Courant observé dans le tunnel | Göschenen                       |                      |   | Airolo                          |                      |  | Excédent de densité d'-d''<br>+ du côté Nord<br>- du côté Sud | Courant observé dans le tunnel |
|      | Baromètre réduit à 0° (1112 m.) | Température de l'air | Densité de l'air. Poids de 1 <sup>m3</sup> d' | Baromètre réduit à 0° (1148 m.) | Température de l'air | Densité de l'air. Poids de 1 <sup>m3</sup> d'' |   |                                | Baromètre réduit à 0° (1112 m.) | Température de l'air | Densité de l'air. Poids de 1 <sup>m3</sup> d' | Baromètre réduit à 0° (1148 m.) | Température de l'air | Densité de l'air. Poids de 1 <sup>m3</sup> d'' |   |                                |
| 1    | 661.6                           | 0.9                  | 1.4276  | 658.8                           | 0.7                  | 1.4236   | + 0.0040  | N                              | 671.6                           | 20.9                 | 1.0668  | 669.5                           | 19.4                 | 1.0689   | - 0.0021  | S                              |
| 2    | 667.1                           | 1.1                  | 1.4362  | 663.7                           | 2.0                  | 1.4266   | + 0.0096  | N                              | 673.7                           | 17.3                 | 1.0834  | 669.9                           | 20.3                 | 1.0666   | + 0.0168  | S, N                           |
| 3    | 667.1                           | 2.3                  | 1.4312  | 665.2                           | - 1.7                | 1.4446   | - 0.0134  | N, S?                          | 676.4                           | 16.7                 | 1.0900  | 672.6                           | 20.0                 | 1.0716   | + 0.0184  | N                              |
| 4    | 662.9                           | 3.4                  | 1.4196  | 662.2                           | - 1.6                | 1.4390   | - 0.0194  | N, O, S?                       | 677.6                           | 17.3                 | 1.0897  | 673.9                           | 19.3                 | 1.0763   | + 0.0134  | N, O, S                        |
| 5    | 659.8                           | 3.3                  | 1.4148  | 658.5                           | - 1.2                | 1.4310   | - 0.0162  | S                              | 675.3                           | 19.4                 | 1.0782  |                                 |                      |  |   | S°                             |
| 6    | 661.5                           | - 2.0                | 1.4395  | 657.1                           | - 1.4                | 1.4294   | + 0.0101  | N°                             | 674.3                           | 21.1                 | 1.0704  |                                 |                      |  |   | N°                             |
| 7    | 667.1                           | - 2.4                | 1.4508  | 664.4                           | - 2.8                | 1.4478   | + 0.0030  | N, S                           | 673.3                           | 19.5                 | 1.0746  |                                 |                      |  |   | N°                             |
| 8    | 660.7                           | - 0.2                | 1.4306  | 659.6                           | - 1.5                | 1.4341   | - 0.0085  | N, S                           | 670.8                           | 19.5                 | 1.0707  |                                 |                      |  |   | N, S                           |
| 9    | 661.3                           | - 0.7                | 1.4337  | 658.4                           | - 0.1                | 1.4262   | + 0.0075  | N°                             | 667.9                           | 17.5                 | 1.0731  | Pas d'observations.             |                      |  |   | N, S                           |
| 10   | 658.4                           | 4.7                  | 1.4068  | 657.1                           | 2.1                  | 1.4150   | - 0.0082  | N, S                           | 669.7                           | 13.3                 | 1.0920  |                                 |                      |  |   | N, S                           |
| 11   | 651.3                           | - 0.7                | 1.4166  | 659.0                           | - 0.9                | 1.4134   | + 0.0032  | N, O, S                        | 671.4                           | 13.9                 | 1.0925  |                                 |                      |  |   | N'                             |
| 12   | 659.5                           | - 6.6                | 1.4557  | 656.0                           | - 5.2                | 1.4435   | + 0.0122  | N                              | 669.2                           | 14.4                 | 1.0870  |                                 |                      |  |   | N                              |
| 13   | 666.0                           | - 8.4                | 1.4750  | 661.5                           | - 5.0                | 1.4520   | + 0.0230  | N°                             | 664.2                           | 15.1                 | 1.0763  | 661.3                           | 15.0                 | 1.0719   | + 0.0044  | N, S                           |
| 14   | 665.1                           | - 4.2                | 1.4551  | 661.6                           | - 4.2                | 1.4489   | + 0.0062  | N, O, S                        | 664.6                           | 9.3                  | 1.0991  | 659.9                           | 15.4                 | 1.0682   | + 0.0309  | N                              |
| 15   | 664.1                           | 0.9                  | 1.4319  | 664.5                           | - 6.0                | 1.4618   | - 0.0299  | S'                             | 666.7                           | 7.9                  | 1.1080  | 663.4                           | 11.0                 | 1.0905   | + 0.0175  | N                              |
| 16   | 666.9                           | 4.1                  | 1.4235  | 666.8                           | - 2.6                | 1.4505   | - 0.0270  | S'                             | 666.3                           | 10.9                 | 1.0956  | 663.8                           | 11.2                 | 1.0904   | + 0.0052  | N, S                           |
| 17   | 667.5                           | 2.9                  | 1.4294  | 665.7                           | - 0.4                | 1.4400   | - 0.0106  | S                              | 662.0                           | 13.1                 | 1.0802  | 660.0                           | 11.4                 | 1.0834   | - 0.0032  | N, S                           |
| 18   | 668.1                           | 2.6                  | 1.4317  | 666.3                           | - 0.4                | 1.4410   | - 0.0093  | S°                             | 664.9                           | 10.9                 | 1.0934  | 661.0                           | 15.1                 | 1.0711   | + 0.0223  | N'                             |
| 19   | 669.7                           | 3.5                  | 1.4307  | 668.4                           | 0.5                  | 1.4408   | - 0.0101  | S                              | 670.2                           | 15.1                 | 1.0861  | 668.5                           | 14.7                 | 1.0847   | + 0.0014  | N, S                           |
| 20   | 670.8                           | 4.3                  | 1.4293  | 669.9                           | 1.6                  | 1.4388   | - 0.0095  | S                              | 670.8                           | 16.2                 | 1.0830  | 669.0                           | 15.4                 | 1.0829   | + 0.0001  | S'?                            |
| 21   | 671.4                           | 5.3                  | 1.4262  | 670.6                           | 2.3                  | 1.4371   | - 0.0109  | S°                             | 670.6                           | 17.5                 | 1.0777  | 668.2                           | 17.2                 | 1.0686   | + 0.0096  | S, N                           |
| 22   | 671.3                           | 3.9                  | 1.4318  | 670.3                           | 1.4                  | 1.4403   | - 0.0085  | S°                             | 679.9                           | 16.5                 | 1.0803  | 669.5                           | 17.7                 | 1.0719   | + 0.0084  | S, N                           |
| 23   | 671.6                           | 3.2                  | 1.4351  | 670.2                           | 0.7                  | 1.4431   | - 0.0080  | S                              | 668.2                           | 21.3                 | 1.0600  | 667.0                           | 18.9                 | 1.0667   | - 0.0067  | S'                             |
| 24   | 670.0                           | 1.9                  | 1.4378  | 667.9                           | - 1.7                | 1.4492   | - 0.0114  | S                              | 669.3                           | 12.0                 | 1.0964  | 666.8                           | 13.3                 | 1.0871   | + 0.0093  | S, N                           |
| 25   | 666.2                           | 1.9                  | 1.4245  | 664.1                           | - 1.0                | 1.4397   | - 0.0152  | S, O, N?                       | 669.9                           | 12.7                 | 1.0947  | Pas d'observations.             |                      |  |   | S, N                           |
| 26   | 663.4                           | 1.4                  | 1.4286  | 661.7                           | 0.2                  | 1.4306   | - 0.0020  | S                              | 667.8                           | 17.7                 | 1.0725  |                                 |                      |  |   | S                              |
| 27   | 662.4                           | 2.7                  | 1.4216  | 660.7                           | 0.3                  | 1.4285   | - 0.0069  | S                              | 665.5                           | 13.7                 | 1.0837  | 663.1                           | 13.0                 | 1.0824   | + 0.0013  | S, N                           |
| 28   | 660.7                           | 5.3                  | 1.4083  | 659.0                           | 0.5                  | 1.4248   | - 0.0165  | S'                             | 669.0                           | 4.2                  | 1.1267  | 664.4                           | 8.6                  | 1.1014   | + 0.0253  | N'                             |
| 29   |                                 |                      |   |                                 |                      |  |   |                                | 674.6                           | 9.3                  | 1.1156  | 671.2                           | 11.7                 | 1.1006   | + 0.0150  | N, S                           |
| 30   |                                 |                      |   |                                 |                      |  |   |                                | 670.7                           | 14.8                 | 1.0880  | 669.2                           | 12.0                 | 1.0966   | - 0.0086  | S'                             |
| 31   |                                 |                      |   |                                 |                      |  |   |                                | 668.2                           | 10.9                 | 1.0988  | 664.7                           | 12.9                 | 1.0853   | + 0.0135  | N                              |

Dans l'état d'avancement où se trouvait le tunnel en 1881, pendant 6 jours, ou 21.4% un courant du Nord ..... N  
 » 8 » ou 28.6% un courant nul ou alternatif. N, O, S  
 il a régné: » 14 » ou 50.0% un courant du Sud..... S

Dans l'état d'avancement où se trouvait le tunnel en 1881, pendant 18 jours, ou 60% un courant du Nord :... N  
 » 9 » ou 30% un cour<sup>t</sup> nul ou alternat. N, O, S  
 il a régné: » 3 » ou 10% un courant du Sud..... S

OBSERVATION. N = courant du Nord; S = courant du Sud; N, S = courant alternatif; N, O, S = courant nul ou alternatif. L'index ' indique un fort courant, l'index ° un courant faible.

sités de l'air qui en résultent, savoir  $d'$  pour Gœschenen et  $d''$  pour Airolo. La différence de ces densités  $y$  est mise en regard jour par jour avec la direction du courant d'air dans le tunnel relevée spécialement par les surveillants des travaux de la section d'Airolo<sup>4</sup>. Le tableau complet montre que lorsque la différence de densité  $d'-d''$  était positive (+), c'est-à-dire qu'il y avait excédent à Gœschenen, il se produisait un courant du Nord, tandis que le courant du Sud correspondait à une différence  $d'-d''$  négative (-) c'est-à-dire à un excédent de densité à Airolo. Nous donnons, en outre, dans un tableau spécial (page 9) le groupement par mois des résultats fournis par le tableau général en question sur la direction des courants à travers le tunnel, dans l'état où se trouvaient les travaux d'excavation en 1881 (partie A).

## LOCOMOTIVES AVEC ROUES A DOUBLE BANDAGE

DESCRIPTION DE L'INVENTION AYANT POUR TITRE : *Nouveau système A. Cottrau de Locomotives avec quatre roues motrices sur chaque essieu moteur.*

Le but de cette invention est de pouvoir exploiter avec la même locomotive, sans diminution de la charge à traîner, une ligne de chemin de fer composée de plusieurs sections, dont quelques-unes en palier ou à pentes faibles, et d'autres à fortes rampes, comme, par exemple, les diverses traversées des Apennins en Italie.

Ce nouveau système trouvera aussi des applications très avantageuses dans les nombreuses lignes de tramways à vapeur (chemins de fer économiques) soit construites soit en voie de construction, dans lesquelles on vérifie presque toujours le cas d'un certain nombre de sections avec des rampes très fortes par rapport à celles du tracé du restant de la ligne.

Enfin ce système pourra, dans tous les cas où les pentes ne seront pas extraordinairement excessives et les courbes n'auront pas de trop petits rayons, se substituer avec avantage aux systèmes de locomotion à *adhérence artificielle*, tels que les systèmes Fell, Riggenbach, Wetli, etc., non seulement au point de vue de l'économie et de la simplicité, mais bien encore au point de vue de la grande *sécurité* de l'exploitation, car il rendra impossible toute catastrophe provenant d'un *déraillement*, et cela précisément sur les points de la ligne où se vérifient les plus fortes rampes et les courbes les plus étroites.

Cela posé, l'invention consiste dans l'adjonction *aux essieux-moteurs des locomotives* (et, si on le veut aussi, aux essieux non moteurs des dites machines) *d'une seconde paire de roues motrices*, d'un diamètre inférieur, disposées soit extérieurement soit intérieurement aux roues principales, le tout à peu près comme c'est clairement indiqué sur les dessins qui accompagnent cette description, et sur lesquels on voit représentées quelques-unes des différentes dispositions que l'on

<sup>4</sup> OBSERVATION. Il faut noter ici que les observations sur les courants se faisaient en partie près du portail Sud (partie curviligne du tunnel), où il se produit fréquemment un courant spécial entrant par le bas du tunnel et en sortant par le haut. Ce fait peut facilement tromper l'observateur sur le courant continu proprement dit, et les données du tableau général paraissent être, pour certains jours, sujettes à caution. (Voir les points d'interrogation dans les tableaux des pages 7 et 8).

peut adopter parmi toutes celles qui peuvent être réalisées dans la pratique. A ce propos il est utile de faire observer que le système peut s'adapter à n'importe quel type de locomotive à cylindres intérieurs ou extérieurs, et à n'importe quel type d'armement, il n'est par conséquent pas limité à une disposition particulière (extérieure ou intérieure) des petites roues motrices supplémentaires ou de la voie ferrée auxiliaire correspondante. Cependant, dans le but de mieux fixer les idées, tout ce qui sera dit ci-après se rapportera à l'hypothèse des roues supplémentaires placées EXTÉRIEUREMENT, étant bien entendu que *le tout pourra identiquement s'appliquer au cas de ces mêmes roues motrices supplémentaires placées INTÉRIEUREMENT aux grandes roues motrices de la locomotive.*

Chaque essieu moteur aura donc quatre roues, solidaires avec cet essieu, et *commandées* simultanément par les mêmes bielles et les mêmes cylindres. Les roues *intérieures* pourtant (dans le cas que nous avons choisi pour fixer nos raisonnements) auront un diamètre plus grand que celui des roues extérieures et elles serviront à marcher à *grande vitesse* dans les parties de la ligne en palier ou à faibles pentes, tandis que les roues *extérieures*, c'est-à-dire celles *d'un diamètre plus petit*, serviront pour les sections à fortes rampes où l'on devra marcher à une vitesse réduite. Les roues *intérieures* s'appuieront sur la voie normale de la ligne, soit sur les rails qui servent d'appui aux roues des voitures et des wagons composant le train. Par contre, les roues *extérieures* s'appuieront, mais *seulement dans les sections de la ligne à fortes rampes*, sur une seconde voie, dont les rails seront placés extérieurement à ceux de la voie principale et seront par rapport à ces rails à un niveau plus élevé, ainsi qu'on le voit représenté sur les dessins ci-annexés.

Bien entendu que les véhicules trainés par la locomotive, wagons ou voitures, rouleront toujours sur la voie intérieure<sup>4</sup>, même dans les sections de la ligne à fortes rampes, où la locomotive s'appuiera sur la voie extérieure et aura ses roues motrices *intérieures* légèrement soulevées au-dessus du niveau des rails de la voie principale.

Dans les croquis ci-annexés on indique également plusieurs parmi les différents systèmes, que l'on pourrait adopter, pour la formation des deux voies ferrées dans les sections à fortes rampes; mais il est nécessaire de déclarer que cet armement des deux voies pourra être exécuté comme on le voudra, parce que ce n'est point sur le dit système d'armement que repose le *brevet d'invention*.

L'invention industrielle, pour laquelle nous demandons le brevet, est simplement et uniquement *l'adoption, pour les locomotives, d'essieux moteurs avec deux (ou même plus) couples de roues motrices*, le premier couple devant fonctionner lorsqu'on veut obtenir une grande vitesse, et le second lorsqu'il est nécessaire de traîner la même charge (qui dans le premier cas courait à grande vitesse) à une vitesse réduite, sur les sections à fortes rampes. En d'autres termes, cette invention, qui fait l'objet de notre demande de brevet, est la réalisation pratique, surtout au point de vue de son application aux locomotives, du principe bien connu de la mécanique

<sup>4</sup> A moins que, dans le cas spécial d'un chemin de fer à *voie réduite*, on ne préfère avoir partout une seule voie et par suite ajouter aussi des roues supplémentaires plus petites aussi aux wagons et voitures.