

Les résultats scientifiques du percement du tunnel du Simplon: géologie-hydrologie-thermique

Autor(en): **Schardt, H.**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **31 (1905)**

Heft 14

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-24865>

Nutzungsbedingungen

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

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

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

Haftungsausschluss

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

Bulletin technique de la Suisse romande

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

Rédacteur en chef: M. P. HOFFET, professeur à l'Ecole d'Ingénieurs de l'Université de Lausanne.

Secrétaire de la Rédaction: M. F. GILLIARD, ingénieur.

SOMMAIRE: *Les résultats scientifiques du percement du tunnel du Simplon: Géologie; Hydrologie; Thermique*, par M. H. Schardt, professeur (suite et fin). (Planche 4). — *La «voie étroite» et son rôle économique*, par M. Francis Reverdin, ingénieur, à Genève (suite et fin). — **Divers**: Nouvelle usine transformatrice et thermique des Eplatures, pour l'extension des services électriques de La Chaux-de-Fonds: Rapport du Jury. — *Sociétés*: Association générale des ingénieurs et hygiénistes municipaux, de France, Algérie-Tunisie, Belgique, Suisse et Grand-Duché de Luxembourg. — Société suisse de propriétaires de chaudières à vapeur: Rapport sur l'exercice 1904. — *Concours*: Bâtiment communal de réunions sur les terrains de l'Ecole de la rue de Carouge, à Plainpalais. — Association pour le développement des chemins de fer, à Berlin. — Association amicale des anciens élèves de l'Ecole d'ingénieurs de l'Université de Lausanne: Offre d'emploi.

Les résultats scientifiques du percement du tunnel du Simplon.

GÉOLOGIE — HYDROLOGIE — THERMIQUE

Par M. H. SCHARDT, professeur.

(Suite et fin)¹.

Les grandes sources froides s'échappent exclusivement du calcaire par des fissures souvent béantes. Chose frappante, tandis que c'est la galerie I qui a atteint les premières et les plus violentes intrusions d'eau, c'est la galerie II qui a concentré, entre les km. 3,350 et 4,420, soit sur 70 m. de longueur à peine, les 90 % environ de ces grandes sources froides. A l'origine la température de celles-ci ne devait pas être loin de 18°, comme celle du rocher. Cependant la température des unes et des autres s'est abaissée rapidement dès le début. Bien que toutes ces sources soient en relation les unes avec les autres, elles suivent sous le rapport thermique un régime tout à fait différent. Les unes, dont la source 40 dans la galerie I est le type le plus pur, après s'être refroidies au-dessous de 14° depuis leur rencontre jusqu'au mois de juillet 1902, ont recommencé à augmenter de température pendant l'automne et l'hiver, pour dépasser même, au mois d'avril suivant (1903), la première température observée. Dès lors une nouvelle baisse s'est produite en juillet 1903 et 1904, suivie chaque fois d'une hausse graduelle pendant l'automne et l'hiver. Il en sera de même chaque année.

D'autres sources, dont le N° 34 est le type extrême, ne sont presque absolument pas influencées par ces modifications. Après s'être refroidies de 18°,4 (temp. initiale de la source 34°) à près de 10° (11 ou 12° pour d'autres), leur température n'a depuis lors presque plus varié que de quelques dixièmes de degrés.

La composition chimique de toutes ces sources les caractérise comme des *eaux gypseuses peu ferrugineuses*. Elles doivent donc puiser leur sulfate de chaux dans des gîtes de gypse ou d'anhydrite, dont la zone des marbres triasiques offre en effet des intercalations importantes. La richesse moyenne en gypse est de 1 gramme par litre (degré de du-

reté 50-80°). Ce degré hydrotimétrique varie avec le débit de l'eau. Au moment des crues, qui ont lieu presque subitement de mai à juillet, lorsque la température des sources baisse, la quantité de gypse se réduit pour quelques-unes de plus de 50 % et leur débit augmente de 30-40 %. C'est la seule variation de volume que l'on constate dans le courant de l'année. Ni orage, ni pluie prolongée n'ont une influence sensible. *Il n'y a qu'une période de variation annuelle, ayant son maximum en juillet et son minimum en avril* (fig. 12, pl. 4).

Il n'y a pas l'ombre de doute possible quant à l'origine de ces eaux froides. Jaillissant dans une région où la température du rocher et celle des sources devrait être entre 35 et 37°, leur basse température ne peut s'expliquer que par une provenance très directe de la surface ou des régions supérieures de la montagne, car ce sont elles qui refroidissent le rocher. En outre, on était en droit de s'attendre à une réduction progressive et définitive de leur débit, en admettant l'existence de vastes cavités dans la partie supérieure du massif calcaire, dont la vidange devait s'opérer avec un débit diminuant graduellement. La surface considérée au début comme étant le champ collecteur de ces sources, ne pouvait en aucun cas fournir une telle quantité d'eau. Mais cette réduction ne s'est pas produite et il a été constaté depuis lors que la surface du champ collecteur est d'au moins 12 km², pouvant assurer un débit moyen d'environ 600 l. p. sec.; il est probable que des régions adjacentes y déversent encore des eaux, en sorte que le débit moyen d'environ 1000 l. par sec. n'est pas loin d'être atteint. La position du champ collecteur est nettement indiquée par le tarissement de sources, soit dans la vallée de la Cairasca, à 2500 m. au Nord-Est du tunnel, soit dans la région d'Alpien, à près de 7500 m. au Sud-Ouest. C'est donc comme un immense drain que se comporte le banc calcaire rencontré par les travaux souterrains à plus de 1200 m. au-dessous de la surface et à 650 m. au-dessous de la source tarie la plus voisine. Néanmoins le débit, bien plus élevé que celui calculé d'après l'étendue du champ collecteur, devait rendre très probable l'hypothèse d'une pénétration d'eau de la Cairasca. Ce torrent coule en deux endroits au-dessus du banc de calcaire triasique accompagné de gypse; une première fois à Nembro (1300 m. alt.), où le calcaire s'enfonce sous les schistes jurassiques en recou-

¹ Voir N° du 25 juin 1905, page 154.

vrant le gneiss d'Antigorio, et une seconde fois plus bas, à Gebbo (1100 m.), où le calcaire émerge sous le gneiss, dans le prolongement même du banc coupé par le tunnel et en plongeant vers celui-ci (fig. 15, pl. 4). Or, à cet endroit même, existent d'abondantes sources gypseuses, d'un débit voisin de 400 l. p. sec.; leur tarissement paraissait presque certain, *mais jusqu'à présent elles ont persisté avec leur débit normal!* Néanmoins il fallait avoir la certitude sur cette éventualité; il résulte de trois essais de coloration, avec 14 à 25 kg. de fluorescéine, *qu'en eaux moyennes et hautes, le torrent de la Cairasca pénètre dans la région aquifère du tunnel du Simplon dans une proportion très faible*, (environ $\frac{1}{40}$ de son volume, soit 36 l. p. sec.), puisque la coloration n'a pu être vue qu'au fluoroscope; mais, chose bien significative, les sources de Gebbo ont toutes réagi très visiblement. Il y a donc une relation entre le torrent de la Cairasca et les sources froides du tunnel, de même qu'avec les sources gypseuses de Gebbo, et probablement aussi entre ces dernières et les sources du tunnel, en ce sens que les deux dépendent d'un même cours souterrain, qui est alimenté en partie par des infiltrations du torrent. Le troisième essai, fait aux très basses eaux d'avril avec 25 kg. de fluorescéine, a donné, au contraire, un résultat absolument négatif pour les eaux du tunnel, mais très positif pour une partie des sources de Gebbo. Donc, si les infiltrations provenaient directement de la Cairasca, il faudrait admettre qu'aux basses eaux le lit de cette rivière ne laisse rien échapper, ou bien, si c'est par le cours souterrain des sources de Gebbo que l'infiltration se produit, que le débordement de celui-ci dans le tunnel ne peut avoir lieu en ce moment. Cette dernière alternative paraît fort probable, car l'étiage des sources de Gebbo coïncide naturellement avec celui du torrent de la Cairasca.

Les deux essais positifs ont fourni en outre des constatations fort étranges. Le premier, fait avec 16 kg. de matière colorante à l'époque des eaux moyennes, a produit une coloration faible dans les eaux du tunnel, au bout de 11 jours à la source 34, la plus froide, tandis qu'au mélange des sources de la galerie II la coloration n'a apparu qu'au bout de 14 jours et a duré chez les deux pendant deux jours. L'autre essai, fait avec 25 kg. de fluorescéine, au début de l'époque des hautes eaux, avec prélèvement d'échantillons à douze sources de toute la zone aquifère, a donné un résultat des plus surprenants. La coloration a été aperçue à toutes les sources, sauf à la source 9. A la source 34, elle a apparu après un jour et demi, de même qu'aux sources du groupe opposé, comprenant la source 40 et la source 41₁₁ (galerie II); les autres se sont colorées quelques jours plus tard; même la source 8, peu gypseuse, une des plus éloignées du groupe des sources froides, a été influencée nettement dès le troisième jour. Le fait le plus frappant, après celui de l'arrivée de la coloration en moins de 40 heures, est que *la première coloration passée, la fluorescéine a réapparu dans presque toutes les sources observées, et à plusieurs reprises*. Entre le 12^{me} et le 14^{me} jour, elle était visible dans presque toutes. Ce fait ne peut s'expliquer que par la raison que l'eau colorée suit

plusieurs voies plus ou moins directes, en traversant des canaux ou chambres assez vastes, pour se mélanger aux eaux souterraines pénétrant dans le tunnel. La coloration de la source 8 ne peut s'expliquer autrement; elle apporte une nouvelle preuve à la théorie de la non indépendance des cours d'eau souterrains, aussi différents et distants soient-ils.

Cette expérience montre encore qu'avant leur rencontre par les galeries du Simplon, ces eaux remplissaient tout le vaste réseau de fissures de la montagne, dès le point le plus éloigné du champ collecteur du côté Ouest, jusqu'à l'extrême limite de celui-ci au delà de la vallée de la Cairasca, sur une largeur qui dépassait certainement celle de la zone calcaire et gypsifère qui entoure le gneiss d'Antigorio, puisque les sources froides du calcaire rayonnent sur plus de 400 m. dans ce terrain. Cette eau devait atteindre, au point le plus bas, le niveau des plus basses sources tarées, soit 1300 m., ce qui explique l'énorme pression des premiers jets. Mais de part et d'autre de la vallée de la Cairasca son niveau devait s'élever, puisque sur l'Alpe d'Alpien une source a tari à la cote de 1500 m. Cette eau n'était pas stagnante, mais s'écoulait vers ses émissaires visibles ou invisibles, situés sur l'Alpe de Nembro (vallée de la Cairasca). Elle ne pouvait en aucun cas s'écouler vers la vallée de la Diveria, puisque les intercalations de micaschiste dans le gneiss d'Antigorio empêchent leur évacuation dans cette direction; d'ailleurs le tunnel aurait alors rencontré des venues d'eau dans ce dernier terrain beaucoup plus tôt que cela n'a été le cas.

Outre les courants superficiels dus à la gravitation et amenant les eaux souterraines à travers les canaux et fissures vers leurs émissaires superficiels, il devait y avoir dans cette accumulation d'eau une circulation dans le sens vertical jusqu'au-dessous du niveau du tunnel. En effet, on aurait dû trouver normalement dans cette région une température de 35-37°. Elle n'a été, au moment de la rencontre, que de 17°,2, tout au plus 19°. *Longtemps avant la rencontre des grandes venues d'eau, on avait constaté graduellement avec l'avancement une baisse anormale de la chaleur souterraine*. Cette baisse ne pouvait provenir que de la circulation dans les innombrables fissures du rocher de l'eau souterraine qui les remplissait sur plusieurs centaines de mètres de hauteur. *L'eau froide descendait dans les uns de ces canaux et montait par d'autres, après s'être réchauffée, pour se mélanger de nouveau au même courant dont elle avait été dérivée*. Ce n'est pas une circulation entièrement fermée, comme celle d'un thermo-siphon, puisque l'eau peut se renouveler au cours sourcier, mais c'est le même mécanisme. *La chaleur empruntée à la profondeur lui fournit la force motrice*. Mais cette circulation fait encore un autre travail, *l'érosion souterraine*, par dissolution des roches au milieu desquelles elle s'accomplit. Cette dissolution est rapide dans le gypse, l'anhydrite et le calcaire, très lente dans les roches siliceuses et cristallines. Chaque fissure, même capillaire, est une voie ouverte à cette attaque incessante. La moindre différence de température est cause d'un mouvement. L'eau enlève non seulement de la cha-

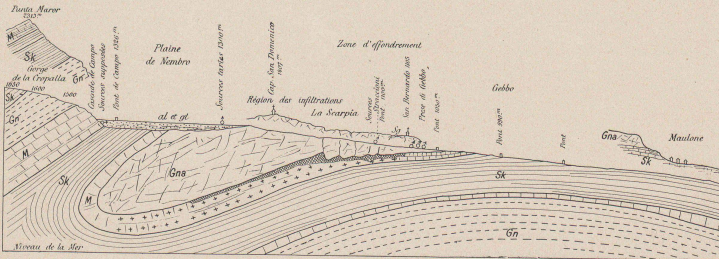


Fig. 15. — Profil géologique le long de la vallée de la Cairasca.
Echelle 1:35 000. — Même légende qu'à la fig. 13.

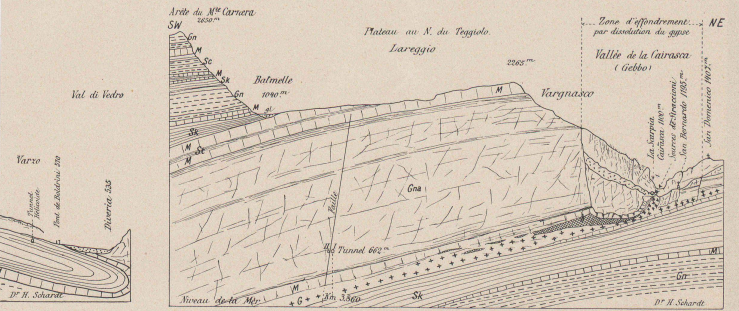


Fig. 14. — Profil transversal Carnera-Gebbo.
Echelle 1:35 000. — Même légende qu'à la fig. 13.

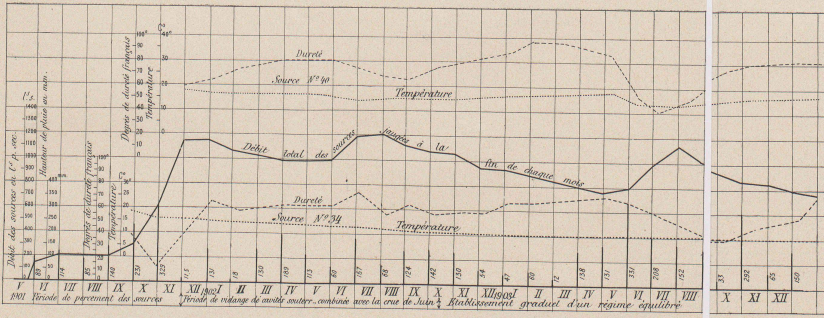


Fig. 12. — Diagramme des variations du débit total des sources froides d'Iselle, entre les km. 3,890 et 4,431, comparées à la quantité de pluie.
à la température et à la durée des eaux.

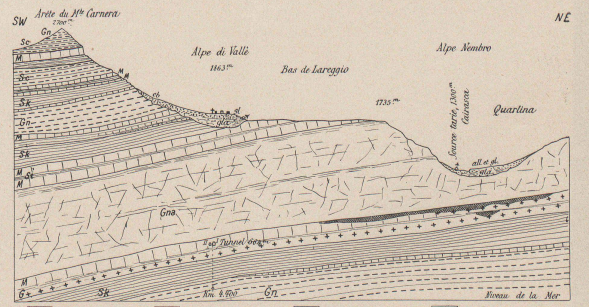


Fig. 13. — Profil transversal Carnera-Nembro.

LES RÉSULTATS SCIENTIFIQUES DU PERCEMENT DU TUNNEL DU SIMPLON

Seite / page

leer / vide /
blank

leur, mais elle se sature aussi de substances minérales qui remontent vers la surface. L'eau froide, d'abord presque chimiquement pure, revient plus ou moins saturée de matières minérales enlevées dans la profondeur. Cet enfoncement par corrosion des eaux souterraines n'a donc dans le sens vertical d'autre limite que celle du terrain soluble dans lequel il se produit, ou bien l'élévation de la température au-dessus du point d'ébullition de l'eau.

Nous avons là l'explication évidente du mode de formation des énormes cavités pleines d'eau creusées dans les terrains calcaires, *bien au-dessous du niveau des émissaires superficiels* et sans qu'on puisse supposer la possibilité de l'obstruction d'orifices plus profonds. Il en ressort nettement la différence essentielle qu'il y a entre l'érosion superficielle mécanique et l'érosion souterraine par corrosion. Dans notre cas il est certain que cette circulation s'étendait à 200 m., sinon plus, *au-dessous du niveau du tunnel*, et à plus de 800 m. au-dessous de l'ancien émissaire. En effet, les sources chaudes dans la galerie transversale XIX et dans la galerie II (entre les transversales XIX et XX) avaient, lors de leur rencontre déjà, une température supérieure à celle du rocher ambiant. *Elles se sont en outre réchauffées notablement depuis lors, alors que le rocher qui les entoure s'est refroidi de plusieurs degrés.* Cette modification, qui en fait de véritables sources thermales, les seules que le tunnel du Simplon ait fait jaillir, ne peut s'expliquer que par le fait que ces eaux étaient jusqu'alors sous l'influence de la pression des eaux froides qui se mélangeaient à leur cours. Aujourd'hui que le niveau de l'eau souterraine froide s'est notablement abaissé et que celle-ci peut pénétrer librement dans le tunnel, les cours sourciers profonds ne sont plus influencés par elle et leur eau circule seule et plus lentement à travers la zone chaude sous-jacente au tunnel; aussi, tout en diminuant de volume (source 9), elles ont toutes notablement augmenté de température et de dureté.

Le refroidissement du rocher dans toute la zone aquifère, dès la rencontre des sources froides, est surtout manifeste à proximité des plus grandes parmi celles-ci; mais on doit envisager ce phénomène *comme étant exclusivement limité au voisinage immédiat du tunnel, vers lequel les cours d'eau souterrains se précipitent rapidement sous pression.* D'autres parties de la montagne, abandonnées par l'eau, ont pu depuis lors se réchauffer, comme le prouve l'augmentation de la température des sources chaudes. *Le bilan thermique est resté le même, il n'y a eu que déplacement du capital de chaleur.*

La dérivation de tous ces cours d'eau vers le tunnel a produit, comme on l'a vu, tout un régime nouveau. D'après la rapide pénétration des eaux de la surface, on devrait penser que les phénomènes météorologiques devraient influencer immédiatement le débit de ces sources, comme cela a lieu pour la plupart des sources superficielles, des sources vaclusiennes surtout, qui peuvent augmenter du simple au centuple à la suite d'un seul orage et pendant moins de 24 heures. Les variations de volume qui se produisent présentent ici *une seule période annuelle.* La seule crue qui a lieu ne parvient pas même à doubler le débit

des sources. Elle se produit en juin et juillet, *peu après la fonte de la neige dans le champ collecteur*, situé en majeure partie entre 1500 et 2500 m. d'altitude. La seule explication possible de ce régime particulier est que *le réseau des canaux souterrains ne s'est jamais entièrement vidé jusqu'ici.* L'eau provenant des orages et pluies, tombant sur la montagne, ne pénètre pas librement dans le tunnel, mais sert uniquement à remplir des vides, sans occasionner une augmentation perceptible du débit des sources; c'est tout au plus si la courbe manifeste parfois un ralentissement du mouvement descendant pendant l'automne. Il faut la forte affluence de l'eau de fusion de la neige, remplissant suffisamment les vides souterrains, pour occasionner une augmentation du débit. La crue annuelle d'été de ces sources est donc *une crue piézométrique, soit par augmentation de la charge.* Le refroidissement rapide, la dilution de l'eau gypseuse, suivis d'une lente augmentation de la température et de la dureté pendant l'hiver, sont des faits suffisamment éloquents pour démontrer la réalité de cette supposition. Enfin, l'invariabilité presque complète de la température des sources les plus froides, et la faible variation de leur débit, ne peuvent s'expliquer que par l'arrivée de leur eau par des canaux toujours pleins, alimentés par un réservoir situé sur le parcours d'un affluent ininterrompu, en relation peut-être avec les sources de Gebbo. On voit que l'étude de ces nombreuses venues d'eau, en partie formidables, a fourni une vaste moisson d'observations, pouvant servir à l'élucidation d'un problème fort controversé jusqu'ici. Plus d'une lumière a jailli devant nos yeux!

D'autres faits d'une importance incontestable se rattachent à la circulation de l'eau à travers des terrains solubles, comme l'est le gypse. L'origine du sulfate de chaux des sources froides ne peut être cherchée que dans le lessivage des gîtes de gypse ou d'anhydrite. Or, avec un teneur moyenne de 1 gr. de sulfate de chaux par litre et un débit d'environ 1000 l. p. sec., cela présente un poids de 31 530 tonnes de sulfate de chaux par an, *soit un volume de plus de 10 000 m³.* On comprend dès lors avec quelle rapidité doivent s'accroître les vides souterrains sous l'influence de la circulation des eaux. Les sources de Gebbo, avec un débit d'environ 400 l. p. sec., enlèvent à la montagne plus de 12 000 tonnes de sulfate de chaux par an, *soit environ 4 000 m³.* Tout autour de leur ligne d'émergence, et plus en aval, les deux flancs de la vallée de la Cairasca offrent des traces d'effondrements considérables, attestant que les grandes cavités creusées au cours des siècles se sont comblées en partie par l'affaissement des massifs rocheux sous-jacents (fig. 14 et 15, pl. 4). Et ce phénomène d'érosion souterraine continue toujours, accentué encore aujourd'hui par la dérivation des cours d'eau souterrains d'une vaste région vers les galeries du tunnel du Simplon, à travers les gîtes gypsifères situés entre eux. Il ne s'arrêtera qu'après épuisement de ceux-ci.

III. La température souterraine.

Le relief du sol influence, comme on sait, la position des surfaces isogéothermiques souterraines, qui s'élèvent sous les montagnes, en s'écartant de plus en plus les unes des autres, tandis que sous les vallées elles se rapprochent. A une certaine profondeur ce relief géothermique n'existe plus, parce que les saillies des courbes isogéothermes s'aplanissent avec la profondeur. D'après ces données, on constate que sous les sommets le degré géothermique, au lieu d'être de 30 à 32 m. — comme dans la plaine — atteint 40 à 70 m., qu'au contraire, sous les vallées il est seulement de 20 à 25 m. Le relief géothermique qui existe sous le relief superficiel explique donc l'augmentation de température constatée au fur et à mesure de la pénétration des tunnels dans l'intérieur des montagnes. Le percement du tunnel du St-Gothard en a été un des exemples les plus instructifs, parce que ce phénomène de l'augmentation de la température souterraine a été un des mieux suivis.

Le percement du tunnel du Simplon faisait prévoir de ce chef une augmentation considérable de la température du rocher. La détermination approximative de cette augmentation pouvait être faite par des constructions théoriques, en partant de la température superficielle du sol, déduite de la loi de la décroissance de la température avec l'altitude, loi qui n'est également pas sans exceptions. D'après la forme et la hauteur des arêtes, et la profondeur et la largeur des dépressions, on cherche à construire la forme des courbes isogéothermes à l'aide de la valeur aussi approximative que possible du degré géothermique, pour chaque cas considéré. Cette méthode ne pouvait pas conduire à une exactitude absolue, cela va de soi. Suivant les valeurs servant de base, valeurs toujours incertaines, puis-que théoriques, les constructions des divers ingénieurs et géologues offraient des écarts considérables. Stapff, l'ingénieur géologue du tunnel du St-Gothard, avait soutenu, déjà en 1878, que la température à l'intérieur du massif du Simplon serait au niveau de Brigue de 47° et conseilla de placer le tunnel 500 m. plus haut. C'eût été enlever à celui-ci tous ses avantages. Cette hypothèse fut combattue par Lommel, alors directeur de la Compagnie du Simplon, qui admit que cette température maximum ne pouvait pas dépasser 35°. D'après E. Stockalper, ingénieur en chef de l'attaque Nord du tunnel du St-Gothard, le projet du tunnel coudé (1882) à travers le Simplon devait prévoir, sous le Furggenbaumgrat, une température de 36°, avec 2050 m. de hauteur de terrain. Le projet actuel aurait dû prévoir, dans ces mêmes conditions, environ 2 degrés de plus, soit 38°. Le professeur Heim arriva aux mêmes résultats pour le projet rectiligne de 1882, par 38 à 39°. Un profil géothermique construit par le personnel technique de la Compagnie du chemin de fer Jura-Simplon, en 1895, donne également 38 et 39° sous les arêtes du Monte Leone et de Vallé. Une application du profil géothermique du St-Gothard sur le tracé du tunnel du Simplon, en tenant compte uniquement de la différence d'altitude, donna en 1900, à M. l'ingénieur de Coulon, une valeur maximum de 43° sous l'arête

de Forchetta (Furggenbaum).

Les études à poursuivre pendant la perforation du tunnel du Simplon devant conduire à la construction d'un profil géothermique aussi exact que possible, il fut décidé, dès le début, de procéder aux observations suivantes :

1. Observations de la température du rocher tous les 100 m. pendant le premier kilomètre, à partir des deux embouchures de la galerie de direction, puis tous les 200 m., aussi près que possible du front d'attaque. Ces observations eurent lieu au moyen de thermomètres isolés dans des étuis métalliques, placés dans des trous spéciaux à 1^m,50 de profondeur sur la paroi Nord-Est de la galerie d'avancement. Il fut constaté que la puissante ventilation d'une part et la circulation d'eau froide des perforatrices Brandt d'autre part, produisent un refroidissement très rapide du rocher. Des observations continuées pendant toute la durée des travaux aux points kilométriques permirent de constater une baisse définitive de la température souterraine, ainsi que des fluctuations dues aux saisons, aux réfrigérateurs, à la circulation de l'eau froide ou de l'eau chaude.

2. Observations de la température du sol le long du profil superficiel, au moyen de thermomètres placés à 1 m. de profondeur. Ces observations, faites au moins une fois par mois, permettent de déterminer la température moyenne du sol. Les thermomètres facilement accessibles furent observés plus fréquemment. Les hautes stations, au delà de 2000 m. d'altitude, qui sont inaccessibles pendant l'hiver, furent munies de thermomètres à minima pour trouver la plus basse température d'hiver. L'époque de celle-ci est donnée par un thermomètre placé à l'hospice du Simplon (alt. 2000 m.). Ainsi, on peut construire la courbe thermique et trouver par interpolation les températures manquantes. On a établi ainsi 14 stations entre les deux embouchures du tunnel, celle de l'hospice du Simplon non comprise. Ces observations ont conduit à une série de constatations qui, tout en faisant ressortir d'importantes différences d'avec les prévisions, donnent en même temps, partiellement du moins, l'explication de celles-ci.

Il en résulte, en particulier, que la plus haute température constatée ne se trouve pas au-dessous de l'arête la plus élevée, mais au Nord de celle-ci, sous le flanc qui s'abaisse vers la vallée de la Ganter. Mais la plus grande surprise réside dans le fait que cette plus haute température dépassait non seulement les chiffres considérés les plus probables, soit 38 à 43°, mais encore celui de 47° trouvé par Stapff. On avait constaté en effet 54° près du km. 8,500 de l'attaque Nord, et sur une longueur de plus de 2 kilomètres, du point 7,250 au point 9,400, la température du rocher resta constamment au-dessus de 50°. C'est grâce aux observations de la température superficielle du sol que cette circonstance peut être en partie expliquée. Bien que la série des observations ne soit pas encore close, on peut dès maintenant, d'après les chiffres arrêtés à fin 1903, constater que sur le versant Nord de la chaîne du Wasenhorn la température du sol est jusqu'à 5° plus élevée que ne l'admettaient les prévisions théoriques. Les courbes géothermiques sont donc ici surélevées de 200 à 250 m.

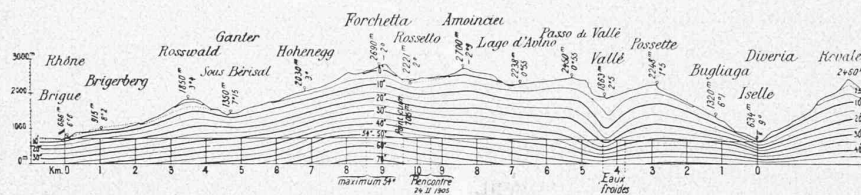


Fig. 16. — Profil géothermique provisoire du tunnel du Simplon. — Echelle 1 : 200 000.

Sur ce même flanc de la montagne, les couches ont un plongement presque parallèle à la surface du terrain. Or la conductibilité de la chaleur est minimum dans le sens transversal à la direction des couches ; conséquemment la chaleur souterraine peut se rapprocher davantage de la surface du terrain. Dans toute la zone à haute température, le rocher était très peu aquifère ou extrêmement sec. Dans ces conditions, la conductibilité calorifique se trouve non seulement très réduite, mais l'absence de la circulation de l'eau laisse à la chaleur souterraine toute son action. Donc, *la température superficielle plus élevée que la normale, la disposition des couches parallèlement à la surface et la siccité du terrain sont les trois facteurs dont la coïncidence a occasionné la haute température au Nord-Est de l'arête du Wasenhorn-Furggenbaumhorn.* On ne peut appeler cette coïncidence extraordinaire, puisqu'elle s'explique par des facteurs ordinaires ; mais c'est en réalité probablement *la plus haute température possible, sans influence exceptionnelle* (p. ex. sources de vapeur ou d'eau thermale). Dans le tunnel du St-Gothard, avec disposition presque verticale des couches et infiltrations presque continuelles d'eau venant de la surface, on a rencontré probablement *les plus basses températures possibles.*

L'influence de la circulation des eaux sur le parcours des isogéothermes est absolument frappante. Tandis que dès le km. 5 de l'attaque Nord la siccité du rocher fait monter rapidement les courbes thermiques, l'arrivée des infiltrations d'eau dès le km. 9,400 les fait plonger graduellement vers le Sud, bien que ce fussent des eaux chaudes, entre 45 et 49°, donc pas thermales par rapport au rocher. Mais c'est sur le parcours des infiltrations froides entre le km. 3,800 et 4,500 de l'attaque Sud, sous la dépression de Vallé, que ce phénomène est des plus frappant. Les courbes isogéothermes auraient normalement dû passer au-dessous de cette dépression, sans motiver un refroidissement dans le tunnel, comme cela a eu lieu au-dessous de la dépression même plus profonde de la Ganter, sous Bérival. Mais on voit qu'elles forment une inflexion puissante, *une vallée thermique exagérée* le long des voies d'eau qui amènent les eaux froides vers le tunnel. Ce n'est pas la dépression superficielle qui est la cause de la dépression thermique exagérée ; cette coïncidence est fortuite. Ce sont les fissures et les bancs calcaires parcourus par l'eau froide qui en sont la cause.

La figure 16 montre la construction provisoire du profil géothermique, telle que les observations faites jusqu'à fin décembre 1903 permettent de l'établir. Après l'achèvement des travaux on disposera d'une série de chiffres

plus complète et on obtiendra des moyennes plus exactes ; cette construction mérite cependant d'être jointe à cette notice, au moins sous forme d'un croquis à très petite échelle.

On voit d'après ce profil avec quelle rapidité l'influence des dépressions de la surface s'éteint avec la profondeur, surtout lorsque ces sillons sont entaillés sur un flanc de montagne, comme par exemple la vallée de la Ganter. Au niveau du tunnel on n'a observé qu'un ralentissement de l'augmentation thermique. La dépression d'Aurona a eu une influence encore plus réduite, malgré et peut-être à cause de la présence des glaciers qui maintiennent une température superficielle très uniforme. Le plateau du Lago d'Avino a eu pour conséquence un long maintien de la température entre 37 et 38° sur plus de 1 km. Ce n'est qu'à partir de l'arête d'Amoincei que les courbes s'élèvent graduellement vers le Nord à la rencontre de celles du versant opposé.

Les températures de la zone des sources froides sous Vallé sont celles qui se sont établies depuis la percée des grandes sources froides ; cette température est au km. 4,400 de 15°, tandis qu'auparavant elle devait être entre 18 et 19°, peut-être même un peu plus élevée. Actuellement encore les variations du débit et de la température des eaux qui parcourent cette région, produisent certaines fluctuations thermiques du rocher.

Tous ces faits montrent avec évidence que la distribution de la chaleur à l'intérieur des montagnes n'est pas exclusivement dépendante de la hauteur, c'est-à-dire de l'épaisseur du rocher qui sépare un niveau considéré de la surface. On sait déjà qu'en pays de plaine un certain nombre d'influences agissent comme causes perturbatrices sur l'accroissement de la chaleur avec la profondeur, sinon le degré géothermique serait partout le même, avec tendance d'augmenter avec la profondeur. Dans les pays de montagne, où la forme du relief exerce déjà une influence sur la valeur du degré géothermique, il faut encore tenir compte de la disposition des couches et de la circulation des eaux souterraines. S'il fallait de nouveau préparer un pronostic, soit un profil géothermique préalable, en vue du percement d'un grand tunnel transalpin, on ne pourrait plus se contenter de la hauteur, des profondeurs et des masses rocheuses considérées au point de vue de leur épaisseur au-dessous de la surface, avec détermination approximative de la température de celle-ci. Il faudrait au préalable déterminer la température le long du profil superficiel, au moins sur les points saillants et dans les dépressions ; c'est la seule condition qui permet de fermer les courbes convexes et concaves. Il y aurait lieu en outre de tenir compte de la disposition des

couches et de la conductibilité thermique qui en résulte, enfin de l'influence des parcours souterrains des eaux, pour autant qu'il sera possible de les déterminer. Il sera possible alors de construire un profil géothermique correspondant peut-être à la réalité, ou s'en rapprochant le plus possible. Jusqu'à présent les données complètes pour la solution d'un tel problème ont fait défaut. Le tunnel du St-Gothard et celui du Simplon nous font voir, l'un un exemple de température relativement basse, l'autre un exemple d'excessive élévation des courbes thermiques, à côté d'un autre exemple de leur abaissement par l'action de l'eau froide en grande quantité. Cela montre combien il est difficile d'appliquer des formules, sans tenir compte de l'anatomie, c'est-à-dire de la géologie des montagnes. Et encore faudrait-il que la structure géologique puisse être donnée avec une précision suffisante, ce qui n'était pas le cas pour le Simplon, comme on l'a vu.

La « voie étroite » et son rôle économique.

Par M. Francis REVERDIN, ingénieur.

(Suite et fin)¹.

A Genève, lorsqu'il fut question de l'Exposition nationale de 1896, ce système fut proposé et finalement préféré à l'établissement d'une voie normale depuis la gare. La Société de la « Voie étroite » établit une ligne pénétrant dans la gare des marchandises, se terminant par deux culs-de-sac qui aboutissaient à l'extrémité de deux tronçons de voie normale, servant l'un pour la prise des wagons et l'autre pour leur remise au retour. A l'Exposition il y avait également deux culs-de-sac avec chacun une fosse, et deux voies normales, l'une recevant les wagons chargés, l'autre ramenant les wagons vides. Le service se faisait au moyen de deux locomotives et a comporté le transport de 239 wagons du 13 mars au 31 avril, et de 291 wagons du 23 octobre au 11 décembre. Le tonnage total a été de 3508 t. L'installation faite à la gare de Genève a coûté Fr. 22 500, dont Fr. 6800 pour les sections en voie normale, Fr. 2400 pour les fosses,

¹ Voir N° du 10 juillet 1905, page 166.

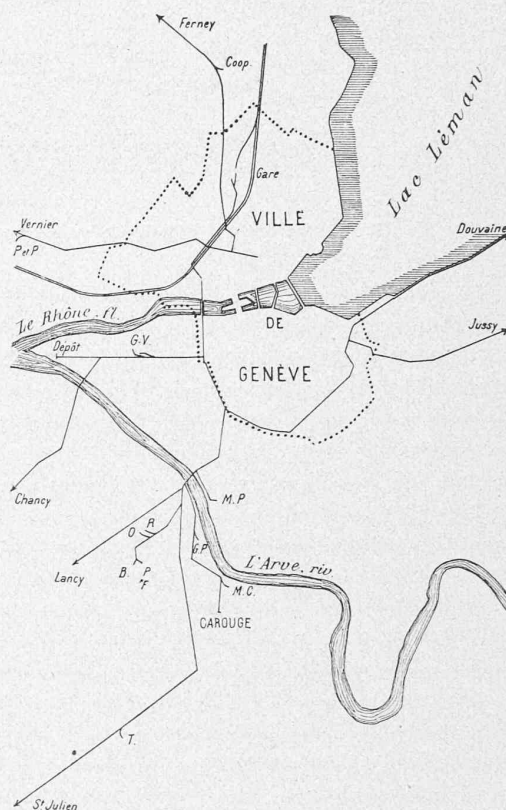


Fig. 9. — Plan des lignes à voie étroite de Genève sur lesquelles circulent les trucs-transporteurs.

LÉGENDE :

Coop = Société coopérative de consommation. — P. et P. = Fabrique de machines Piccard & Pictet. — G. V. = Usine à gaz de la ville de Genève. — G. P. = Usine à gaz de Plainpalais. — R. = Rizerie. — O. = Fabrique de biscuits Oederlin. — B. = Chantier de bois. — P. = Usine de plomb. — F. = Chantier de fer. — M. C. = Minoterie de Carouge. — M. P. = Minoterie de Plainpalais. — T. = Tuilerie.

Fr. 15 800 pour les voies d'un mètre, se composant de voies d'accès aux deux fosses, de voies de garage ayant un développement de 350 m., avec un chariot transbordeur et plusieurs aiguillages (fig. 8).

Après l'Exposition il a été établi plusieurs embranchements particuliers desservant des usines diverses ; il y en a actuellement 9, qui permettent d'amener de la gare les wagons sur trucs, et donnent ainsi de très grandes facilités, sans avoir causé aucun inconvénient malgré la traversée continuelle de rues très fréquentées (fig. 9).

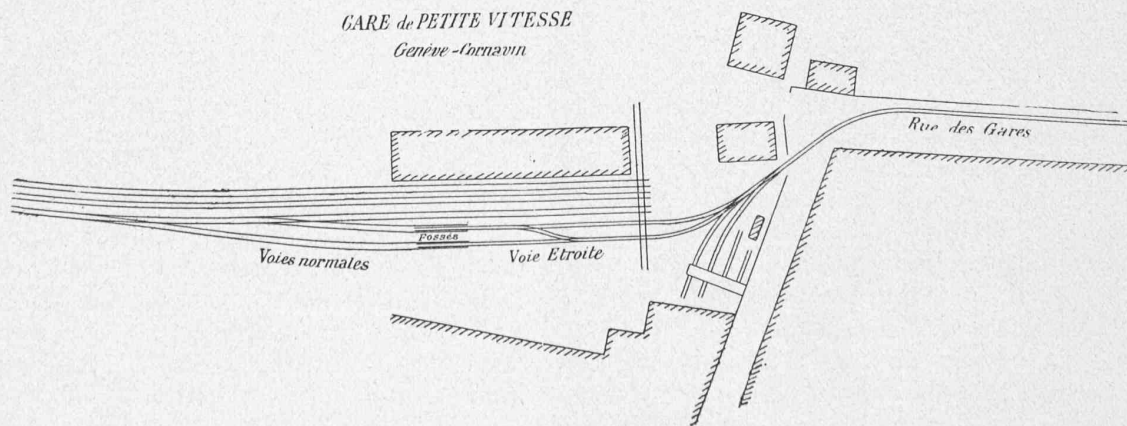


Fig. 8.