

NOTE SUR LE PROFIL GÉOLOGIQUE ET LA TECTONIQUE

DU

MASSIF DU SIMPLON

SUIVI D'UN

RAPPORT SUPPLÉMENTAIRE SUR LES VENUES D'EAU

RENCONTRÉES DANS LE

TUNNEL DU SIMPLON

du côté d'Iselle

par H. SCHARDT, prof.



LAUSANNE

IMPRIMERIE CORBAZ & C^{ie}

—
1903

PB
397

NOTE SUR LE PROFIL GÉOLOGIQUE ET LA TECTONIQUE
DU
MASSIF DU SIMPLON

SUIVI D'UN
RAPPORT SUPPLÉMENTAIRE SUR LES VENUES D'EAU

RENCONTRÉES DANS LE
TUNNEL DU SIMPLON

du côté d'Iselle

par H. SCHARDT, prof.



50/61

LAUSANNE

IMPRIMERIE CORBAZ & Cie

1903

PB 397

Bibl. cant. VS Kantonsbibl.



1010056476

PB 397

Note sur le profil géologique et la tectonique

DU

MASSIF DU SIMPLON

COMPARÉS AUX TRAVAUX ANTÉRIEURS

Introduction.

Aujourd'hui que plus des $\frac{4}{5}$ du tunnel du Simplon sont percés et que la partie centrale, encore inachevée, ne laisse plus guère subsister de point douteux, il est indiqué de présenter sous une forme succincte les résultats des nouvelles recherches sur la structure de ce massif, appuyés par les données fournies par les travaux souterrains. Ce résumé servira d'explication au profil géologique suivant l'axe du grand tunnel, joint à la présente note et au rapport spécial sur les sources du côté sud-est.

Lors de l'établissement, en 1898, du programme des études et publications, la commission géologique du tunnel du Simplon avait décidé de ne point provoquer la publication d'un nouveau profil géologique avant l'achèvement des travaux de perforation, bien qu'en ce moment déjà on pouvait prévoir qu'un nouveau profil géologique présenterait un certain nombre de différences, surtout au point de vue tectonique, d'avec les profils connus jusqu'ici.

Un profil à grande échelle, construit d'après les relevés détaillés faits à l'intérieur et à la surface de la montagne, devait, selon les vues de la commission, accompagner la publication définitive renfermant la totalité des recherches géologiques, pétrographiques, hydrologiques et thermiques

sur le tunnel et la zone voisine, avec une carte géologique à l'échelle du 1 : 25 000.

Cependant en mars 1902, M. le professeur CARL SCHMIDT, à Bâle, a fait parvenir à la Société d'entreprise du tunnel, Brandt, Brandau et Cie, un profil géologique du massif du Simplon, dans la direction de l'axe du tunnel, accompagné d'un volumineux rapport sur la géologie, la pétrographie et l'hydrologie. Il s'est servi dans ce but, dit-il, de ses études poursuivies pendant plus de dix ans dans la région du Simplon, ainsi que des « renseignements géologiques », contenus dans les Rapports trimestriels au Conseil fédéral suisse, sur l'état des travaux du percement du Simplon. Ces renseignements géologiques, dont je suis l'auteur, bien que les rapports trimestriels portent la signature de la Direction des travaux du Simplon, renferment des indications sommaires, pouvant présenter un certain intérêt au point de vue technique. Données au fur et à mesure des observations faites au cours des travaux, avant d'avoir été l'objet d'une étude pétrographique approfondie, ces indications ont naturellement un caractère provisoire. La publication définitive plus spécialement scientifique qui est prévue, après l'achèvement du percement du tunnel, aura à compléter et à rectifier ces données sommaires.

Le rapport de M. Schmidt, accompagnant son nouveau profil, tend à établir :

1^o Les différences entre les divers profils construits précédemment par les experts consultés et le profil nouveau résultant de ses longues études et recherches, en faisant ressortir les erreurs commises par ses devanciers et la justesse de ses propres prévisions ;

2^o La nature des roches encore à perforer dans la partie centrale, longue de 9 km. environ, entre les points kilométriques des avancements de fin janvier 1902 ;

3^o Les prévisions quant à l'origine et le volume de l'eau pénétrant dans le tunnel dans la zone aquifère de l'attaque S.-E. (Iselle).

La présente note s'étendra spécialement aux deux premiers points, la stratigraphie et la tectonique du Simplon ; le problème des venues d'eau du côté S.-E. fait l'objet d'un rapport spécial annexé à cette étude.

Lors de la présentation du profil de M. Schmidt à la Société d'entreprise du tunnel du Simplon et par celle-ci à la Direction de la Compagnie Jura-Simplon, j'étais déjà en mesure de pouvoir corriger notablement les profils géologiques connus, en particulier le profil dit « officiel » paru en 1893 et réimprimé en 1897, qui est un agrandissement au 1 : 20 000, pas trop bien réussi, de mon profil original, construit à l'échelle de 1 : 50 000 accompagnant mon rapport de 1890.

Depuis lors j'avais publié, en 1894, un profil, 1 : 100 000, passablement différent, et modifiant complètement la situation attribuée auparavant au gneiss d'Antigorio.

Dès 1900, j'ai été amené à des vues très différentes aussi, au sujet des gneiss du versant N. du massif du Simplon (gneiss du Monte Leone, gneiss de Lebendun, etc.), en considérant ces alternances de gneiss et de calcaires avec schistes calcaires comme le résultat de plissements jetés du Sud vers le Nord, sur une masse profonde de terrains sédimentaires, dans lesquels les anticlinaux de gneiss sont enfoncés par leur bord frontal. J'ai exprimé ce point de vue lors d'une excursion, faite en août 1900, avec mon collègue M. Auguste Dubois, professeur à Neuchâtel ; j'en ai fait part à la commission géologique du Simplon le 31 août 1901.

Le profil nouveau de M. Schmidt place au centre du massif du Simplon un *noyau anticlinal de gneiss ancien*, massif ou grossièrement lité, très « semblable au gneiss d'Antigorio ». D'après mon nouveau point de vue, il doit y avoir, au contraire, dans cette région, un *noyau synclinal de schistes sédimentaires* (Jurassique) *bordé de roches dolomitiques et anhydritiques* (Triasique), sur lesquels le gneiss repose ou dans lesquels il pénètre, en forme de lames ou plis, culbutés vers le Nord.

L'intervention de M. Schmidt a donc eu pour effet de motiver une modification de la décision primitivement prise. D'accord avec la commission géologique du Simplon, j'ai construit en avril 1902 un nouveau profil, à l'échelle du 1 : 50 000, interprétant cette manière de concevoir la structure tectonique du Simplon. Ce profil a été présenté à la commission dans sa séance du 9 mai 1902. Sa publication fut décidée, en principe, en même temps qu'une réduction du profil de M. Schmidt. En attendant, des copies héliographiques en furent communiquées aux intéressés. C'est dans

cette même séance que fut présenté au nom de M. Lugeon, professeur à Lausanne, un profil qui applique le même principe, renversement d'une partie du gneiss du Monte-Leone sur les schistes mésozoïques, mais en faisant intervenir des replis fort différents. Nous donnerons plus loin la réduction de ce profil.

Actuellement, le problème est quasi résolu, bien que plus de 3 km. de terrain séparent encore les deux attaques N.-W. et S.-E. Le samedi 27 juin 1903, au soir, la perforation a atteint, à l'attaque de Brigue, au Km. 4,400, les calcaires dolomitiques triasiques avec zones d'anhydrite grenue souvent violacée ; au Km. 9,627, on a pénétré dans les schistes lustrés calcarifères et fortement micacés, absolument typiques, plongeant, comme les couches triasiques, au N.-W., sous le gneiss du Monte-Leone. Du côté S.-E., de même, la traversée d'une coupole de gneiss schisteux (gneiss à galets) sous-jacente aux replis du gneiss d'Antigorio, de Lebendun, etc., a reconduit la galerie d'avancement dans les calcaires cristallins micacés qui furent atteints le 16 juillet, au Km. 6,830.

Donc, au lieu de cheminer jusqu'à la rencontre des deux attaques dans des gneiss schisteux d'abord, puis dans des gneiss à deux micas, analogues au gneiss d'Antigorio, comme le veut le profil de M. Schmidt, *on est aujourd'hui, aux deux attaques, en plein dans les schistes et calcaires notoirement sédimentaires* (Jurassique et Triasique). Le dessin du profil au 1 : 50 000, pl. II, venait d'être achevé avant que ces rencontres eurent lieu. Les deux contacts au W. comme au S. avaient été dessinés, à 50 m. près, dans leur position réelle ; il n'y a eu à faire qu'une correction insignifiante.

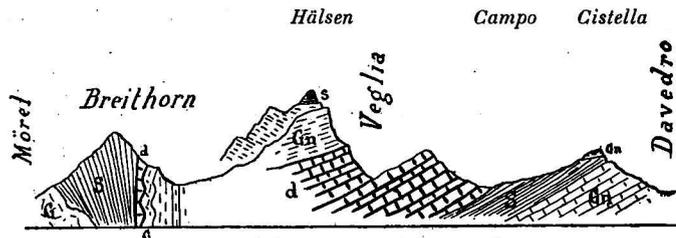
Aperçu historique sur la géologie du Simplon.

Les plus anciens renseignements que nous possédons sont dus à B. STUDER qui parle du Simplon dans un premier mémoire spécial¹, puis dans sa *Géologie de la Suisse*². Dans l'un et dans l'autre de ces travaux, les terrains essentiels de la région sont reconnus assez nettement. Une carte

¹ B. Studer, *Mémoire géologique sur la masse des montagnes entre la route du Simplon et celle du St-Gothard* ; « Mém. Soc. géol. France », 1846. Sér. II., t. I. N° 7.

² B. Studer, *Geologie der Schweiz*, Bern & Zurich, 1851. t. I., p. 223.

géologique contenue dans le premier en donne même la répartition horizontale. Nous reproduisons ici un profil extrait de la « *Geologie der Schweiz* » (page 223).



Cl. I. Profil du massif du Simplon, d'après B. Studer, passant environ 5 Km. au N.-E. de l'axe du tunnel. S. Schistes gris (Sch. lustrés). G. Gypse, d. Dolomite et Marbres. Gn. Gneiss.

Si aujourd'hui, nous pourrions faire à ce profil le reproche de donner trop d'extension aux calcaires dolomitiques entre Veglia et Campo, où il y a en réalité des schistes gris et des intercalations de gneiss, et d'avoir omis la bande calcaire entre le gneiss et les schistes du Cistella, on ne peut qu'admirer la justesse d'observation du grand maître d'avoir reconnu la superposition du gneiss sur les calcaires au Hälsenhorn et au Cistella.

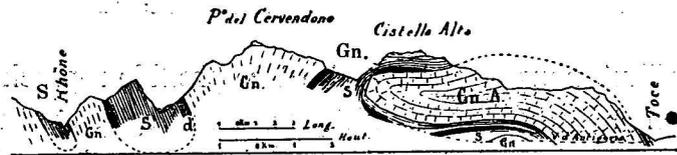
Le projet de percer un tunnel à travers le massif du Simplon, né déjà en 1853, a naturellement attiré l'attention des géologues sur cette région.

Un rapport manuscrit de l'ingénieur des mines H. GERLACH¹, à qui nous devons la première carte géologique du Valais², accompagne un projet de tunnel entre la Suisse et le Piémont par le Simplon (1859). Il indique les roches formant le massif entre la vallée du Rhône et celle du Toce et étudie trois profils, correspondant à trois tunnels projetés. L'un, le tunnel de base, entre Brigue et Iselle, avec 18 500 m. de longueur, le second de la Ganter à Campo (Alpe Nembro), et un troisième entre Binn et Goglio, suivant à peu près le tracé du profil Studer ci-dessus. Les deux derniers, à l'altitude de 1200-1400 m., auraient eu une longueur de 9 à 10 km. Gerlach a établi une carte géologique 1 : 100 000 de la région du Simplon, dont l'original existe. Cette carte n'indique pas les trois

¹ Rapport manuscrit, traduit par Venetz. 18 novembre 1869.

² H. Gerlach, *Carte géologique suisse*, feuilles XVII et XVIII, 1865. Partie S. Cette dernière s'étend spécialement sur la région du Simplon.

tracés cités, mais celui d'un tunnel entre la gorge de la Saltine, sous Lingwurm, et Gondo (frontière suisse). Ce projet doit être postérieur aux précédents. Les indications de la carte sont sensiblement conformes à celles de la feuille XVIII de l'atlas géologique suisse du même auteur (1865). Malheureusement, nous n'avons pas pu prendre connaissance d'aucun des profils géologiques construits à cette occasion par Gerlach. Ils n'ont pas pu être retrouvés. Il existe par contre un profil qui date d'une époque plus récente (1869) que les dits projets étudiés par Gerlach. Il a été publié dans son mémoire sur les Alpes pennines¹ et doit résumer à peu près les vues de ce savant sur la structure du massif du Simplon (cliché 2).



Cl. 2. — Coupe à l'est du massif du Simplon, par Gerlach.
(Réduction du 1 : 100 000).

S, Schistes métamorphiques; d, Roches triasiques; Gn, Gneiss; Gn. A, Gneiss d'Antigorio.

Ce profil, reproduit ci-dessus, pour autant qu'il concerne le massif du Simplon, suit à peu près le tracé de celui de Studer et fait donc ressortir les différences de vue de ces deux savants, abstraction faite de que ce profil est topographiquement plus exact et plus détaillé que l'autre. Mais ce qui frappe, c'est la constatation de la *superposition du massif du gneiss d'Antigorio sur des schistes micacés calcarifères* qu'aujourd'hui on considère comme étant *du même âge que les schistes lustrés*. Gerlach leur attribue un âge différent, du moins il ne les croit pas en corrélation avec ceux-ci. La superposition du gneiss d'Antigorio sur ces schistes qui se voit si nettement dans le val d'Antigorio, entre Pomat et Foppiano, et mieux encore entre Crodo et Goglio dans le val Devero, est indiquée comme un *exemple frappant de chevauchement* (Ueberschiebung) d'environ 10 kilomètres. Cette constatation témoigne de la clairvoyance de ce savant. On ne peut dire cependant que Gerlach « précéda son temps ». Gerlach a vu « ce qui était visible ». Là, par contre, où la superposition du gneiss d'Antigorio sur les schistes infé-

¹ H. Gerlach, *Die Penninschen Alpen*. « N. Denksch. d. schw. naturf. Ges. » XXIII. 1869 & « Beitr. z. geol. Karte der Schweiz ». Lf. XXVII. Profil I. 1883.

rieurs ne se voit pas, il ne le supposait pas davantage que la plupart de ses successeurs. C'est ainsi que pour la région entre Gondo et Iselle, il parle très positivement d'une voûte de gneiss. La superposition sur les micaschistes, pourtant visible près de Varzo, n'est pas relevée par lui quoique dessinée sur sa carte; ce n'est que dans le val d'Antigorio-Formazza qu'il fait intervenir le chevauchement, parce qu'il n'y a pas moyen d'interpréter la situation autrement, tant elle est évidente.

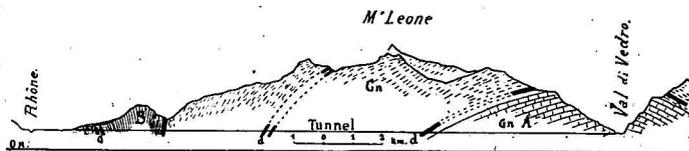
La superposition du gneiss d'Antigorio sur les micaschistes calcaires, visible dans ce dernier endroit, ne pouvait sans autre s'appliquer à un profil passant de Brigue à Iselle. Ici, le gneiss d'Antigorio paraît entourer, en forme de calotte, les micaschistes sous-jacents. Ceux-ci présentent des différences si notables d'avec les schistes lustrés que Gerlach n'hésite pas à les qualifier de « schistes métamorphiques anciens » qui se placeraient entre le gneiss d'Antigorio (gneiss inférieur) et le gneiss du Monte-Leone (gneiss supérieur). Et pourtant il exprime bien la conjecture « qu'on pourrait être tenté de supposer une jonction entre la zone des schistes lustrés et les schistes métamorphiques (schistes de Devero), autour du gneiss de l'Ofenhorn », mais, ajoute-t-il, « cela offre bien moins de probabilité que la superposition indiquée ».

Il n'a plus été fait de recherches aussi étendues que celles de Gerlach pendant les dix années qui suivirent les publications et travaux manuscrits cités. Sa mort, survenue ensuite d'un accident le 8 septembre 1871, a enlevé à la science celui qui avait pénétré le plus profondément le dédale tectonique et stratigraphique des Alpes valaisannes et du Simplon en particulier.

Les recherches qui suivirent et qui eurent pour objet divers projets de tunnels de base, entre Brigue et Iselle, Gondo ou Varzo, se sont bornés à la région voisine des tracés proposés; aucun n'a tenu compte, en particulier, de la singulière disposition du gneiss d'Antigorio dans la vallée d'Antigorio-Formazza. Les micaschistes calcaires sous-jacents au gneiss d'Antigorio, près de Varzo, et qui s'élèvent, dans la vallée de la Cairasca, jusque dans le voisinage de Gebbo, furent considérés comme étant l'assise la plus ancienne de la région, formant le noyau de la masse anticlinale du gneiss massif. C'est ainsi que l'expertise confiée en 1877¹ par la com-

¹ E. Renevier, *Structure géologique du massif du Simplon, à propos du tunnel projeté*, « Bull. Soc. vaud. Sc. nat. » t. XV. 1878. 2 planches.

pagnie du Simplon à MM. les professeurs E. RENEVIER, de Lausanne, Ch. LORY, de Grenoble, et A. HEIM, de Zurich, a conduit à la construction de deux profils; suivant l'axe de deux tracés peu différents. Dans ces profils, le gneiss d'Antigorio est envisagé comme formant le noyau central du massif, sur lequel viendraient se mouler les micaschistes et gneiss du Monte-Leone, etc., avec intercalation de schistes amphiboliques et de bancs calcaires. Le cliché 3 donne la réduction de celui des deux qui suit l'axe du tracé du tunnel débouchant au N.-W., en amont de Brigue, à la cote de 711 m., dit tracé haut. L'autre était plus rapproché du tracé actuellement en exécution.



Cl. 3. — Profil géologique du tunnel du Simplon par E. Renevier (1878).
(Réduction du 1 : 25 000).

S, Schistes lustrés ; D, Calcaires ; G, Gypse ; Gn, Gneiss et micaschistes du Monte-Leone ;
Gn. A, Gneiss d'Antigorio.

Dans le texte, M. Renevier dit n'avoir vu nulle part le substratum du gneiss d'Antigorio, tout en rappelant les observations de Gerlach dans le val d'Antigorio. Quant aux répétitions de bancs calcaires et dolomitiques, accompagnés de schistes micacés calcaires, il se déclare fortement porté à y voir des *retours d'une même zone, dus à des replis ou à des failles*. L'énorme épaisseur de schistes cristallins, d'environ 6000 m., lui paraît être un argument en faveur de cette explication, de même que l'analogie des terrains qui accompagnent les bancs calcaires. La grande épaisseur des *schistes lustrés* qui bordent le massif du Simplon au N., entre la vallée de la Ganter et le Rhône, semble devoir s'expliquer de la même manière, en raison du retour de plusieurs zones de roches dolomitiques et gypsifères. Les uns et les autres de ces derniers terrains sont considérés comme étant d'âge triasique, en tout cas sédimentaires et mésozoïques, ce qui était déjà l'opinion de Gerlach.

Une nouvelle expertise, dont furent chargés par le comité du Simplon de la Compagnie Suisse Occidentale-Simplon, les mêmes géologues avec le professeur T. TARAMELLI, de Pavie, eut lieu en 1882. Il s'agissait alors, à

part un tracé rectiligne Brigue-Iselle, de deux tracés coudés évitant le voisinage du Monte-Leone. Elle constate d'abord la présence de micaschistes sous la voûte du gneiss d'Antigorio, en relevant la portée technique que pourrait avoir cette roche en vue du percement du tunnel qui dans son ensemble rencontrerait les terrains suivants :

a) Section septentrionale, la plus courte, formée essentiellement de schistes lustrés (4 km.)

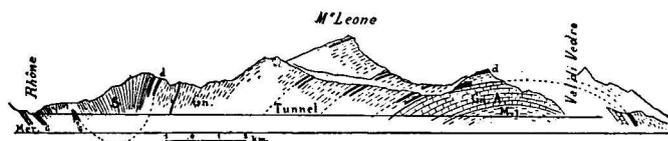
b) Section centrale, la plus longue, formée de schistes cristallins feuilletés, assez variés (9 km.)

c) Section méridionale, formée par la voûte du gneiss granitoïde, dit d'Antigorio (2 1/2 à 3 km.), avec un noyau intérieur de schistes feuilletés (3 1/2 à 4 km.).

Les auteurs donnent, dans le rapport rédigé par M. le professeur Renevier¹, plusieurs coupes détaillées des séries de terrains, notamment de la berge du Rhône, en dessous de Termen. Ils constatent l'identité des schistes lustrés du Brigerberg et du Rosswald, avec les schistes lustrés de Bardonnèche (Mont-Cenis) et les schistes grisons (Bündnerschiefer), analogie qui est encore augmentée par la présence d'intercalations de dolomites, gypse, etc. Dans la section centrale, la région des schistes cristallins, ils indiquent sept intercalations de calcaires dolomitiques et de marbres saccharoïdes passant au cipolin et distinguent dans les roches cristallophylliennes des micaschistes calcarifères, granatifères, sériciteux ou chloriteux, des gneiss schisteux analogues au Sellagneiss du Gothard (variant du gneiss glandulaire au gneiss micaschisteux), enfin des schistes amphiboliques. Ils relèvent l'existence dans la région d'Aurona-Wasenhorn d'une partie où les couches plongent au S.-E. et citent des irrégularités du même genre sur d'autres points, ce qui rendrait très probable l'existence d'une série de plis étirés et superposés, simulant seulement une superposition continue. Ils citent l'existence nettement visible d'un repli sur la paroi du Monte-Leone. M. Lory cependant est d'avis contraire et tient à une superposition des couches en série normale, en faisant intervenir plusieurs failles. La rencontre, par le tunnel projeté, des schistes micacés calcarifères inférieurs au gneiss d'Antigorio, est indiquée comme probable.

¹ Heim, Lory, Taramelli et Renevier, *Etude géologique sur le projet de tunnel coudé traversant le massif du Simplon*. « Bull. Soc. vaud. sc. nat. » XIX, 1883, 4 pl.

Dans son ensemble, le profil résumant les nouvelles observations se rapproche sensiblement de celui de la première expertise (cl. 3). Il est représenté en réduction dans le cl. 4.



Cl. 4. — Profil géologique du tunnel du Simplon d'après les observations de MM. les professeurs Heim, Lory, Taramelli et Renevier.
(Réduction du 1 : 50,000).

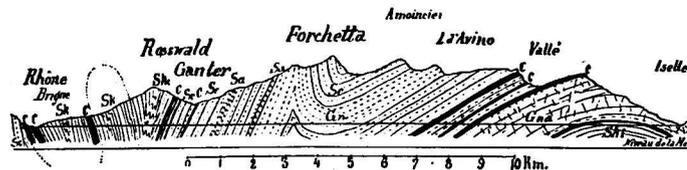
Légende du cl. 3, *M. i.*, Micaschistes inférieurs.

En 1890, après la fusion de la Compagnie S. O.-S. avec celle du J.-B.-L. et la constitution de la Compagnie Jura-Simplon, la question du percement du grand tunnel semblait près de se résoudre et une expertise complémentaire fut confiée à l'auteur de ces lignes. Le tracé prévu, à côté de plusieurs variantes proposées à l'étude par l'ingénieur Thommen, était très voisin du projet rectiligne de 1882. Après avoir consacré trois semaines aux recherches sur le terrain et à la constitution complète d'une collection de roches de la région, j'ai remis en novembre de la même année mon rapport, avec un profil et une carte géologiques 1 : 50 000. Le rapport est resté en grande partie manuscrit. Le pronostic sur les longueurs des divers terrains qui seraient traversés par le tunnel de 19 731 m. de longueur, fut seul publié en août 1891¹. Le profil géologique, sensiblement conforme dans ses traits généraux à celui des experts de 1882, en diffère cependant par l'admission d'un pli synclinal entre le Monte Leone et l'arête du Wasenhorn et par la distinction dans les schistes lustrés de deux niveaux que je considérais alors comme étant d'âge différent. Les schistes lustrés noirs non calcarifères des environs de Brigue me paraissaient plus anciens que les schistes calcarifères gris de Rosswald. Ce profil agrandi au 1 : 20 000 fut joint, sans que je l'ai pu retoucher, au rapport sur le projet de 1893² avec un résumé des épaisseurs des terrains que rencontrerait le tunnel. J'en donne ci-dessous une réduction (cl. 5).

¹ J. Dumur, *Traversée du Simplon. Rapport sur les études 1890-1891*. Berne, imprimerie Stämpfli & C^{ie}, 1891.

² Simplon-Tunnel. *Projekt 1893*. Bern, Buchdruckerei Gebhardt, Rösch Schatzmann,

On voit que les bancs calcaires sont en partie encore considérés comme étant des intercalations normales des schistes cristallins et prolongés dans le sens de leur plongement, parallèlement à la calotte du gneiss d'Antigorio jusqu'au niveau du tunnel. Ceux du col du Kaltwasser seul sont expliqués comme gisant dans un synclinal. J'avais cependant constaté, comme les experts de 1877 et 1882, l'existence d'un pli couché sur la paroi du Monte Leone, sans pouvoir en saisir la relation tectonique, ni m'assurer de la nature des terrains qui le composent. Cette sommité étant située d'ailleurs en dehors de l'axe du profil, je ne pouvais faire intervenir ce pli dans le figuré tectonique du profil. La présence de bancs calcaires dans la paroi de ce sommet m'avait toutefois paru certaine, d'après des échantillons trouvés à son pied dans les éboulis.



Cl. 5. Profil géologique du massif du Simplon dans l'axe des projets de 1890 et 1893.

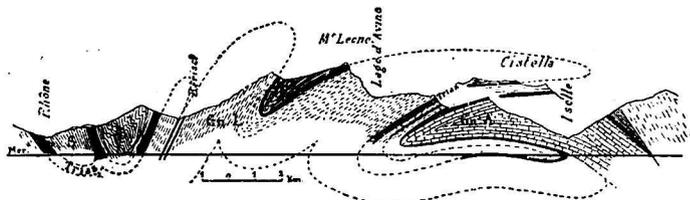
Légende. *Sk*, Schistes lustrés ; *C*, calcaire marbre dolomite, gypse, etc., Trias ; *Sc*, Schistes cristallins ; *Sa*, Schistes amphiboliques ; *Gn*, Gneiss ; *Gna*, Gneiss d'Antigorio.

Ce même profil agrandi a été reproduit avec les pièces qui ont servi de base à la demande de concession accordée en 1898, avant la mise en exécution des travaux, d'où sa qualité de « profil officiel », comme le désigne M. Schmidt.

Entre temps, soit dès l'année 1892, un autre projet a été mis en avant ; c'était celui d'un tunnel de faite, long de 8500 m., passant du pont de Bérissal, 1500 m., à Campo (Nembro), 1450 m. (projet Masson). J'ai fourni aux demandeurs en concession un profil géologique qui n'a pas été publié. Il n'était d'ailleurs basé sur aucune nouvelle étude et sensiblement conforme à celui de 1900, sauf les différences résultant du déplacement du tracé du côté du N.-E., d'environ 500 m., sous Bérissal, et de près de 2 km. à Campo.

En 1892 et 1893, à la suite de nouvelles études, faites en vue d'une excursion à travers le Simplon, pendant le *congrès géologique international* de Zurich (1894), j'ai été amené à envisager autrement que jusqu'ici la

situation du gneiss d'Antigorio. Les constatations faites par Gerlach aux environs de Crodo et de Baceno (val de Devero) me paraissaient devoir s'appliquer à la masse de gneiss formant les abords des gorges de Gondo et d'Iselle. Pendant une excursion faite en commun avec MM. Schmidt et Gräff, en août 1893, je me suis convaincu de la réalité de ces faits et en même temps de l'équivalence stratigraphique des schistes lustrés de la vallée du Rhône, d'une part, et des schistes micacés, dits inférieurs, existant sous le gneiss d'Antigorio, d'autre part. Les schistes micacés calcaireux de Varzo-Gebbo doivent supporter le gneiss d'Antigorio et l'entourer complètement en passant sous le bord nord de cette masse, tout comme le font les schistes de Baceno-Goglio dans le profil de Gerlach¹. Cette situation a été représentée dans le profil joint au programme d'excursion paru en 1894². Outre la différence de structure relative au gneiss d'Antigorio et aux schistes qui lui sont sous-jacents, j'ai modifié, mais à tort, la forme de la selle synclinale entre le Monte Leone et le Wasenhorn et admis la région culminante du premier de ces sommets comme étant formée par des calcaires avec un faible chapeau de gneiss, ce qui n'est pas exact. La masse de gneiss qui couronne ce sommet est beaucoup plus importante. Ci-dessous une réduction de ce profil, cl. 6.



Cl. 6. — Coupe à travers le massif du Simplon, d'après M. Schardt (réduction du 1 : 100 000).

S, Schistes lustrés ; Gn. L, Gneiss du Monte Leone ; Gn. A, Gneiss d'Antigorio.

M. H. GOLLIEZ³, l'un des collaborateurs du *Livret guide*, a aussi publié, à cette même occasion, un profil géologique du Simplon qui renferme les mêmes innovations, et, chose curieuse, aussi les mêmes erreurs que le mien. Il en diffère cependant par l'attribution au Trias du gneiss de la Ganter, ce

¹ H. Schardt, *Le gneiss d'Antigorio*, C. R. Soc. helv. Sc. nat., Lausanne. « Arch. Sc. phys. et nat., Genève », t. XXX, nov. 1893.

² H. Schardt, *Profil du Simplon*, « Livret guide géologique de la Suisse », 1894, pages 190-193, et pl. X, fig. 5.

³ H. Golliez, *Ibidem*, pages 229-232, fig. 87.

qui n'est qu'en partie admissible, et par l'application d'une classification artificielle au groupe des schistes cristallins qu'il figure formés d'une superposition de schistes amphiboliques, de gneiss supérieurs et de gneiss inférieurs.

C'est dans le même ordre d'idées, conformément à nos constatations communes et en accord avec celles de Gerlach, que M. le professeur SCHMIDT¹ a représenté la situation du gneiss d'Antigorio dans la région à l'Est du Simplon².

La réunion de la Société helvétique des sciences naturelles et de la Société géologique suisse à Zermatt, en 1895, devait coïncider avec une excursion géologique dans le massif du Simplon, sous la direction de M. C. SCHMIDT¹ qui a construit à travers ce massif pas moins de dix profils et plusieurs coupes locales² dans lesquels le gneiss d'Antigorio est représenté aussi en superposition sur les micaschistes inférieurs, considérés comme équivalents aux schistes lustrés mésozoïques, mais seulement jusqu'aux environs de la vallée de la Cairasca à Gebbo entre Iselle. A Gondo, cette situation n'est plus figurée. Les zones de schistes lustrés et calcari-fères (jurassique), bordées de roches dolomitiques (triasique), qui se succèdent en plusieurs séries entre la vallée du Rhône et celle de la Diveria, sont représentées comme des synclinaux, tantôt évasés, tantôt plus ou moins écrasés et déjetés. En général, le gneiss et les schistes cristallins qui les supportent, ou dans lesquels ils sont enfoncés, dessinent selon l'auteur un *vaste anticlinal surbaissé*, dans lequel les synclinaux mésozoïques ne formeraient que des enfoncements entre des ondulations accessoires plus ou moins aiguës.

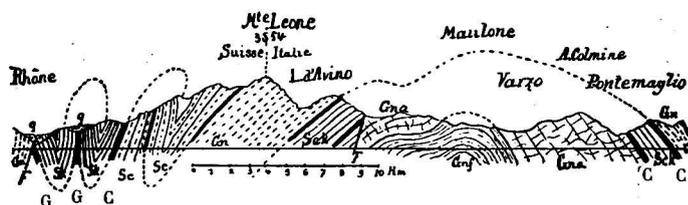
L'année 1895 a vu paraître le grand ouvrage de M. TRAVERSO³ sur la région de l'Ossola. Il contient plusieurs profils transversaux de cette région alpine, dont un, que je reproduis partiellement en réduction (cl. 7), va de Brigue dans la vallée du Rhône, jusque dans la vallée de la Toce, en divergeant cependant vers le sud de plus en plus avec l'axe du tunnel du

¹ C. Schmidt, *Profile durch die Centralen Schweizeralpen*. « Livret-guide géol. », 1894, pages 136-142, pl. VIII, fig. 6.

² C. Schmidt, *Géologie du massif du Simplon*, « Arch. Sc. phys. et nat. Genève », t. XXXIV, 1895. Une planche avec 12 profils qui n'a pas été répandue en librairie.

³ Stef. Traverso, *Geologia dell'Ossola*. Genova, Tip. di Ang. Ciminago, 1895.

Simplon. Dans ce mémoire, un des plus étendus et certainement des plus approfondis, l'auteur distingue dans les schistes lustrés deux niveaux, l'un triasique, l'autre jurassique, et sépare la série cristallophyllienne du Monte Leone en deux groupes, les micaschistes avec bancs calcaires intercalés et les gneiss schisteux, reposant à leur tour sur un groupe de calaschiste gneissique (les micaschistes de Vallé-Ciamporino) se moulant autour du gneiss d'Antigorio, considéré comme l'équivalent du gneiss central. Ce dernier cependant ne serait pas le terrain le plus ancien de la région ; M. Traverso reconnaît comme tel un gneiss feuilleté (les micaschistes inférieurs) reposant à leur tour sur un gneiss plus profond, le gneiss de Verampio (gneiss de Crodo). La tectonique du massif du Simplon se constituerait donc d'un anticlinal presque simple comprenant en superposition concentrique toute la série de terrains, du gneiss de Verampio aux micaschistes supérieurs. Au Nord de ce dôme, ces derniers et les schistes lustrés forment encore deux anticlinaux. Le cliché 7 donne une réduction de ce profil, qui se complique encore d'une faille sur le bord nord du massif de gneiss d'Antigorio.



Cl. 7. — Profil à travers le massif du Simplon, d'après M. Traverso (1895).

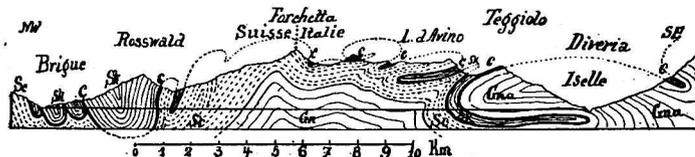
Légende : *Sk*, Schistes lustrés ; *G*, gypse ; *C*, calcaire ; *Sc*, micaschistes ; *Gn.*, Gneiss schisteux et fibreux ; *Sch*, Calaschistes gneissiques ; *Gna.*, Gneiss granitoïde d'Antigorio ; *Gnf.*, Gneiss feuilleté (micaschistes inférieurs) ; *F*, Faille.

On voit que M. Traverso envisage la situation d'une manière analogue aux vues des experts de 1877, 1882 et 1890. Les observations de Gerlach dans les vals d'Antigorio et de Devero ne sont pas discutées.

Vient ensuite, en 1902, le profil de M. C. SCHMIDT¹, répandu par multiplication héliographique, et dont je donne ci-dessous une réduction (cl. 8).

¹ C. Schmidt, *Bemerkungen zum Entwurf eines geologischen Profiles durch den Simplon in der Richtung der Tunnelaxe*. Ende November 1901, 2 Feb., 6 März 1902. Copies dactylographiques et profil héliographique.

Ce profil est sensiblement conforme au profil n° 6 de 1895 du même auteur ; mais il le complète par la constatation d'un repli synclinal couché sur le flanc de l'arête de Vallé, d'un autre au bord du Lago d'Avino et d'un troisième au Monte Leone, celui qui a déjà été observé par les experts en 1882. Ce serait donc un grand anticlinal avec plusieurs ondulations passant à la surface à des plis couchés et étirés¹. Le noyau de l'anticlinal serait du gneiss massif du type d'Antigorio, entouré d'un manteau de gneiss schisteux (type du Monte Leone). Constatons encore que l'auteur de ce profil admet deux niveaux de gneiss, le gneiss massif du type d'Antigorio ou gneiss ancien, à la base ; les gneiss schisteux du Monte Leone, avec toute la série cristallophylienne, formeraient un groupe plus récent, supportant le Trias, suivi des schistes lustrés jurassiques.



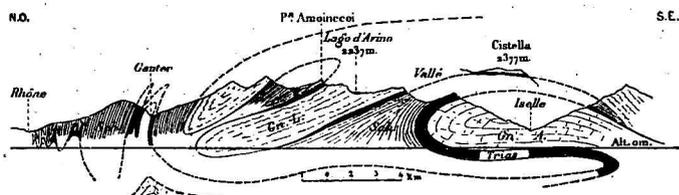
Cl. 8. — Profil géologique du massif du Simplon dans l'axe du tunnel d'après C. Schmidt, 1901.

Légende. *Sk*, Schistes lustrés jurassiques ; *d*, Calcaire dolomitique, anhydrite, etc., Trias ; *Sc*, Schistes micacés et gneiss supérieurs ; *Gn* et *Gna*, Gneiss inférieurs et d'Antigorio.

En suivant la même voie que moi dans l'explication de la tectonique des Alpes, M. LUGEON² a appliqué aussi aux gneiss du Simplon le principe des plis couchés et construit un profil, d'ailleurs très sommaire, dont nous avons déjà parlé. Comme M. Schmidt, il s'est servi pour cela en partie de mes « renseignements géologiques » contenus dans les rapports au Conseil fédéral. Il ignorait sans doute que dès 1900 j'étais convaincu de la nécessité de considérer les gneiss de la zone du Monte Leone - Wasenhorn comme des plis culbutés vers le Nord. Ci-dessous le profil construit par lui, cl. 9.

¹ J'ai appliqué, en 1899, une construction analogue dans un profil resté manuscrit et qui a figuré dans la section du Simplon à l'exposition universelle de Paris de 1900.

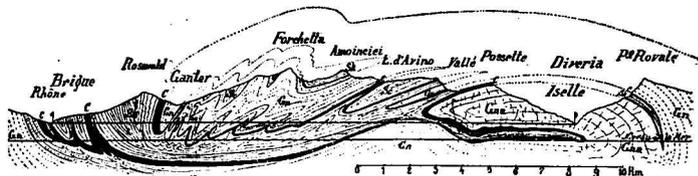
² M. Lugeon. *Les grandes nappes de recouvrement*, « Bull. Soc. géol. France 1901, page 815, fig. 13. — *Coupe géologique du massif du Simplon*, « C. R. Acad. Sc. Paris », 24 mars 1902.



Cl. 9. — Profil du massif du Simplon d'après M. Lugeon, 1901.

Légende. *Sch.*, Schistes lustrés; *Gn. L.*, Gneiss du Monte-Leone; *Gn. A.*, Gneiss d'Antigorio.

Ce profil et celui de M. Schmidt paraissant à un moment où je suivais avec impatience la marche des découvertes dans le tunnel, ont naturellement nécessité de ma part la présentation d'un profil exprimant ma nouvelle manière de voir, ainsi que cela a été dit plus haut. Le cl. 10 ci-dessous est une réduction du profil plus détaillé au 1 : 50 000 (pl. II) et permet une comparaison plus facile avec les constructions qui ont vu successivement le jour. Il est lui-même, sur six autres essais appliquant le même principe, celui qui m'a paru le plus probable. Les événements, depuis le moment où j'en ai fait l'ébauche (avril 1902), jusqu'au mois de juillet 1903, ont montré que j'étais dans le vrai.



Cl. 10. Profil par le massif du Simplon, par H. Schardt, avril 1902 à juillet 1903.

Légende. *Sk*, Schistes lustrés; *c*, Trias; *Sc*, Schistes cristallins et amphiboliques; *Gn.*, Gneiss du Monte-Leone etc.; *Gna.*, Gneiss d'Antigorio.

Ce profil ne dit probablement pas le dernier mot, il s'en faut sans doute de beaucoup. La revision complète des relevés, les études pétrographiques spéciales qui se poursuivent actuellement et les relevés nouveaux sur le terrain amèneront probablement encore des modifications et nous souhaitons que ce soient plutôt des simplifications que des complications. La comparaison de ce profil avec celui de M. Lugeon montre la différence essentielle et fondamentale de ce dernier, résultant d'une connaissance incomplète et insuffisante de la géologie de la région; il en ressort combien il

est hasardé de construire des profils géologiques dans de telles conditions. Ce profil n'est exact pour autant qu'il est basé sur mes relevés dans le tunnel.

Il est surtout intéressant de suivre, comme nous venons de le faire, la modification successive des vues des divers géologues qui se sont occupés du Simplon. Aucune montagne n'offre une multitude aussi grande de conceptions différentes. Et plusieurs profils des plus remarquables qui ont été successivement construits et proposés, ne figurent pas parmi les dix exemples qui précèdent. J'aurai surtout voulu y ajouter l'un ou l'autre des profils de Gerlach, suivant l'un des projets de tunnel, et celui de M. Lory qui fait intervenir une série de failles verticales. Les dessins n'ont malheureusement pas pu être retrouvés.

En somme, on voit que le profil définitif du massif du Simplon est singulièrement différent de ceux qui ont été présentés successivement en si grand nombre.

Stratigraphie et tectonique du massif du Simplon.

Tant que l'on considérait la succession des formations dès le mica-schiste infraposé au gneiss d'Antigorio, jusqu'aux schistes lustrés, comme formant une série continue de terrains, probablement sédimentaires, paléozoïques ou même archéiques, comme le fait M. Traverso, la stratigraphie de cette région devait paraître singulièrement compliquée. Le retour des mêmes assises avec des contacts analogues à diverses reprises, relevé déjà par les experts de 1877, en faveur de la possibilité de l'existence de replis superposés, doit être considéré comme le point de départ de la solution du problème que recèle cette région, solution qui est d'autant plus difficile à atteindre que, les schistes lustrés exceptés, qui contiennent des Belemnites jusque dans le voisinage de l'embouchure N.-W. du tunnel, aucun des terrains de ce massif n'a jamais fourni le moindre reste d'organisme. La distinction des formations doit donc se baser exclusivement sur leur caractère pétrographique. Si l'on considère encore que la plupart des terrains du Simplon ne présentent plus leur aspect primitif, mais ont subi, dans une mesure variable, l'influence du métamorphisme dynamique et bathial, le problème doit paraître presque insoluble, car des terrains de même âge

peuvent présenter un aspect fort différent, ce dont la classification de M. Traverso se ressent visiblement. D'autre part, la même influence peut imprimer à des terrains d'origine différente, un aspect très semblable. En général, la tectonique d'une région ne peut être définie clairement avant d'en avoir établi nettement la série stratigraphique. Ici, c'est plutôt le contraire qui a eu lieu. Il n'a été possible de fixer la série stratigraphique qu'après avoir reconnu les allures tectoniques des terrains, qu'il s'agisse de plis ayant leur point d'attache en profondeur (profil Schmidt) ou de plis ayant au contraire leur charnière anticlinale frontale enfoncée dans le terrain ambiant plus récent (profil Schardt 1902-1903). L'important est d'avoir reconnu l'existence et la position de ces replis. On voit en effet que ces deux profils en admettent sensiblement le même nombre, mais avec les charnières renversées ; là où le premier place la racine du pli anticlinal, le second place la charnière, sauf pour le gneiss d'Antigorio et le pli visible au Monte Leone¹ pour lequel M. Schmidt admet un renversement assez étrange et peu explicable.

Le fil d'Ariane ayant permis de sortir de ce dédale et d'arriver à en fixer les contours a été fourni par l'établissement définitif de l'âge des schistes lustrés et de leur substratum, les calcaires dolomitiques, gypse, anhydrite et schistes verdâtres parfois accompagnés de quartzite. Les premiers sont certainement jurassiques (Lias-Dogger), les derniers dans leur ensemble représentent le Trias. Ils reposent invariablement dans notre région sur les schistes cristallins, ou directement sur le gneiss, soit schisteux ou œillé, soit massif et granitoïde (Antigorio), et peuvent être considérés avec certitude comme étant partout du même âge. Il y aurait ainsi la série suivante de terrains :

Schistes lustrés, Schistes calcaires, Schistes granatifères, etc. *Jurassique*.

Dolomites, gypse, anhydrite, quartzites, schistes gris micacés, chlorite, etc. *Trias*.

Schistes cristallins (micaschistes ordinaires et granatifères, schistes amphiboliques, etc. *Paléozoïque ?*

Gneiss schisteux et fibreux, gneiss œillé (gneiss du Monte Leone) et gneiss massif ou granitoïde (gneiss d'Antigorio). *Terrain primitif*².

¹ C'est de ce pli que parlent les experts de 1877.

² Considéré comme étant la première croûte de consolidation de la terre,

M. Schmidt réunit le groupe des gneiss schisteux et fibreux avec la série des schistes cristallins sous le nom de *groupe du Monte Leone*. Il me paraît évident que les gneiss schisteux et fibreux du Monte Leone *ne sont qu'un équivalent plus laminé et plus métamorphique du gneiss massif*. Les régions fortement laminées du massif du gneiss d'Antigorio renferment des roches absolument semblables à celles des gneiss du Monte Leone.

La nature si particulière des calcaires dolomitiques, marbres, gypse et anhydrite, leur association si régulière dans le sens d'une substitution fréquente des uns par les autres, le voisinage de schistes calcaires, sont des motifs pour considérer toutes les zones calcaires dolomitiques ou gypsifères du massif du Simplon comme étant d'âge triasique, d'où résulte que les micaschistes calcarifères voisins doivent être l'équivalent des schistes lustrés, aussi différents, souvent gneissoïdes qu'ils soient par suite du métamorphisme.

Le point d'attache de l'application de ce principe aux diverses zones calcaires du Simplon et leur explication par des replis, est l'existence sur le flanc sud-est du Monte Leone d'un superbe lacet, ayant l'aspect d'un anticlinal avec sa charnière tournée vers le sud; celle-ci se voit nettement au Stickelsgrat. Il est formé par une bande calcaire de quelques mètres d'épaisseur. L'intérieur du repli est occupé par des schistes calcarifères, des micaschistes granatifères et des schistes verts. Comme la branche inférieure de ce long pli en V couché repose sur le gneiss grossier et lité du Monte Leone, de même la branche supérieure est surmontée de ce même terrain qui constitue le sommet du Monte Leone. Ce n'est donc pas un anticlinal, mais un synclinal ayant sa charnière tournée vers le sud et l'ouverture au nord plus basse que la première. Cette constatation que je fis positivement en août 1900, en traversant le col d'Amoincei, entre le Lago d'Avino et le glacier d'Aurona, est vraiment la clef de l'énigme de la tectonique du Simplon. Il en résulte que *ces répétitions de bancs calcaréodolomitiques, associés à des schistes calcarifères plus ou moins micacés, au milieu des masses gneissiques et cristallophylliennes, sont probablement aussi des synclinaux à charnière relevée au sud et séparés par des anticlinaux culbutés de gneiss, ayant la charnière anticlinale enfoncée vers le nord*. C'est le renversement de la construction précédemment admise; c'est en même temps une simplification considérable de la stratigraphie du massif.

Si je suis tout à fait d'accord avec M. le prof. Schmidt quant à la stratigraphie, sauf le détail relevé plus haut concernant l'équivalence du gneiss du Monte Leone et de celui d'Antigorio, il n'en est absolument pas de même quant à la tectonique! Celle-ci est toute autre que ne l'a imaginée mon estimable confrère de Bâle.

Je n'ai pas à justifier ici par les détails les formes particulières des replis que ce profil fait intervenir pour expliquer les répétitions de gneiss, calcaires dolomitiques et schistes calcarifères. La régularité de ces répétitions, en ordre alternativement normal et renversé, est une preuve de plus de l'existence de replis.

La dépression Kaltwasser-Aurona-Alpe di Veglia renferme une autre énigme. C'est ce synclinal que j'avais déjà constaté en 1900 et qui contient des schistes lustrés avec bancs calcaréo-dolomitiques à la base; c'est la continuation des bancs du synclinal couché et de la paroi de Monte Leone. M. Lugeon voudrait faire de cette zone de schiste le culot synclinal d'un pli, le même que celui du Monte Leone, qui séparerait les deux anticlinaux gneissiques culbutés du Monte Leone et du Wasenhorn. Mais il est certain que le gneiss du socle du Monte Leone va rejoindre *au-dessous* de cette zone calcaréo-schisteuse la zone gneissique du Wasenhorn, ce qui correspondrait davantage à la deuxième construction indiquée par lui¹. Mais, d'autre part, le gneiss du Wasenhorn-Bérisal ne forme pas une masse uniforme et simple, mais une succession de plis qui doivent résulter de l'écrasement du grand pli contre la masse de schistes lustrés accumulés au bord de la vallée du Rhône; le synclinal évasé entre le Monte Leone et le Wasenhorn est d'ailleurs aussi un des résultats de cet effet. Mais que devient le flanc supérieur du synclinal culbuté du Monte Leone. Il doit nécessairement se contourner en anticlinal tendant à s'enfoncer par sa charnière vers le nord. Or, il existe au-devant de la masse du Wasenhorn séparée de celle-ci par une zone étroite de roches triasiques et calcaréo-schisteuses jurassiques, une masse de gneiss, le *gneiss de la Ganter*, qui est réduite à 500 m. d'épaisseur près d'Eisten au-dessus de l'axe du tunnel, et à moins de 400 m. au niveau de celui-ci, tandis que plus haut et à l'est, il acquiert plusieurs kilomètres de largeur. Cette zone de gneiss a donc la forme d'un coin,

¹ Loc. cit. fig. 13.

d'un front d'anticlinal enfoncé en position verticale dans les terrains mésozoïques; c'est pourquoï je l'ai considéré, dès sa percée en 1900, comme un argument en faveur de la théorie appliquée à mon nouveau profil, théorie qui est aujourd'hui un fait prouvé. Mais il y a plus; cette zone de gneiss de la Ganter passe, du côté de l'ouest, entre le col de la Nanzilücke extérieure et le Glishorn, pour se terminer au bord de la Viège près de Stalden, au milieu des schistes lustrés¹. Du côté du nord-est, par contre, elle s'élargit de plus en plus, comme la zone de schistes lustrés qui la borde au sud-est, puis elle se soude visiblement aux masses énormes de gneiss qui bordent le Binnthal et viennent, reposant toujours sur les schistes lustrés de la zone de Bérisal-Steinental, se superposer aux gneiss du Bortelhorn pour former le sommet du Hüllehorn lui-même. Auparavant, les schistes lustrés calcarifères de Bérisal-Steinental forment deux replis synclinaux sur le flanc des gneiss du Bortelhorn, bien visibles sur le bord du Steinengletscher. C'est la bifurcation indiquée déjà par Gerlach. Le passage des schistes calcaires sur l'arête du Hüllehorn, après que la zone du Steinental a contourné par le Blauseepass la pyramide du *Gibelhorn*, en passant au nord-est du sommet coté 2695 m, est extrêmement bien visible, lorsqu'on se trouve sur le Rämigletscher. On voit alors cette zone descendre entre les gneiss du Gibelhorn et ceux de l'arête du Sickergalen, pour reprendre l'autre côté du glacier, d'où elle se dirige vers le col entre le Hüllehorn et le Bortelhorn. Sur le versant dominant l'Alpe di Veglia et le Lago del Bianco, on la voit passer horizontalement jusqu'au Ritterpass, creusé dans le gneiss du massif inférieur, tandis que les gneiss de l'arête du Hüllehorn lui sont visiblement superposés. Ces mêmes gneiss se retrouvent au sommet du Cherbadung, surmontés d'une nouvelle zone de schistes calcaires. Les serpentines de la masse du Geisspfad sont, selon toute apparence, intimement liées à ce synclinal étiré de schiste jurassique. La même coïncidence s'observe pour la serpentine du glacier d'Aurona, du Hübschhorn au-dessus de l'hospice du Simplon et de celle de la Nanzilücke intérieure, sans parler des nombreux gisements de la vallée de la Viège, etc. En cela, je suis absolument d'accord avec Gerlach qui constate que tout le groupe des schistes

¹ Le profil entre le Nesselthal et le Schienhorn, à l'ouest du col du Simplon, et celui du Spitzhorn montrent avec évidence la superposition de ce gneiss sur les terrains mésozoïques.

verts chloriteux, talqueux, amphiboliques avec leurs intercalations de serpentine, stéatite et même de gabbros qu'il désigne sous le nom de schistes métamorphiques récents, est intimement lié à la zone des schistes lustrés, avec lesquels ils alternent fréquemment, les substituant même parfois. Cette liaison est-elle d'ordre génétique ou tectonique, je ne saurais me prononcer aujourd'hui dans un sens plutôt que dans l'autre, bien que je pencherais presque plutôt vers la première alternative. M. PREISWERK ¹, à qui nous devons une étude sur les serpentines du Geisspfad, est plutôt d'avis de conclure à une relation entre le gneiss et la serpentine. Mais d'un autre côté, la fréquence des schistes verts et amphiboliques dans les schistes grisons, la présence de tous les éléments constituant le groupe des schistes métamorphiques récents de Gerlach dans la zone que nos confrères italiens ont nommée zone des « Pietri verdi », au milieu de schistes franchement sédimentaires et de couches en partie fossilifères (jurassiques), est trop significative pour que nous puissions repousser cette relation comme impossible. Le problème est pour l'instant encore irrésolu, mais je ne doute pas que la question sera tranchée tôt ou tard d'une façon définitive. Le synclinal évasé que dessinent les gneiss du socle du Cherbading et dans lequel gît la masse de serpentine du Geisspfad, est apparemment la continuation de celui qu'occupent les schistes calcaires entre le Monte Leone et le Wasenhorn. Il franchit l'arête formant la limite entre la Suisse et l'Italie au Ritterpass et se trouve, à partir de là, sur le côté nord-ouest de celle-ci.

La tectonique générale et sommaire du massif du Simplon sur le tracé du grand tunnel ressort clairement de mon profil (Pl. II). Les régions ou zones qui composent les éléments de ce dernier ont déjà été en partie fort bien reconnues par Studer et par Gerlach. Ce sont du N. au S. :

1. La ZONE DES SCHISTES LUSTRÉS, formant une série de replis très aigus, indiqués par des intercalations de bandes de calcaires dolomitiques et de gypse (anhydrite). Le tunnel a traversé cette région entre le Km. 0 et le Km. 3,843 de l'attaque nord-ouest, en coupant à trois reprises des intercalations dolomitiques et anhydritiques, entre le Km. 677 et 715,5 (celle-ci non prévue), du Km. 1,235 à 1,434 avec une faible intercalation schisteuse

¹ H. Preiswerk, *Ueber den Dunitserpentin am Geisspfad im Oberwallis*. Inauguraldissertation, Basel, 1901, et « *Eclogae géol. helv.* » VII, 1901, p. 123-125.

au Km. 1,400; enfin du Km. 1,501 au Km. 1,516. Les schistes lustrés se distinguent partout par leurs nombreux replis, par les intercalations quartzeuses, dans les schistes noirs, jusqu'aux environs du Km. 2 et en partie calcitiques, dans les schistes gris calcarifères. Ces intercalations, nées par sécrétion dans des craquelures et surtout dans les vides entre les délits du schiste, moulent admirablement les curieux contournements de ceux-ci et en font ressortir les détails.

2. La ZONE TRIASIQUE entre les Km. 3,846 et 4,079 présente une composition assez étrange par la présence, au milieu des roches dolomitiques et gypsifères, d'une intercalation de schiste gris micacé qui paraît appartenir au Trias et d'une forte assise d'une *roche gneissique* (3,913 à 3,993) que j'avais considéré comme une lame ou écaille de gneiss, intercalée par une action tectonique. La roche mérite en effet le qualificatif de *gneiss schisteux à deux micas*. Elle est par place finement glanduleuse. Cependant, j'ai réussi à constater sa vraie nature. Lorsqu'on monte du Nesselthal à Galen, sur les flancs du Glishorn, on peut constater que le contact de ce terrain avec le calcaire dolomitique et les schistes n'est nullement mécanique, soit tectonique; qu'il y a au contraire des alternances formant un passage graduel de l'un à l'autre et que ce gneiss doit avoir formé primitivement des intercalations sédimentaires. Je le considère donc comme une *grès métamorphique*, soit une arkose, composée des éléments du gneiss et que la recristalisation métamorphogène a retransformé en gneiss. Une autre différence d'avec le vrai gneiss est sa couleur gris verdâtre au cours du délitement et sa fragmentation en débris cubiques, tandis que le vrai gneiss schisteux se détache en plaques.

3. Le GNEISS DE LA GANTER, passant plus au nord-est au gneiss de la vallée de Binn, a été traversée dans le tunnel du Km. 4,079 au Km. 4,424, avec des caractères plus ou moins gneissiques. C'est en tous cas un vrai gneiss et non une roche sédimentaire triasique.

4. LA ZONE DE CALCAIRES DOLOMITIQUES (Trias) avec SCHISTES CALCAIRES, grenus et calcaires plaquetés gris (Jurassique) du pont de la Ganter, sous Bérissal, présente à la surface une épaisseur allant en croissant vers l'est

dans la direction du Steinenthal. Du côté ouest, elle aboutit entre les deux Nanzilücken sur l'arête entre le col du Simplon et le Nanzerthal. C'est cette zone qui forme le noyau du synclinal du Monte-Leone. Elle n'a, au niveau du tunnel, qu'une épaisseur insignifiante, réduite qu'elle est par la lamination. Le contact du côté N.-W. avec le gneiss précédent est très net; c'est une surface de glissement ou de lamination. Du côté S.-E. par contre, on passe graduellement à des schistes micacés et gneissiques granatifères par l'intermédiaire de schistes chloriteux ou quartzitiques, quelquefois amphiboliques, visibles aussi bien dans le Steinenthal qu'au niveau du tunnel. On a encore traversé deux intercalations de schiste calcaire et de lits de calcaire grenu peu épais, que j'explique comme des replis, tandis qu'on pourrait aussi considérer l'ensemble de ces terrains jusqu'au Km. 4,935, où se montre le dernier lit de calcaire grenu, comme appartenant à la série triasique-jurassique, ce qui serait évidemment une simplification de profil.

5. ZONE DU MONTE-LEONE. Au Km. 4,935, commence la série des *schistes cristallins* et des *gneiss schisteux* qui composent toute la zone du Wasenhorn et du socle du Monte Leone. J'y distingue deux éléments :

a) *Les micaschistes et gneiss schisteux*, souvent granatifères, avec intercalations de roches quartzitiques, d'amphibolites et de schistes amphiboliques.

b) *Le gneiss du Monte-Leone*; gneiss grossier, schisteux ou fibreux, parfois ocellé, avec zones aplitiques à grain fin et traînées ou ségrégations basiques, micacées. C'est l'équivalent plus dynamométamorphe du gneiss d'Antigorio.

La série *a* est évidemment plus récente et a tout à fait l'apparence d'un groupe de terrains sédimentaires métamorphiques. J'ai longtemps hésité à y voir un équivalent métamorphique des schistes lustrés ou du moins du trias, en raison de la fréquence d'intercalations quartzitiques, dessinant de nombreux contournements. L'abondance des grenats semble être un autre caractère favorable à cette interprétation. Toutefois les grenats se rencontrent aussi dans certaines zones du gneiss du Monte-Leone absolument typique. Le problème de l'âge de ces micaschistes supérieurs

avec amphibolites, schistes amphiboliques et schistes chloriteux, n'est pas encore tranché. Je ne serais pas surpris si un jour on leur attribuait un âge triasique, sinon paléozoïque. Ce qui est frappant, c'est leur absence sur le versant sud du Simplon, entre les calcaires triasiques et le gneiss d'Antigorio.

Des intercalations de schistes calcarifères gris et de lits calcaires près du Km. 7,248, et de quartzites calcarifères suivis de schistes micacés calcarifères avec sécrétions d'anhydrite dès le Km. 8,148 au Km. 8,487, roches fortement repliées et accompagnées d'infiltrations d'eaux gypsifères, m'ont amené à admettre là *des pointements des couches jurassiques ou triasiques sous-jacentes à la masse gneissique*. C'est même un des arguments des plus péremptoires, *démontrant la superposition du gneiss du Monte-Leone sur les couches sédimentaires mésozoïques*. Si cette masse était un pli anticlinal ayant racine en profondeur, ni ces terrains, ni les infiltrations d'eaux gypseuses, si constantes sur ces points, n'auraient pu se présenter. Dès le retour dans le gneiss, les eaux ont de nouveau perdu leur teneur en gypse. Au Km. 9,400 environ, on a atteint les *calcaires triasiques tout à fait authentiques* avec le plongement indiqué dans le profil. Au Km. 9,679 enfin, on est entré dans les *schistes micacés calcarifères* typiques, terme plus métamorphique des schistes lustrés calcaires.

Les micaschistes avec schistes amphiboliques entourant le gneiss du Monte-Leone forment donc avec celui-ci une nappe jetée sur les terrains triasiques et jurassiques et repliée subséquemment sur son substratum, d'où son épaisseur énorme en apparence. Les faux anticlinaux existant dans la profondeur correspondent à des percées du gneiss à la surface, au milieu des schistes cristallins plus récents. C'est le cas du rocher d'Isenweg, au N.-W. du col de la Forchetta.

6. BANDE CALCAIRE DU LAGO D'AVINO. Elle se dirige du côté de l'Alpe di Veglia au N.-E. et par le Pizzo-Forato et la paroi au S. du Monte-Carnera par Schwarze Balmen, jusqu'à la Vieille Caserne sur Gondo. Elle a été atteinte, comme dit, au Km. 9,400 dans le tunnel.

A partir de ce point, le profil, au niveau du tunnel, traverse jusqu'au gneiss d'Antigorio une série de terrains fort différente de celle de la surface.

7. GNEISS DU LAGO D'AVINO. Zone du gneiss schisteux de micaschistes granatifères et d'amphibolites.

8. CALCAIRES ET MICASCHISTES gris calcarifères de l'Arête de Vallé.

9. GNEISS DE VALLÉ. Zone de gneiss schisteux et écailleux, tantôt grossier, tantôt fin, passant de Casparione sur Campo (Nembro) jusqu'au Pizzo-Cornachia sur Vallé. C'est le *gneiss de Lebendun* de Gerlach.

Ces deux zones de gneiss 7 et 9, n'ayant pas racine en profondeur, ne seront probablement pas rencontrées par le tunnel qui traversera dans ce cas, dans la région encore à perforer, exclusivement des schistes calcarifères résultant de la fusion des zones 6, 8, 10 et 12.

10. CALCAIRES ET SCHISTES CALCAIRES DE VALLÉ-CIAMPORINO. Zone de calcaires triasiques et schistes lustrés calcarifères, avec le banc de calcaire blanc couronnant l'arête du Pizzo Teggiolo.

Cette zone va de Goglio, par Ciamporino, Vallé et Alpien, aussi jusqu'à la Vieille Caserne sur Gondo, où toute l'épaisseur énorme de terrains, comprise entre le banc calcaire du Lago d'Avino (7) et la zone de Teggiolo, mesurant entre ces deux points un développement horizontal transversal de plus de 4 km. (épaisseur normale à la stratification 1000 m.) est réduite à moins de 200 m. d'épaisseur. On y trouve encore nettement la zone 6, des vestiges de la zone 7, et certainement la zone 9, puis tous les terrains de la zone 10, le tout extrêmement laminé.

11. GNEISS A GALETS. Du Km. 5,326¹ au Km. 6,832, donc sur plus de 1500 m. de l'attaque S.-E. (Iselle), on a traversé une roche gneissique et micaschisteuse que j'ai nommée « gneiss à galets » à cause d'innombrables noyaux lenticulaires, arrondis ou en apparence même anguleux de gneiss grossier du type d'Antigorio, qui gisent dans un milieu micaschisteux. Cette roche me paraissait d'abord comme devant être considérée comme un *conglomérat métamorphique*. Aujourd'hui, je suis plutôt de l'avis de l'assimiler au gneiss schisteux, intermédiaire entre le gneiss schisteux du Monte Leone et le gneiss massif d'Antigorio. Elle forme un dôme surbaissé et doit correspondre au point de vue tectonique à ce bombement gneissique qui

¹ Ces distances et les suivantes sont mesurées dès l'embouchure S.-E.

apparaît dans la vallée d'Antigorio entre Crodo et Baceno, sous les mica-schistes sous-jacents au gneiss d'Antigorio. C'est un bombement du gneiss appartenant au *flanc normal non disloqué du bassin des schistes lustrés*. C'est ainsi que je le représente dans le profil (pl. II). L'attaque S.-E. a actuellement pénétré sur plus de 100 m. dans la calcaire triasique de la zone 10 qui l'enveloppe du côté N.-W. et le recouvre. Du côté S.-E. de ce bombement, on a par contre passé directement des schistes lustrés calcarifères (12) dans le gneiss, sans rencontrer des roches dolomitiques ou anhydritiques; elles manquent ou sont oblitérées par lamination. Du Km. 5,326 au Km. 4,421, on a retraversé les terrains renversés de la zone 10, soit :

12a. LA ZONE DES SCHISTES LUSTRÉS, fortement froissés et plongeant en moyenne faiblement au S.-E., traversée du Km. 4,940 au Km. 5,326. Ce sont les schistes inférieurs sous-jacents au gneiss d'Antigorio, auxquels fait suite

12b. Le CALCAIRE DOLOMITIQUE, micacé, avec intercalations d'anhydrite puis masse anhydrite épaisse, du Km. 4,940 au Km. 4,610, où apparaît une zone de calcaire dolomitique micacé gris, avec intercalations schisteuses verdâtres, jusqu'au Km. 4,460. Suit la zone de terrain compressible formé de *schiste calcaire micacé broyé*, avec lambeaux de marbre et de schiste micacé, jusqu'au Km. 4,420. De ce point jusqu'au Km. 4,325, calcaire gris, blanc, grenu, souvent micacé, s'enfonçant sous la zone suivante. Ces deux complexes, 12 et 12b, font partie de la zone 10 du profil superficiel.

13. GNEISS D'ANTIGORIO, formant toute la masse profonde du plateau de Trasquera-Bugliaga, a été traversé par le tunnel, dès son entrée S.-E., jusqu'au Km. 4,325. Ce terrain forme un pli en voûte surbaissée, entre le portail et le Km. 5,500, puis se présente un petit repli synclinal, suivi d'un relèvement qui fait surgir au niveau du tunnel le calcaire 12b. Le gneiss d'Antigorio est une roche qui présente souvent une texture granitoïde, quoique la texture gneissique ne fasse jamais entièrement défaut. Elle renferme des pseudo-filons (craquelures) et des filons d'aplite très bien caractérisés, de même des traînées et filons-strates plus étendues de roches basiques mica-cées foncées.

Ce court aperçu des terrains affleurant à la surface et traversés

jusqu'ici par le tunnel, n'a pour but que de donner une justification sommaire du nouveau profil du massif du Simplon. Il reste encore énormément à faire pour arriver à une connaissance complète de la stratigraphie et de la pétrographie de cette intéressante région qui est peut-être une des plus compliquées qui existe. On comprendra sans peine que les zones 1 et 2, 4, 6, 8 et 10 ne sont que la répétition par le fait de replis du même complexe de terrains, les couches triasiques et jurassiques, comme aussi 5, 7, 9 et 12 sont, sous une apparence différente par suite du métamorphisme, des couches de même origine, le gneiss primitif, excepté 5a et 7 qui appartiennent à un horizon supérieur et sont peut-être des sédiments métamorphiques. Il résulte de ces constatations une simplification stratigraphique considérable, rachetée par contre par la complication tectonique, qu'il a fallu introduire, mais dont la perforation du tunnel a prouvé la juste raison d'être. Le massif du Simplon ne comprend pas moins de 5 plis anticlinaux de gneiss en superposition.

Il sera réservé à une publication plus étendue et beaucoup plus détaillée, constituant une *Monographie du tunnel du Simplon*, d'apporter à la solution du problème posé encore plus de lumière, en appuyant la démonstration par des études pétrographiques et des analyses chimiques des roches, des profils plus détaillés et une carte géologique au 1 : 25 000. La thermique du sol et l'hydrologie souterraine de la région traversée, seront des chapitres d'un intérêt plus spécial, mais tout aussi importants que les problèmes purement géologiques que recèle la région du Simplon.

Les révélations tectoniques du massif du Simplon pourront, j'en suis sûr, s'appliquer aussi à d'autres parties des Alpes et notamment aux zones annexes, les Alpes tessinoises et grisonnes¹, d'une part, et les Alpes valaisannes entre le Simplon et le Combin, d'autre part. La supposition exprimée par M. Lugeon, que le pli en dôme du Mont-Rose « sera, un jour, considéré comme la carapace d'un grand pli couché, dont la charnière frontale est enfouie », est pour moi une certitude. Il en est de même des plis situés plus au nord et que séparent des zones de schistes lustrés; tel le pli

¹ La percée du tunnel de l'Albula a révélé l'existence, au cœur même du massif granitique, d'une intercalation de schiste foncé identique aux schistes lustrés argileux, enchevêtrée avec le granit, sans métamorphisme de contact. Ce serait une preuve que ce massif repose sur un substratum sédimentaire par suite d'une dislocation (chevauchement, recouvrement).

de gneiss qu'entament le val d'Annivers et le val d'Hérens. Le profil II du mémoire de Gerlach nous donne un avant-goût de ce que seront les futurs profils géologiques des Alpes valaisannes. Il témoigne en tout cas de l'extrême clairvoyance de l'explorateur des Alpes valaisannes. La construction de profils tectoniques profonds ne sera possible que lorsque la distinction des divers terrains désignés sous le signe collectif *Sc* et dont les uns sont des gneiss et les autres des sédiments anciens, même des schistes mésozoïques, sera un fait accompli. C'est cette distinction que devront avoir pour objectif avant tout les études nouvelles dans cette région des Alpes.

No d'ordre	Distance du portail m.	Température Degrés centigr.	Débit approximatif Litres-minute	Densité totale Degrés français	Dates des observations	
39 Pousse de bas en haut sur plusieurs places au milieu de la galerie et près de la paroi NE.	4398	13,2	6 000	51	2 déc. 1901	
	Toujours limpide	11,7	6 000	65	5 janvier 1902	
		13,8	6 000	79	5 mai »	
		13,2	6 000	68	3 juin »	
		12,8	6 000	69	2 juillet »	
		12,4	6 000	67	7 août »	
		11,4	5 000	66	2 sept. »	
		11,5	5 000	66	3 octobre »	
		11,4	5 000	69	2 déc. »	
		11,5	4 000	82	28 janvier 1903	
		11	3 000	85	3 mars »	
		Mélangé avec ce qui reste de 30-38	11,4	3 000	78	1 ^{er} avril »
	40 Sort d'une grande fissure oblique sur la paroi SW. Pl. VI. fig. 2.	4399	17,2	4 500	59	2 déc. 1901
		16,2	4 500	63	5 janv. 1902	
		16,2	4 500	72	11 février »	
		16,3	4 500	80	3 avril »	
		16,2	4 500	80	5 mai »	
		Trouble	15,2	4 500	80	2 juin »
		»	13,8	4 500	50	2 juillet »
		»	14,5	3 000	68	7 août »
		»	14,7	3 000	66	2 sept. »
		»	15,	3 000	74	3 octobre »
			14,8	2 000	79	4 nov. »
			15,8	2 000	83	2 déc. »
		Trouble	16,2	1 800	88	7 janvier 1903
		»	16,6	1 800	96	28 » »
		»	17,2	1 500	96	3 mars »
	Presque limpide	17,5	900	92	1 ^{er} avril »	

No d'ordre	Distance du portail m.	Température		Débit approximatif		Dureté totale		Dates des observations
		Degrés centigr.		Litres-minute		Degrés français		
40b. Sort de la même fissure que 40 dans la transversale XXI B. 40c. D'une fissure voisine dans la galerie I.	b) 4405-10 Dans la galerie transvers. XXI B du plafond d'une fissure oblique. c) 4412-20 Dans la galerie I du plafond côté NE.	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	
		16,2	—	300	—	68	—	2 déc. 1901
		16,3	—	300	—	70	—	11 février 1902
		16,2	—	300	—	78	—	3 avril »
		13,8	—	300	—	80	—	2 juin »
		13,8	—	300	—	49	—	2 juillet »
			15	300	60	—	60	août »
		14,7	14,7	300	210	66	66	2 sept. »
		15	16,2	300	210	74	72	3 octobre »
		14,8	15,2	300	210	79	79	4 nov. »
		15,2	15,7	300	210	88	83	2 déc. »
		16,2	16,6	300	200	90	90	7 janvier 1903
		16,6	17	300	180	100	100	28 » »
		17,2	17,5	300	180	96	96	3 mars »
		17,5	—	300	—	92	—	1 ^{er} avril »
Sort d'une fissure sur le seuil, contre la paroi SW.	4401	11,5		200		75		11 février 1902
	Source toujours limpide.	11,3		150		76		3 avril »
	Devenue invisible dès le mois d'août 1902.	11,2		100		79		5 mai »
		11		100		84		2 juin »
		11,4		100		50		2 juillet »

GALERIE II

La galerie II et la transversale XXI A qui en dépend n'ont pas subi des transformations notables depuis la rencontre des sources entre le Km. 3,800 et 4,421. On a cependant agrandi les ouvertures dans le voisinage des sources 36_„, 37_„ et 38_„, de même que dans le voisinage de la grande source 41_„. La source 32_„ jaillissant dans la transversale XXI A a été captée partiellement et la conduite munie d'une vanne avec manomètre. La fermeture de la vanne a accusé au début, fin octobre 1902, une pression de 6 atmosphères qui est tombée successivement à 5,2, 4 et 3,5 atmosphères au commencement de mars et 2 atmosphères le 3 avril 1903. L'eau refoulée par la fermeture de la vanne sort soit par les ouvertures laissées à dessein dans la maçonnerie du captage et par quelques fissures voisines,

soit aussi par les orifices des grandes sources près du Km. 4,400 dans la galerie II.

Les sources chaudes de la galerie II, entre la transversale XIX (3860 m.) et la transversale XX (4975 m.) ont généralement diminué de volume. La température de plusieurs d'entr'elles a augmenté. Il s'agit des sources 7,, à 28,, dont la température était comprise primitivement entre 22° à 27°. Aujourd'hui quelques-unes atteignent 29° et plus, alors qu'aucune source dans la partie correspondante de la galerie I n'atteint 27°. Une seule, la source 14 *bis*, a légèrement augmenté de température. Ceci est un fait très significatif sur lequel nous reviendrons à parler. Nous n'avons donc pas soumis ces sources-là à une observation aussi suivie que celles de la galerie I sur lesquelles nous avons choisi quatre pour en suivre les variations (14, 19, 25 et 31). La galerie II a été d'ailleurs, en raison de la masse d'eau qui y circule, d'un accès assez difficile.

Voici cependant à titre d'attestation de ce remarquable phénomène la comparaison entre les observations faites au début de l'apparition de quelques-unes de ces sources (25 juillet et 11 février 1901) et celles faites après plus de 20 mois de repos, ou 13 mois pour d'autres.

N° d'ordre	Distance dn portail m.	Température Degrés centigr.	Débit approximatif Litres-minute	Dureté totale Degrés français	Dates des observations
10,,	3 903	26	5	30	25 juillet 1901
—	(3 902,5)	30,8	60	84	3 avril 1903
13,,	3 921	26	50	28	25 juillet 1901
—	(3 922,5)	26,3	15	56	3 avril 1903
14,,	3 938	25	2	30	25 juillet 1901
—	—	26,9	10	75	3 avril 1903
17,,	4 006	25,3	50	38	25 juillet 1901
18,, <i>a</i>	(4 000)	29,5	120	91	3 avril 1903
20,,	4 019	22,3	60	62	11 février 1902
—	(4 010,30)	28,9	60	88	3 avril 1903
22,,	4 021	23,7	35	53	11 février 1902
—	(4 013)	28,9	30	88	3 avril 1903
23,,	4 033	20,5	1	42	11 février 1901
—	(4 028)	24	1	78	3 avril 1903
27,,	4 066	21	1	40	11 février 1901
—	(4 068)	23	1	52	3 avril 1903

On constate surtout, d'après ces chiffres, que la température de toutes ces sources a considérablement augmenté, bien plus que celle de la source n° 9. De même la dureté a aussi progressé d'une manière encore plus frappante que chez cette dernière. Les travaux d'élargissement ont fait changer de place plusieurs de ces sources (chiffres placés entre parenthèses).

Les sources froides et volumineuses entre les Km. 4,350 et 4,421 ont par contre été soumises toutes à des observations mensuelles, dont voici les résultats :

N° d'ordre	Distance du portail m.	Température Degrés centigr.	Débit approximatif Litres-minute	Dureté totale Degrés français	Dates des observations
31, Sort d'une fissure presque verticale sur la paroi SW, à 15-20 cm. du seuil.	4 355	15,5	10	27	29 octob. 1901
	Limpide	15,2	450	75	2 juillet 1902
	»	15,2	600	72	7 août »
	»	15	600	75	3 octobre »
	»	14,6	600	76	4 nov. »
	»	14	600	74	2 déc. »
	»	13,8	900	82	7 janvier 1903
	»	13,8	1 200	92	28 » »
	»	14,2	3 000	85	3 mars »
	Peu trouble	14,2	3 000	84	1 ^{er} avril »
32, Sort d'une fissure sur la paroi NW. de la trans- versale XXI A (XXII) à 1 ^m -1 ^m 50 de hauteur.	4 365	14,7	6 000	28	29 octob. 1901
	Transv. XXI A (XXII)	12,9	6 000	47	2 déc. »
	Limpide	12,2	6 000	68	5 janvier 1902
	»	11,6	9 000	70	11 février »
	»	11,2	9 000	70	3 avril »
	Trouble	11,2	9 000	86	2 juin »
	Limpide	11,1	9 000	70	2 juillet »
	»	11,3	9 000	68	7 août »
	»	11,4	12 000	69	2 sept. »
	»	11,3	12 000	67	3 octobre »
	»	11,2	Vanne fermée	64	4 nov. »
	»	11,1	»	69	2 déc. »
	»	11,2	»	76	7 janvier 1903
	»	11,2	Vanne ouverte	84	28 » »
	Peu trouble	11,4	»	86	3 mars »
»	11,6	»	84	1 ^{er} avril »	

N° d'ordre	Distance du portail m.	Température Degrés centigr.	Débit approximatif Litres-minute	Densité totale Degrés français	Dates des observations
33 _a Fissure au plafond côté NE., angle de galerie II et transversale XXI A.	4 364	15,8	3 000	33,5	29 octob. 1901
	Limpide	15	2 000	53	2 déc. »
	»	14,1	1 000	68	5 janvier 1902
	»	12,2	600	78	3 avril »
	»	14	300	80	5 mai »
	Trouble jaune	13,4	300	76	2 juin »
	Limpide	12,2	300	54	2 juillet »
	»	13	300	68	7 août »
	»	13,3	300	70	2 sept. »
	»	13,4	300	70	3 octobre »
	»	13,2	250	75	4 nov. »
	Fortement trouble	13,1	200	82	2 déc. »
	»	13,5	200	80	7 janvier 1903
	»	13,6	200	90	28 » »
	»	14,1	200	90	3 mars »
»	14,2	200	92	1 ^{er} avril »	
34 _a Fissure longitudinale au plafond contre la paroi SW.	4364-5	15,5	3 000	30	29 octob. 1901
	Limpide	15	3 000	55	2 déc. »
	»	15	3 000	66	5 janvier 1902
	»	14,4	3 000	80	5 mai »
	Trouble	14,3	3 000	80	2 juin »
	»	13,5	3 000	67	2 juillet »
	»	13,8	3 000	70	7 août »
	Limpide	14	3 000	69	7 sept. »
	»	14,1	3 000	75	3 octobre »
	»	13,8	3 000	75	4 nov. »
	Très trouble	13,5	3 000	82	2 déc. »
	» »	13,8	3 000	82	7 janvier 1903
	Limpide	13,7	3 000	92	28 » »
	Peu trouble	14,8	3 000	90	3 mars »
	» »	14	3 000	88	1 ^{er} avril »

No d'ordre	Distance du portail m.	Température Degrés centigr.	Débit approximatif Litres-minute	Densité totale Degrés français	Dates des observations
36., Fissure verticale près du plafond sur la paroi NE. Forte pression.	4397	13,2	100	55	2 déc. 1901
	(4393)	13	100	65	5 janvier 1902
		12,9	9 000	68	11 février »
		12,2	9 000	83	3 avril »
		11,8	9 000	78	5 mai »
	Trouble	11,5	9 000	76	2 juin »
	»	12,2	9 000	63	2 juillet »
	»	11,8	9 000	64	7 août »
	»	12	6 000	70	2 sept. »
	»	12,2	6 000	74	3 octobre »
	»	12,2	6 000	75	4 nov. »
	»	11,7	6 000	51	2 déc. »
	Très trouble	11,9	6 000	81	7 janvier 1903
	Limpide	11,9	6 000	88	28 » »
	Trouble	11,8	6 000	85	3 mars »
	12	6 000	84	1 ^{er} avril »	
37., Sort de plusieurs fissures obliques en trois jets principaux superposés; paroi NE. Les jets supé- rieurs ont tari peu à peu.	4399 -	13,4	6 000	53	2 déc. 1901
	4401	13,5	6 000	65	5 janvier 1902
	(4397-98)	13,2	6 000	73	11 février »
		12,9	9 000	82	3 avril »
		12,4	9 000	80	5 mai »
	Trouble	12,4	9 000	82	2 juin »
	»	12,4	12 000	52	2 juillet »
	Peu trouble	12,4	12 000	67	7 août »
	Trouble	12,9	9 000	70	2 sept. »
	»	12,6	9 000	74	3 octobre »
	»	11,8	9 000	75	4 nov. »
	»	12,4	9 000	83	2 déc. »
	»	12,8	7 000	82	7 janvier 1903
	Limpide	13-12,5	7 000	88	28 » »
	»	13,9	7 000	88	3 mars »
»	14	7 000	86	1 ^{er} avril »	

No d'ordre	Distance du portail m.	Température		Débit approximatif		Dureté totale		Dates des observations		
		Degrés centigr.		Litres-minute		Degrés français				
38,, Fissure sur la paroi NE. Jaillit près du plafond.	4404	13,6		200		53		2 déc. 1901		
		14		200		85		3 avril 1902		
		13,5		200		67		2 juillet »		
		14,7		200		67		7 août »		
		Trouble		15		180		75		3 octobre »
		»		14,8		79		79		4 nov. »
		»		15,6		120		82		2 déc. »
		»		16,2		120		90		7 janvier 1903
		»		16,2		120		100		28 » »
		»		17		120		95		3 mars »
		Peu trouble		17,3		120		92		1 ^{er} avril »
39, -40,, Eaux poussant de bas en haut d'une fissure longitudinale au pied de la paroi SW. à 1 m. de distance.	Toujours limpide	No 39	No 40	No 39	No 40	No 39	No 40	2 déc. 1901		
		17,1	17	150	300	56	60	11 février 1902		
		16,3	17	150	300	—	64	2 juin »		
		14,5		600		63		7 août »		
		13,6		600		64		2 sept. »		
		11,4		600		67		3 octobre »		
		11,5		700		69		4 nov. »		
		11,2		700		69		2 déc. »		
		11,3		900		73		7 janvier 1903		
		11,4		900		76		28 » »		
		11,4		900		88		3 mars »		
		11,5		900		85		1 ^{er} avril »		
		11,3		900		84				
41,, Tombe du plafond d'une fissure longitu- dinale le long de la paroi SW.	4417-20	15		9000		56		2 déc. 1901		
		14		9000		64		5 janvier 1902		
		13,9		9000		74		11 février »		
		Trouble		13,4		9000		84		2 juin »
		»		12,3		12000		69		2 juillet »
		»		13,8		12000		64		7 août »
		»		14,6		10000		66		2 sept. »
		»		13,2		10000		69		3 octobre »
		»		14,8		10000		78		4 nov. »
		»		15,4		10000		82		2 déc. »
		Très trouble		16,2		8000		90		7 janvier 1903
		Trouble		16,6		8000		100		28 » »
		»		17,3		8000		96		3 mars »
»		17,5		6000		89		1 ^{er} avril »		

Il ressort de ces observations que les propriétés thermiques et chimiques des diverses venues d'eau se sont notablement modifiées depuis leur rencontre. Ce fait a déjà été relevé dans le précédent rapport pour autant que le temps d'observation pouvait le faire remarquer pour quelques-unes.

Les variations du débit sont moins sûres, en raison des modifications artificielles produites par les travaux d'élargissement de la galerie I, qui, tout en modifiant le débit et en déplaçant les sources de cette dernière, ont aussi réagi sur celles de la galerie II. De plus la galerie II percée d'abord avec une pente plus forte a été ramenée au niveau prévu, au commencement de l'année 1902. Si l'on ajoute que la plupart des sources n'ont pas pu être soumises à des jaugeages exacts — vu l'impossibilité de faire les installations nécessaires — on comprendra que ce n'est que pour quelques-unes qui ont subi des variations très apparentes qu'il a été possible de faire des constatations bien positives. Les indications du débit des diverses sources ne sont d'ailleurs que de simples appréciations ramenées à un chiffre arrondi. Nous verrons plus loin ce qui en est du débit total mesuré avec précision dans le canal à la sortie du tunnel.

Thermique des sources.

D'après l'état thermique actuel des diverses venues d'eau et d'après les modifications qui se sont produites, on peut établir plusieurs catégories.

I. *Sources chaudes*, ayant une température de 8-10° plus élevée que celle du rocher; telles les sources 9, 10, 11*b* et la plupart des sources de la galerie II entre les points Km. 3,800 et 4,100. Sauf la source 9 (pl. VI, fig. 1), toutes ces sources sont plutôt de petit volume. La source 9 pousse de bas en haut au contact d'une faille et sur la limite entre le gneiss d'Antigorio et le schiste micacé foncé qui le recouvre dans la galerie transversale XIX. Ces sources appartiennent exclusivement à la région du gneiss d'Antigorio et occupent une zone triangulaire, ayant comme base la galerie II entre les transversales XIX et XX et comme sommet la source 11*b*, la faille, allant de la source 11*b* à la source 5_„, en forme l'un des côtés. Toutes ces sources pénètrent dans les galeries par des fissures; quelques-unes, comme la source 9 et la source 11*b*, poussent de bas en haut, tandis

que d'autres, surtout dans la galerie II, tombent du plafond, ou jaillissent sur les parois. Ainsi la source 18 *a* forme un jet horizontal très fort sortant d'une fissure (pl. V, fig. 2). La source 9 présente en outre le remarquable phénomène d'avoir augmenté de température de presque 2° depuis sa percée dans la galerie XIX. Depuis le 1^{er} janvier, sa température est stationnaire à 32°2. On constate également, d'après les chiffres qui précèdent, que la source 10 et la source 11 *b* ont aussi augmenté de température, la première de 1°6, la seconde de 0°5 seulement, car elle est située sur les confins de la région des sources chaudes. Relevons encore le fait que tout en ayant une température plus élevée que le rocher ambiant, ces sources n'atteignent cependant pas la température que *devrait avoir le rocher en cet endroit*.

II. *Sources isothermes*, dont la température est voisine de celle du rocher ou un peu plus élevée. Ces sources présentent en outre la particularité que dès leur rencontre leur température s'est abaissée, *en même temps que celle du rocher*. Beaucoup d'entre elles ont énormément diminué ou presque tari. Ce sont des sources de faible volume, dont l'eau devait remplir de nombreuses fissures dans le rocher, d'où le fort débit de plusieurs lors de leur percée et la pression considérable de quelques-unes. Au bout de quelque temps, elles se sont réduites à leur volume normal. Ce sont encore des sources appartenant au gneiss d'Antigorio exclusivement, soit à toute la région dès le Km. 3,900 jusqu'au contact du calcaire sous-jacent; la dernière se trouve au Km. 4,257. Elles viennent pour la plupart par des fissures du haut en bas ou sur les parois. L'abaissement de leur température est dû au refroidissement du rocher. Elles ont donc été *passives* au point de vue de cette modification. Ce groupe de sources qui comprend dans la galerie I les sources 13-32 et toutes les infiltrations nombreuses qui les relie, se développe, comme on le voit, parallèlement au précédent, en formant un groupe d'autant plus distinct, contrairement à ce que l'on serait porté à croire au premier abord.

Tandis que les sources du premier groupe, réduites à la galerie II et la transversale XIX, montrent une tendance à s'échauffer, celles du groupe II se sont, au contraire, sensiblement refroidies. Le degré hydrotimétrique montre en outre des caractères qui font encore mieux ressortir leur différence. Il semblerait que les eaux de ce groupe ont subi une influence

réfrigérante plus active que les autres qui entrent dans la galerie II.

III. *Sources froides* extrêmement volumineuses qui jaillissent toutes dans le calcaire sous-jacent au gneiss d'Antigorio, entre les Km. 4,340 et 4,420, donc sur une longueur de 80 m. au plus. Elles forment deux groupes localisés au Km. 4,365 dans la galerie II et la transversale XXI A, puis au Km. 4,400 dans les deux galeries jusqu'au contact avec le schiste calcaire micacé broyé.

L'eau pénètre dans les galeries, soit par des fissures, soit par des ouvertures visiblement corrodées et élargies par l'eau ; tantôt en tombant du plafond, tantôt en jaillissant avec violence des parois, ou encore en poussant de bas en haut (voir pl. V et VI). Chose extraordinaire et vraiment inattendue, *les sources de cette dernière espèce sont toujours les plus froides.*

On peut d'après la température établir trois groupes qui ont cependant ceci de commun qu'à un moment donné la température de toutes ces sources a été plus basse que celle du rocher. Ce sont donc ces eaux, *en parcourant les nombreuses fissures du calcaire, qui refroidissent la roche ambiante, même sur une grande distance.* L'eau froide est ici la cause du refroidissement du rocher, elle est donc, à l'inverse du groupe précédent, l'influence modificatrice *active* des changements de la température.

Toutefois, toutes ces sources, soit les sources 33-40 dans la galerie I et les sources 30_„-41_„ dans la galerie II, présentent des caractères thermiques assez divergents, aussi ressemblants qu'elles paraissent par leur volume, leur basse température et surtout par la faible distance qui les sépare.

A. SOURCES POUSSANT DE BAS EN HAUT. — Ces sources, *toujours limpides* et d'un débit presque constant, avaient au début une température égale ou même plus élevée que la moyenne des eaux sortant du calcaire. Elles comprennent les sources 34, 39, 39_„-40_„ et 34_„ B. Les observations qui précèdent font ressortir comment la source 34, qui est la plus remarquable sous ce rapport, s'est graduellement refroidie de 18°4 à 10°1, soit de 8°3, elle est actuellement de 5° plus froide que le rocher (voir la courbe thermique de cette source pl. IV). La source 39, la seule qui était dès le début plus froide que les autres, s'est refroidie de 13°2 à 11°, et 39_„-40_„ de 17°1 à 11°1. La source 34_„ B, pendant longtemps inaperçue dans la galerie inondée, n'a été mesurée pour la première fois que le 3 juillet 1902 et s'est sensiblement maintenue à 12°4. Depuis janvier 1903, la source 34.

reste stationnaire à 10°2, en mars elle a encore baissé de 0°1, tandis que les autres montrent une légère tendance à se réchauffer de quelques dixièmes de degré. On pourrait ranger dans ce groupe encore la source 32_„.

B. SOURCES QUI, APRÈS REFROIDISSEMENT, ONT REPRIS LEUR TEMPÉRATURE INITIALE. — Ce sont les sources 35, 40, 40 *b* et 40 *c* dans la galerie I et la transversale XXI B, puis les sources 38_„ et 41_„ dans la galerie II. Cette dernière, partie de la température initiale de 15°, est même remontée à 17°3. La source 40, après le minimum de 13°8 en juillet 1902, est remontée à 17°2, sa température initiale (voir pl. IV, la courbe thermique).

C. SOURCES INTERMÉDIAIRES. — Toutes les autres grandes sources, soit 36, 37, 38, 31_„, 33_„, 34_„, 36_„, 37_„ et 38_„ possèdent une température variable qui a de tout temps oscillé entre les extrêmes des deux groupes A et B. Il y a donc lieu de les attribuer à des *mélanges* de ces deux eaux opposées, en admettant que les canaux conducteurs communiquent plus ou moins directement ensemble et que suivant l'abondance, soit la pression d'un côté ou de l'autre, il se produit un mélange variable. Cela est d'ailleurs démontré par la manœuvre de la vanne sur la source 32_„.

Que des mélanges d'eau se produisent entre deux sources d'un caractère opposé appartenant aux groupes A et B, ressort des observations que l'on peut faire sur la source 41_{„ b} qui jaillit entre la source 41_„ et la source 39_„-40_„, à environ 50 cm. au-dessus du seuil de la galerie II, sur la paroi S.-W., d'une ouverture allongée oblique ayant environ 30 cm de longueur sur 3-4 cm. de largeur. Le température diffère de plus de 1° entre les deux côtés de la veine liquide, ainsi que le montrent les chiffres suivants :

COTÉ GAUCHE		COTÉ DROIT		DATE DE L'OBSERVATION
Température	Dureté	Température	Dureté	
14	79	12,8		3 octobre 1902
13,8	79	12,8	75	4 novembre 1902
13,6	77	12,8	73	2 décembre »
13,6	80	12,8	76	7 janvier »
14,4	84	13,2	82	28 » »
13,4		13,8	91	3 mars »

Le débit de cette source est d'environ 100 l. m.

Nous avons déjà relevé dans le rapport de 1902 que les sources jaillissant aux abords de la galerie transversale XIX appartiennent à deux eaux très différentes, qui sortaient au début en partie séparément (sources 9 et 8) et mélangées (source 11), alors que la même fissure, une faille verticale, servait de voie de passage tant aux eaux chaudes montant de bas en haut, qu'aux eaux froides venant de haut en bas.

Etant donné que le rocher calcaire est extrêmement fissuré dans toutes les directions, il n'est pas étonnant que les différentes eaux qui le traversent puissent se mélanger suivant l'état de leur pression.

En résumé, nous constatons que les trois groupes de sources que nous distinguons d'après leur caractère thermique, sont en même temps bien séparés par leur situation, quoique sur les confins des divers groupes il y a des influences réciproques.

Caractère chimique des eaux.

Outre le degré hydrotimétrique (dureté) des diverses sources que nous avons déterminé mensuellement, nous avons procédé à des analyses plus complètes des principales venues d'eau en déterminant en outre la dureté fixe, la teneur en matières solides en dissolution et la proportion du carbonate et du sulfate de calcium. Voici les résultats acquis jusqu'ici :

Galerie I.

N° d'ordre	Dureté totale	Dureté fixe	Matière solide par litre		Ca CO ₃	Ca SO ₄	Date du prélèvement
			à 150°	Calcinée			
5	32	30	0,764	0,634	0,04	0,399	13 mai 1901
7	12	10	0,218	0,166	0,01	0,154	3 juin 1901
8	18	16,5	0,306	0,234	0,01	0,231	23 août »
9	56	55	1,175	1,065	0,01	0,770	23 » »
9	70	70	1,370	1,233	—	0,980	3 juin 1902
11	45	42,5	0,834	0,753	0,025	0,595	30 sept. 1901
11 a	18	15	0,312	0,232	0,08	0,168	3 juin 1902
11 b	55	53	0,977	0,882	0,05	0,700	3 » »
14	55	52	0,916	0,845	0,05	0,728	3 » »
19	20	18	0,304	0,240	0,05	0,211	3 » »
25	20	13,5	0,288	0,231	0,115	0,147	3 » »
34	41	37	0,642	0,541	0,04	0,404	28 sept. 1901
34	58	54	0,970	0,863	0,04	0,756	11 février 1902
34	64	62	1,070	0,984	0,05	0,766	3 avril »
35-40	31	28	0,519	0,447	0,03	0,392	7 oct. 1901
35-40	33,5	29,5	0,550	0,499	0,04	0,413	28 » »
35-40	47	43	0,752	0,671	0,04	0,582	2 déc. »
35	72	68	1,260	1,130	0,06	0,916	3 juin 1902
37	62	59	1,168	1,056	0,03	0,826	5 janvier 1902
38	80	70	1,242	1,120	0,13	0,938	3 juin »
40	76	72	1,206	1,108	0,05	0,969	3 » »
40 a	75	70	1,372	1,224	0,08	0,938	3 » »
40 b	74	68	1,229	1,208	0,10	0,910	3 » »
41	78	72	1,801	1,678	0,06	1,08	11 février »

Galerie II.

N° d'ordre	Dureté totale	Dureté fixe	Matière solide par litre		Ca CO ₃	Ca SO ₄	Date du prélèvement
			à 150°	Calcinée			
32 _n	30	27	0,534	0,475	0,030	0,378	29 oct. 1901
32 _n	80	72	1,324	1,216	0,030	0,966	3 juin 1902
33 _n	33,5	32,5	0,642	0,487	0,010	0,455	29 oct. 1901
33 _n	76	68	1,250	1,142	0,11	0,910	3 juin 1902
34 _n	84	80	1,356	1,220	0,05	1,120	3 juin 1902
36 _n	76	70	1,318	1,190	0,09	0,938	3 juin 1902
37 _n	53	48	0,918	0,833	0,05	0,652	2 déc. 1901
37 _n	82	75	1,257	1,151	0,10	1,058	3 juin 1902
41	72	70	1,278	1,187	0,05	0,938	3 juin 1902

Il ressort de ces chiffres que toutes ces eaux, même celles qui ne sont que peu minéralisées, sont *essentiellement gypseuses*. Celles dont la dureté atteint 70° contiennent environ 1 gr. de sulfate de calcium par litre. La quantité de carbonate de chaux est par contre excessivement faible, bien plus faible que dans la plupart des eaux de sources ordinaires. C'est le gypse ou sulfate de calcium qui constitue donc presque exclusivement la matière minérale en dissolution. Toutefois on voit que la somme du carbonate et du sulfate de calcium reste notablement au-dessous de la quantité totale de matière solide restant après évaporation. Cela ne peut pas être attribué ni à des erreurs de manipulation, ni à des pertes pendant le dosage hydrotimétrique, car cette différence se retrouve partout. Elle provient d'autres sels non dosés, ce qui ressort du fait que la quantité d'acide sulfurique totale est bien supérieure à celle revenant au gypse trouvé. Il doit donc y avoir dans ces eaux encore une certaine quantité de *sulfates alcalins*, qui n'agissent pas sur la liqueur hydrotimétrique, ce que des analyses plus complètes pourront démontrer. Il y a en outre dans ces eaux une faible quantité de *sels ferreux*, ce qui produit l'enduit de fer hydraté qui se dépose partout autour de leur orifice. Les sources chaudes 9, 10, 11 *b*, puis les sources 10_„-23_„ sont particulièrement dans ce cas; elles ont même un goût ferrugineux assez perceptible. Il y a par contre absence presque complète de chlorure de sodium. Avec les variations de la température il s'est produit, comme on le voit d'après les divers tableaux qui précèdent, aussi une modification très accusée dans la composition chimique de toutes ces eaux. Cette modification ressort des changements très notables de la dureté et de la quantité de matière minérale restant après évaporation. Contrairement à ce qui s'est produit pour les variations de température qui ont été positives pour les unes et négatives pour d'autres, les changements chimiques se sont manifestés presque partout dans le sens d'une *augmentation de la minéralisation*, aussi bien pour les sources froides que pour les sources chaudes, mais surtout pour les premières. Un seul petit groupe de sources fait exception, ce sont les sources peu volumineuses jaillissant dans la galerie I entre les Km. 3,824 et 4,341, c'est-à-dire le groupe II défini plus haut, mais en exceptant un certain nombre de sources qui s'y rattachent au point de vue thermique, mais non au point de vue chimique; ces exceptions sont : les sources 13, 14, 15, 22, 23 et 30. Toutes les autres sources de ce groupe

ont subi une réduction rapide de la dureté, comme le montrent les chiffres suivants complétant en partie les tableaux qui précèdent :

Source 5.	La dureté a baissé de 32° à 10°5.
» 6.	» » 32 » 10.
» 7.	» » 20 » 10,5.
» 8.	» » 18 » 11.
» 11 a.	» » 30 » 13,5.
» 19.	» » 34 » 14,5.
» 25.	» » 35 » 12.
» 31.	» » 35 » 16.
» 32.	» » 40 » 18.

Sur la même longueur où jaillissent ces sources dans la galerie I, il n'y a pas d'équivalent analogue dans la galerie II ; ici nous trouvons exclusivement des sources dont la température a augmenté en même temps que le degré de dureté.

Au point de vue des propriétés chimiques, le groupe II devra donc être subdivisé en deux séries. **La série II A** comprenant les sources dont le degré de dureté a diminué. Cette diminution a été très rapide, puis, depuis plus d'une année, les chiffres oscillent de 1° environ autour du chiffre inférieur indiqué ci-dessus. **La série II B** comprend les sources 13, 14, 15, 22, 23 et 30, éparpillées parmi les autres, mais reconnaissables à leur degré de dureté qui est resté constant ou a même légèrement augmenté. Il est surprenant qu'à si faible distance on rencontre des eaux qui, sous le rapport thermique et chimique, présentent des différences si considérables comme les groupes I et II, et dans ce dernier les deux subdivisions A et B qui alternent le long de l'axe de la galerie I, tandis que le trumeau de séparation entre les deux galeries sépare aussi le groupe I et II des sources, c'est-à-dire les sources dont la température a marché avec celle du rocher (groupe II) et celles dont la température s'est élevée alors que le rocher s'est refroidi. La source 11 b, quoique située dans l'aire du groupe II, appartient réellement au groupe I, comme les sources 9 et 10 dans la transversale XIX.

Les sources du groupe thermique I ont, comme le montrent les tableaux qui précèdent, augmenté de dureté dans une mesure assez notable. Ce sont les sources 9, 10, 11 b et toute la série 7,, à 28,, dans la galerie II. Le tableau (pages 36 à 47) montre les variations chimiques des trois premières

et le tableau spécial (page 53) les fait ressortir pour les principales des dernières. En moyenne le degré hydrotimétrique s'est accru de 50° à 80°. L'extrême se trouve à la source 10,, qui a augmenté de 30° à 84°, soit de 54°. La source 9 a atteint la plus haute dureté, 92°, mais elle n'accuse qu'une augmentation de 36°, sa dureté initiale ayant été de 56°; 11b a le moins varié, de 43° à 56°; cela se comprend, car elle est toute entourée de sources peu dures du groupe II qui l'influencent évidemment.

Le groupe III, les grandes sources froides qui avaient au début des duretés comprises entre 40° et 60°, se sont toutes de plus en plus enrichies en gypse. Dès leur percée, de septembre à décembre 1901, la dureté a augmenté rapidement, pour atteindre en avril et en mai, sauf pour la source 34, près de 80°. Juillet coïncide avec une baisse presque générale de la dureté qui dure jusqu'en septembre, mais elle n'a pas été pour toutes ces sources également sensible. Dès septembre, le degré hydrotimétrique s'accroît de nouveau pour dépasser, en janvier 1903, le maximum de l'année précédente. Il atteint près de 100° pour quelques-unes.

Il est difficile de discerner nettement un rapport entre la marche des variations thermiques et hydrotimétriques. Cela est en tout cas presque impossible pour les sources que nous avons reconnues comme devant être attribuables à des mélanges d'eau de différentes températures. Il ressort par contre des observations comparatives concernant les deux sous-groupes A et B du groupe III, que les sources les plus froides A, poussant de bas en haut et toujours limpides, ont une dureté maximale moins élevée que les sources B, dont la température s'est élevée, après quelques oscillations, autour de 15°, jusqu'à son niveau initial entre 17 et 18° (voir la courbe hydrotimétrique de la source 40, pl. VI). Les premières n'ont guère dépassé 85° de dureté, tandis que les secondes ont même atteint 100° dès janvier 1903.

Mais il y a une exception, c'est la *source 34*. Cette source qui pousse tranquillement, sans aucune violence, sur le seuil de la galerie I, près de la paroi N.-E. au Km. 4,353, a montré une régularité frappante dans sa décroissance thermique et dans son débit qui n'a diminué que très insensiblement. La dureté par contre est sujette aux perturbations les plus bizarres; elle augmente et diminue, dans des limites, pas très étendues il est vrai, mais d'une façon qui ne se retrouve dans aucune autre source du même

groupe. Elle n'a, notamment, pas diminué de dureté en juillet 1902 et a atteint 70°, pour la première fois, le 1^{er} avril 1903. La dureté est restée d'ailleurs toujours au-dessous de celle des autres sources froides, comme aussi sa température. En résumé, on peut cependant reconnaître que dans le groupe des grandes sources froides III, il y a une certaine relation entre la thermique et le degré hydrotimétrique, en ce sens que le sous-groupe A est alimenté par des eaux moins dures que les sources du sous-groupe B. Dans le sous-groupe C, il y a, comme pour la température, des valeurs intermédiaires.

Dans le sous-groupe A, la source 34 fait exception au point de vue hydrotimétrique ; son eau est moins dure et subit en outre des fluctuations irrégulières du degré hydrotimétrique (voir pl. IV).

Cela tient sans nul doute à ce que toutes ces eaux cheminent longtemps dans une région élevée du massif et arrivent très rapidement vers le tunnel. Celles du groupe A plus rapidement, par un chemin plus court que les sources B qui se chauffent davantage et se saturent aussi d'une plus grande proportion de gypse. Quant à la source 34, son chemin doit être encore plus direct et absolument distinct du parcours de toutes les autres sources du groupe III. Les analyses hydrotimétriques et les observations thermiques montrent en effet qu'actuellement les sources 40, 40 b, 40 c, 38 „ et 41 „ débitent absolument la même eau qui tombe de haut en bas. Ces cinq sources troublent également ensemble, tandis que les sources 39 „ - 40 „ qui jaillissent de bas en haut d'une fissure à quelques mètres de la source 41 „, est plus froide et suit un régime hydrotimétrique différent, de même aussi la source 39 par rapport à la source 40 qui sort à moins de 3 m. d'une fissure de la paroi, alors que 39 pousse de bas en haut ; enfin la source 34 occupe le pôle opposé et atteste l'indépendance complète des eaux du groupe III A et III B au moins dans la dernière partie de leur trajet avant leur pénétration dans le tunnel.

En parlant de la qualité chimique des eaux, il faudrait mentionner aussi les *matières en suspension*, voire même les gros débris de charriage que les eaux ont amenés dans le tunnel. Dans les tableaux de pages 36-47 nous avons indiqué les variations dans la limpidité des eaux à partir du moment où elles paraissent être provoquées par des influences autres que les travaux de perforation et les coups de mine. Il est évident qu'au début —

lorsque les fissures et canaux remplis d'eau jusqu'à 650 m. au-dessus du tunnel, furent mis en percé par les premiers coups de mine, toutes les eaux coulèrent troubles. Cela s'est même répété après l'explosion de chaque volée de coups de mine dans le voisinage. Les eaux ont amené dans les galeries une énorme quantité de *sable jaune très micacé*, même des *galets* de divers volume. Ces derniers sont cependant peu arrondis et ne semblent pas avoir été charriés bien longtemps. Leur usure ne paraît résulter que du chemin parcouru pour arriver jusque dans le tunnel, depuis l'endroit où, arrachés sous l'énorme pression de 650 m. de hauteur d'eau, les fragments furent entraînés à travers les canaux tortueux pour être projetés dans les galeries.

Outre le sable, l'eau a charrié une grande quantité de *limon argileux jaune-rouge*, notamment les sources III B et un certain nombre de celles du groupe III C. Les sources III A ne se sont jamais troublées. Ce limon rouge peut avoir deux origines : il peut provenir des parties insolubles contenues dans les roches dissoutes par l'eau, notamment dans le gypse, au fur et à mesure que l'eau en opère la dissolution. Toutefois cela ne serait pas une quantité bien appréciable, les eaux n'en paraîtraient guère excessivement chargées. Il est plutôt probable que des canaux parcourus avant la percée du tunnel par un courant très lent, ou devenus stagnants par l'ouverture d'autres passages, se trouvèrent entièrement comblés de limon et d'argile, de même aussi de sable et de débris plus volumineux détachés des parois. Au moment de la pénétration des galeries dans la zone aquifère, le courant extrêmement rapide qui s'est établi a purgé ces cavités ayant servi de dépotoir, d'où la grande masse de débris de charriage entraînés dans le tunnel et le trouble prolongé des eaux au début, plus tard certaines sources, surtout celles du groupe III B, se sont périodiquement troublées, sans doute par suite du curage de tel ou tel canal comblé de limon (*terra rossa*). Certaines fissures traversées par les galeries étaient précisément remplies de terre argileuse rouge.

Le fait que les sources poussant de bas en haut III A sont toujours limpides, est attribuable à la circonstance que, passant plus bas que le tunnel, leur eau peut se débarrasser du limon en séjournant dans des excavations en siphon renversé. Les autres sources coulant sans pression, ou sur le fond de cavités remplies de terra-rossa, restent longtemps troubles ou le devien-

nent périodiquement à chaque vidange d'un canal comblé d'argile. Ce phénomène devra donc diminuer ou disparaître tout à fait par la suite.

Variations du débit des sources.

Dans les tableaux qui précèdent sont indiqués les débits individuels des diverses sources, d'après de simples estimations, dont on acquiert assez bien l'habitude après quelque temps de pratique. Il n'était en effet pas possible dans la plupart des cas de faire des jaugeages exacts des diverses venues d'eau.

On constate d'après les chiffres que nous donnons que certaines sources, extrêmement volumineuses au début, ont été réduites presque à rien au bout de peu de temps. D'autres ont montré par contre une constance remarquable ; enfin une certaine catégorie, peu nombreuse d'ailleurs, a montré une augmentation notable du débit peu de temps après leur apparition. Un grand nombre des variations du débit des diverses sources est attribuable à la réaction que produisent les nouvelles sources mises en perce sur celles qui ont été rencontrées précédemment. Raccourcissant le chemin que l'eau doit parcourir pour surgir dans le tunnel, une nouvelle percée sur le même canal fait naturellement tarir un orifice précédemment ouvert. Cela doit avoir été le cas notamment dans le groupe des grandes sources entre les Km. 4,350 et 4,420, où la presque totalité de l'eau pénétrait au début dans la galerie I par de grandes fissures sur les parois et sur le fond, tandis que plus tard les 75 % de l'eau fut recoupée dans la galerie II sur le parcours des mêmes fissures. La grande section ouverte sur la galerie I a été une nouvelle cause de modifications de ce genre. Mais depuis qu'aucun travail d'excavation nouveau n'a été pratiqué dans la zone aquifère, il s'y est produit certains changements rapides ou lents qu'il est utile de constater :

GALERIE I

1. Les sources 5 ont complètement tari dès mai 1902.
2. Les sources 6 ont suivi avec une réduction notable.
3. La source 8 (Transv. XIX) est tombée graduellement de 3000 l. m. à 180, soit $\frac{1}{16}$ du volume primitif.

4. La source 9 (Transv. XIX) qui débitait au moins 4000 l. m. au commencement, a très graduellement diminué, et aujourd'hui, ce n'est plus guère que 900 l. m. qui s'écoulent de la grande fissure devenue béante et vide.

5. La source 10 (Transv. XIX), vis-à-vis de la précédente, est tombée de 90 à 5 l. m. en bonne partie par baisse de la pression.

6. L'énorme diminution de la source 11, qui de 10 000 l. m., une vraie rivière, s'est réduite peu à peu à moins de 100 l. m., soit $\frac{1}{100}$ du volume primitif, après s'être divisée en deux groupes d'infiltration, l'un d'eaux froides appartenant au groupe II, l'autre d'eaux chaudes du groupe I, est peut-être en partie attribuable à la percée des grandes sources près du Km. 4,400, bien que la distance soit de plus de 500 m, car elle a suivi de près la rencontre des grandes sources. Il est possible aussi que ce soit l'évacuation de canaux et cavernes gorgés d'eau qui en est la cause. Toutefois la diminution de la dureté — observée aussi aux sources 5, 6 et 7 — (réduction de 40° à 10°5) montre qu'un appoint d'eau gypseuse qui devait se mélanger aux eaux propres de ces sources, a été détourné par les travaux faits plus tard. Aucune source du voisinage ne peut être accusée de ce fait, car elles ont toutes subi des réductions notables.

7. La source 14, ayant eu au début un débit d'environ 60 l. m., a pendant les travaux d'excavation de la grande section subi une augmentation momentanée jusqu'à 1000 l. m., pour retomber ensuite à 400 l. m. en comptant plusieurs nouvelles venues d'eau, concentrées là probablement au détriment des sources 13, 16, 17 et 18 aujourd'hui très réduites.

8. La source 19 est tombée de 600 l. m. à 90 l. m.

9. La source 25 s'est accrue pendant l'excavation de la grande section de 60 à 120 l. m. pour retomber ensuite à environ 30 l. m.

10. Les sources 26, 27 et 28 ont été réduites à de simples suintements d'eau.

11. La source 31 s'est réduite de 600 l. m. à 24 l. m., soit $\frac{1}{25}$.

12. La source froide n° 34 a progressivement réduit son volume de 600 l. m. à 420 l. m. environ.

13. La source 35 est tombée de 600 l. m. à 120 l. m., soit $\frac{1}{5}$.

14. Les sources 36, 37, 38 ont presque tari après que la percée des sources au Km. 4,420, galerie II (source 41 „), en avait déjà fortement réduit

le volume. Cette dernière réduction est due exclusivement à la diminution du débit de l'affluent souterrain, car la source 41 „ et les grandes sources voisines ont aussi beaucoup diminué.

15. La source 39, d'environ 6000 l. m., s'est réduite à 3000 l. m., en y comprenant ce qui reste des sources 36, 37 et 38.

16. La grande source 40 qui jaillissait par trois grands jets d'une fissure oblique sur la paroi S.-W. de la galerie a, malgré les travaux d'excavation pour la grande section, réduit son débit de 4500 l. m. à 900 l. m. environ (pl. VI, fig. 2). Le jet inférieur seul fonctionne encore.

GALERIE II

1. La source 31 „, ayant au début un volume de 10 l. m. à peine, a agrandi son passage, une fissure verticale sur la paroi S.-W., et son débit s'est accru progressivement à 400, 600, 900, 1200 et 3000 l. m. Elle est influencée par la source 32 „. Lorsque la vanne placée sur cette dernière est fermée, elle devient plus forte et diminue de quelques dixièmes de degrés de température.

2. La source 32 „ ayant 9000 l. m. au début, a notablement diminué de septembre 1902 à janvier 1903. La fermeture de la vanne ne permet plus d'en contrôler le débit qui doit être d'environ 6000 l. m. (pl. V, fig. 3).

3. La source 33 „ est tombée de 3000 à 200 l. m. environ.

4. La source 35 „ a entièrement disparu.

5. La source 36 „ ayant en moyenne 6000 l. m., varie suivant la position de la vanne sur la source 32 „ distante de 33 m. (pl. VI, fig. 3).

6. La source 37 „ a augmenté en juillet 1903 de 6000 l. m. à 9000 l. m., pour retomber à 7000 environ dès novembre 1902.

7. Les sources 39 „ et 40 „ ont été presque réunies par l'abaissement du niveau de la galerie II; leur débit a augmenté de 450 à 900 l. m. environ.

8. La source 41 „ ayant en juillet 1902 près de 12000 l. m., a diminué visiblement pendant l'automne, et n'a maintenant que 6000 l. m. tout au plus (pl. V, fig. 4).

Quelques-uns de ces changements sont certainement attribuables à des épuisements définitifs de réserves d'eau accumulées dans des canaux et fissures parcourant tout le gneiss d'où jaillissent certaines de ces sources (5-32, dans la galerie I, et 5-29, dans la galerie II), et surtout dans le calcaire

(sources 33 - 40 galerie I, et 30 „ - 41 „ galerie II). Remarquons toutefois que, la source 35 „ exceptée, aucune des sources jaillissant du calcaire n'a entièrement tari par réduction progressive depuis leur percée. Elles ont toutes, sauf celles du groupe III A (les sources froides), subi une augmentation du débit assez appréciable au cours de l'été 1902. Il serait donc possible que, pendant l'été prochain, ce même phénomène se reproduise. Au point de vue de la totalité de l'eau qui restera après l'établissement d'un régime stable, ce sont ces sources-là qui entrent presque exclusivement en ligne de compte, car elles forment de beaucoup la plus grande partie des eaux souterraines captées par les deux galeries. Les autres sources, celles du gneiss, n'en forment qu'une fraction assez faible, environ 3000 l. m., soit 50 l. s. environ, donc un seizième de l'eau totale sortant du tunnel en mars 1903.

Il importerait donc de savoir quelle sera la variabilité du débit de ces grandes sources sortant du calcaire entre les Km. 4,325 et 4,420.

Il a été fait des jaugeages mensuels aussi exacts que possible de la totalité de l'eau dans le canal à la sortie de la galerie de direction et précédemment dans le tunnel I.

Depuis la rencontre des premières sources au Km. 3,825, en mai 1901, le débit a graduellement progressé jusqu'en décembre 1901, où la zone aquifère a été entièrement traversée par les deux galeries jusqu'au schiste calcaire broyé compressible ; voici le résultat des jaugeages faits, en déduisant l'eau introduite dans le tunnel.

	1901	1902	1903
	L. s.	L. s.	L. s.
Janvier		1050	880
Février		1017	830
Mars		984	799
Avril		984	766
Mai	150	984	793
Juin	215	1180	1011
Juillet	215	1204	1150
Août	200	1116	1039
Septembre	290	1072	
Octobre	590	1047	
Novembre	1135	940	
Décembre	1149	930	

Il ressort de ces chiffres que l'augmentation du débit des eaux — dont 50 l. s. doivent être comptés comme appoint constant des sources entre 3,835 et 4,325 (gneiss), durant les mois de mai à décembre 1901, doit être attribuée à l'ouverture de nouvelles issues par où l'eau souterraine pouvait pénétrer dans les galeries. Dès le mois de janvier 1902, il s'est manifesté une décroissance du débit, soit par vidange des réserves souterraines, soit par suite de la diminution de la pression de l'eau. Le débit est resté ensuite constant jusqu'en mai 1902, mais dès le mois de juin, une augmentation nouvelle se manifeste, qui n'est pas attribuable aux travaux d'excavation, mais qui semble devoir être attribuée à la fonte de la neige sur la haute montagne, du moins la coïncidence avec cette période est manifeste. Une décroissance nouvelle se manifeste et se continue encore. Tandis que la seconde crue, avec le maximum en juillet 1902, a dépassé de 55 l. s. celle de décembre 1901, le minimum de mars 1903 (qui sera probablement encore plus faible en mai) est tombé au-dessous de celui de mai 1902. Cette différence est peut être attribuable à la diminution définitive de toutes les grandes sources de la zone du gneiss (8, 9, 11, etc.), du moins cette influence doit certainement entrer en ligne de compte, bien que la réduction des dites sources avait déjà commencé avant cette date; elle était en mars 1902 déjà très prononcée, quoique loin d'en être au point où elle est aujourd'hui (fin avril 1903); au lieu de 50 l. s., il devait y avoir encore plus de 100 l. s. d'eau des sources du gneiss. Toutefois, si nous tenons compte que le minimum de mars-avril 1903 est de 200 l. s. au-dessous de celui de la même époque de l'année 1902, alors que les mois de février à avril 1903, ce dernier surtout, ont été sensiblement plus pluvieux que la période correspondante de 1902, il faut reconnaître, que cette baisse de l'étiage n'est due, ni à la réduction des sources des groupes I et II, ni à des causes météorologiques, mais à une diminution du débit des grandes sources, résultant aussi de la vidange de cavités souterraines en relation avec celles-ci (voir pl. IV, la comparaison entre la quantité mensuelle de pluie tombée à Iselle et la courbe du débit des sources).

La répétition en 1903 d'une phase de crue analogue à celle qu'eut lieu de juin à juillet 1902 est la preuve que tous les canaux et cavernes constituant la réserve souterraine se sont maintenant vidés et qu'ils l'étaient déjà en grande partie vers la fin de l'année 1902, que conséquemment il n'y a pas lieu de s'attendre à une réduction bien consi-

dérable du total de l'eau. C'est là une question que nous devons reprendre plus loin, après avoir examiné de près la provenance probable de l'eau entrant dans le tunnel. Maintenant que nous connaissons tous les éléments du régime de ces affluences d'eau dans le tunnel du Simplon, nous pouvons en rechercher l'origine en nous servant de nos connaissances nouvelles sur cette question capitale.

Résumé et systématique.

En résumant ce qui précède sur le caractère et le régime des eaux pénétrant dans le tunnel du Simplon, entre les Km. 3,824 et 4,420, côté sud, nous pouvons établir la classification suivante :

GROUPE I. — Sources chaudes.

Température plus élevées que celle du rocher; le degré hydrotimétrique augmente et le débit décroît progressivement avec une certaine hausse de la température. Sources 9, 10, 11a Gal. I et sources 7, à 27, Gal. II.

GROUPE II. — Sources isothermes.

Température voisine de celle du rocher. Le débit a généralement déchu dans une forte proportion, pour quelques-unes dans une mesure extrême.

A. Sources dont le degré hydrotimétrique a diminué depuis leur percée : Sources 5, 6, 7, 8, 11a, 19, 20, 24, 25, 31.	B. Sources à degré hydrotimétrique constant, disséminées au milieu de la série A : Sources 13, 14, 15, 22, 23 et 30.
---	---

GROUPE III. — Sources froides.

Température plus froide que le rocher, à débit énorme, devenues de plus en plus gypseuses.

A. Température initiale plus basse que celle du rocher; devenue encore plus froide dès lors; toujours limpides; poussent de bas en haut. Sources 34, 39, 39,, 40,, et 34,, B.

Le degré hydrotimétrique a augmenté uniformément, mais moins qu'aux B et C, sauf pour la source 34 qui suit un régime irrégulier sous ce rapport. Débit très constant, avec décroissance modérée. Eau toujours limpide.

B. Température initiale égale ou plus basse que celle du rocher. Abaissement de la température, moins intense qu'au groupe A. Depuis juillet 1902 jusqu'à fin avril 1903, il y a hausse qui a ramené la température initiale.

La dureté a augmenté à 90-100°. Tombent du plafond. Débit variable avec la température. Se troublent simultanément. Sources 35, 40, 40 B et C, 38,, 41,,.

C. Sources intermédiaires entre B et C; probablement mélanges des deux eaux; se troublent parfois. Température moins variable que chez le groupe B.

Degré hydrotimétrique moins élevé, 75-80°. Débit assez variable. Sources 36-38, 31,, 32,, 33,, 34,, 36,, et 37,,.

Modifications du régime d'avril à juillet 1903.

La situation exprimée par le tableau qui précède est celle du commencement d'avril 1903, moment qui correspond manifestement à l'étiage des eaux souterraines, où conséquemment elles ont une circulation plus lente et présentent, en raison de la moindre pression, moins de tendance à s'influencer mutuellement.

Il ne paraissait guère probable que cette situation resterait sans modification au moment de la fonte de la neige sur les montagnes, étant donné surtout que les eaux froides provenant, sans aucun doute, d'une région située dans la haute région de la montagne et à une faible profondeur au-dessous de la surface devaient subir presque immédiatement cette influence et en transmettre les effets aux venues d'eaux dans le tunnel, ainsi que cela ressort des chiffres suivants :

N° d'ordre	Distance du portail m.	Température Degrés centigr.	Débit approximatif Litres-minute	Dureté totale Degrés français	Date des observations
8	3 868 Transv. XIX	22,3	200	12	11 mai 1903
		22,6	240	12	10 juin »
		22,6	300	12	8 juillet »
9	3 861 Transv. XIX	32,2	900	72	11 mai 1903
		32,2	900	72	10 juin »
		32,4	900	75	8 juillet »
11 a	3 892	22,7	30	13	11 mai 1903
		22	30	15	10 juin »
		22,6	30	15	8 juillet »
11 b	3 898)	23,6	50	58	11 mai 1903
		26,8	50	58	10 juin »
		27	50	59	8 juillet »
14 bis	3 8 3 935	<i>a.</i> <i>d.</i> <i>e.</i>			
		24,8 26,2 24,5	400	40 52 38	11 mai 1903
		24,8 26,1 24,5	360	40 52 38	10 juin »
		24,6 26 24,3	360	38 52 38	8 juillet »

No d'ordre	Distance du portail m.	Température Degrés centigr.	Débit approximatif Litres-minute	Dureté totale Degrés français	Dates des observations
19	3 997-98	19,6 19,6 19,5	90 60 120	19 19 21	11 mai 1903 10 juin » 8 juillet »
25	4 068-72	21 20,9 20,8	9 9 15	12 13 14	11 mai 1903 10 juin » 8 juillet »
31	4 248	18,8 18,8 18,9	34 30 45	19 19 19	11 mai 1903 10 juin » 8 juillet »
34	4 353	10,1 10,4 10,4	420 500 600	72 67 58	11 mai 1903 10 juin » 8 juillet »
35	4 390,5	14,6 13,2 12	210 300 400	82 54 39	11 mai » 10 juin » 8 juillet »
36-37	4 397-98 Réunies dans une seule ouverture dans la maçonnerie	11,5 11,5 11,6	600 800 1 000	73 73 46	11 mai 1903 10 juin » 8 juillet »
38-39	4398-4402 Réunies dans une seule ouverture dans la maçonnerie	11 12,7 11,6	900 900 1 000	74 75 52	11 mai 1903 10 juin » 8 juillet »
40	4399	17,7 13,8 12,6	1 200 1 800 2 400	86 54 41	11 mai 1903 10 juin » 8 juillet »
40 b	4 410-15 Transv. XXIB	17,8 13,9 12,6	300 400 600	80 54 41	11 mai 1903 10 juin » 8 juillet »

N° d'ordre	Distance du portail m.	Température Degrés centigr.	Débit approximatif Litres-minute	Dureté totale Degrés français	Dates des observations
40 c	4 412-20	17,7	240	92	11 mai 1903
		13,8	300	54	10 juin »
		12,8	600	43	8 juillet »
31,,	4 355	14	3 000	86	11 mai 1903
		14,8	2 500	85	10 juin »
		15	3 000	67	8 juillet »
32,,	4 365 Transv. XXIA.	11,9	Vanne fermée P = 2 at. 9	76	11 mai 1903
		11,2	Vanne fermée P = 3 at.	77	10 juin »
		11,2	Vanne fermée P = 5 at. 2.	59	8 juillet »
33,,	4 365	14,3	200	86	11 mai 1903
		12,9	300	59	10 juin »
		12	400	48	8 juillet »
34,,	4 364-6	14,4	3 000	86	11 mai 1903
		13,6	4 000?	65	10 juin »
		12	5 000?	60	8 juillet »
36,,	4 393	12,1	9 000	80	11 mai 1903
		12	1 000	63	10 juin »
		11,2	12 000	56	8 juillet »
37,,	4 397-98	13,7	6 000	87	11 mai 1903
		12,1	9 000	79	10 juin »
		11,4	10 000	50	8 juillet »
38,,	4 404	17,7	120	90	11 mai 1903
		13,8	180	55	10 juin »
		12,6	300	45	8 juillet »
39,,-40,,	4 408-10	11,9	1 000	80	11 mai 1903
		12,1	2 000	79	10 juin »
		12,2	3 000	67	8 juillet »

N ^o d'ordre	Distance du portail m.	Température		Débit approximatif Litres-minute	Dureté totale		Dates des observations
		Degrés centigr.			Degrés français		
41,,	4418-20	17,9		6 000	92		11 mai 1903
		13,9		9 000	55		10 juin »
		12,5		12 000	42		8 juillet »
41,, b	4413,70-4414	Gauche.	Droite.	—	Gauche.	Droite.	11 mai 1903
		14,2	13,8		86	83	
		13	12,8		83	65	
		12,3	12,3	—	57	57	3 juillet »

Ces chiffres montrent quelle singulière perturbation s'est produite dans l'état d'équilibre des sources depuis la fin du mois de mai et surtout dans le courant de juin. A la fin de mars et encore à la fin d'avril, nous avions une situation très nette qui nous a permis d'établir le groupement résumé page 64.

Tout paraît maintenant modifié et cependant les relations et caractères propres à ces divers groupes ne ressortent pas moins très nettement.

La situation de fin avril et du commencement de mai permet d'admettre pour les eaux des diverses sources étudiées les provenances suivantes, quant à leur mode d'arrivée dans le tunnel :

Le groupe I est formé par des eaux circulant dans les couches profondes de gneiss d'Antigorio et probablement aussi dans les couches gypseuses sous-jacentes à celui-ci. Elles ont pris la température normale du rocher. Depuis la fin de mars 1903 les deux plus importantes de ces sources, la source 9 et la source 17a ont même augmenté très légèrement de température. Leur débit n'a pas changé. L'arrivée de ces eaux dans le tunnel paraît suivre une direction S.W.-N.O. Les sources du **groupe II A** sont des eaux fournies par le gneiss d'Antigorio exclusivement sans contact avec les couches gypseuses superposées ou infraposées à celui-ci. Elles sont froides parce que le rocher qui les entoure est refroidi par les sources du groupe III. Elles étaient auparavant influencées par les eaux de ces dernières sources, d'où leur diminution énorme de volume et de dureté. La dureté persistante est cependant due essentiellement au sulfate de chaux. Les sources du **groupe II B** sont des fuites provenant des eaux du

groupe III, probablement du groupe III A, qui rayonnent dans le gneiss d'Antigorio et contribuent aussi au refroidissement de celui-ci.

Quant aux sources froides du **groupe III**, jaillissant toutes dans le calcaire, on remarque que les **sources III A** qui poussent de bas en haut et sont néanmoins les plus froides, à débit peu variable, doivent couler au milieu des autres sources dans les conditions d'une conduite sous pression, où l'eau chemine très rapidement, sans pouvoir se chauffer beaucoup et en refoulant toute immixtion d'eau ambiante.

Les **sources III B**, au contraire, tombent toutes du plafond, directement ou à proximité d'une grande fissure, allant de la source 35 à la source 40 et 40*b*. Ce sont ces sources qui avaient le plus diminué de volume. Ce sont elles aussi qui viennent d'augmenter le plus fortement. Elles doivent cheminer dans un réseau de canaux et de cavités qui semble se développer surtout du côté ouest du tunnel. C'est par ce côté qu'a lieu la plus forte venue d'eau. La vidange des cavités et leur curage par l'eau coulant sur leur fond, pendant la période de baisse, produit le trouble simultané ou partiel de ce groupe de sources. La formation des sources du groupe III C est une nécessité, étant donnée la proximité des orifices de toutes ces sources; suivant la pression de l'eau provenant, soit des cours des sources III A, soit de celui qui forme les sources III B, le groupe III C se rapprochera plus ou moins de l'un ou de l'autre des deux premiers. En tous cas, toute modification dans le débit des eaux froides devra, en premier lieu, se manifester sur le groupe III B et en même temps avec le plus d'énergie, ainsi qu'on vient de le voir.

En corroboration de ce qui précède, nous voyons que les sources du **groupe III B** ont énormément augmenté de volume dès le mois de mai, leur température a baissé même, pour quelques-unes, de 1° au-dessous du minimum observé en juillet 1902. Cette coïncidence n'est certainement pas due au hasard, d'autant moins qu'actuellement (8 juillet 1903), où le débit total des eaux est moindre que celui d'il y a une année, on devrait trouver plutôt une température plus élevée. La cause doit reposer dans la circonstance qu'il y a une année le tunnel ne recevait non seulement des eaux froides dues à la crue causée par la fonte de la neige, *mais encore un certain appoint dû à la vidange de cavernes et de canaux souterrains*. L'eau d'infiltration se mélangeant à cette réserve, devait donner un mélange

moins froid que celle qui pénètre aujourd'hui par les orifices des sources III B.

Les sources du **groupe III A** ont, au contraire, augmenté très légèrement de température, sans augmenter de volume dans la même proportion que les précédentes, cette même influence s'est manifestée aussi à la source 31 „ qui s'est échauffée de plus de 1° depuis le mois d'avril. Cela tient sans doute au fait que la pression dans le réseau des canaux souterrains allant en augmentant du côté des sources III B, les sources III A sont influencées par les eaux de celles-là. Mais cette explication ne peut s'appliquer à la source 31 „, dont la température ne s'est pas élevée seulement de quelques dixièmes de degré, en se maintenant à 12° ou au-dessous, mais a atteint 15°, chiffre supérieur à celui des eaux du groupe III B. Là il faut admettre que l'augmentation de la charge a mis en activité des canaux plus lointains remplis d'eau dormante ou abandonnées à la suite de la baisse du niveau de l'eau. Cette circonstance expliquerait en tous cas le fait que les sources 39 „ -40 „ ont d'abord subi une hausse de la température pour se refroidir ensuite. Quant à ces dernières, l'influence des eaux froides affluentes du côté du N.-W. est extrêmement visible par les modifications qu'ont subi les petites sources intermédiaires, notamment la source 41 „ *b* (voir page 51). Celle-ci, sortant d'une fissure horizontale recevait, à fin mars du côté du S.-E., de l'eau froide et du côté du N.-W. de l'eau plus chaude. Peu à peu les deux extrémités de la veine se sont égalisées et ce n'est plus actuellement (juillet 1903) que de l'eau ayant sensiblement la température de la source 41 „ qui en sort. C'est donc essentiellement de l'eau de cette dernière venue d'eau, avec une certaine proportion d'eau des sources 39 „ -40 „, ce qui ressort aussi du degré de dureté.

Les sources du **groupe III C** ont naturellement changé dans la même proportion; celles, fournies en majeure partie par l'eau du groupe III A, se sont légèrement réchauffées par l'affluence des eaux du groupe III B, qui paraissent avoir produit la crue générale; s'il n'en était pas ainsi, on aurait dû constater avec l'augmentation de volume des sources III A, au contraire, un abaissement de la température. Les sources 36, 37 et 38 sont manifestement dans ce cas, mais elles ont pour la plupart baissé de température depuis la fin d'avril, moment de l'étiage de la plupart d'entre elles.

Alors elles étaient plutôt sous la domination de l'eau du groupe III B; dès lors, sous l'influence d'une arrivée plus directe de l'eau de la surface et de l'augmentation de leur débit, la température a baissé pour plusieurs de plus de 2°, en les ramenant aux environs de 12° et même à 11°, ce qui ne peut être que l'effet d'une eau froide ayant moins de 11°, donc l'eau du groupe III A. Les sources 32_„, 33_„, 34_„, 36_„ et 37_„ sont dans ce cas.

Le fait le plus général est *la baisse du degré hydrotimétrique* qui est subite et énorme dès la fin de mai. On constate pour quelques sources une légère baisse déjà dans le courant d'avril, mais dès le mois de juin, c'est une descente rapide et subite de 30-35° ramenant la dureté de 70 à 90°, où elle était à fin avril, à 60 et même à 40°. Les sources III B commencent déjà à fin mai par une baisse de près de 30°, qui est encore plus accentuée au commencement de juillet et atteint un total de plus de 40° (49° pour la source 40 C). Les sources du *groupe III A* suivent de près, avec une baisse moins rapide et aussi moins considérable. Quand à celle du groupe III C, ce n'est qu'au commencement de juillet qu'a été constatée la forte baisse (sources 36-37, 38, 31_„, 32_„, 37_„, sauf les sources 33_„, 34_„ et 36_„ dont la baisse de dureté a déjà commencé à se manifester au commencement de juin, parallèlement à celle des eaux du groupe III A et presque dans la même proportion que celles-ci.

La variation inverse de la température et du degré hydrotimétrique avec le débit ressort très clairement des courbes tracées pour les sources 34 et 40 appartenant aux groupes III A et III B, comparées à la courbe du débit représentées sur la planche IV.

L'augmentation de la pression souterraine se montre partout. De nombreuses fissures dans la zone des sources froides entre les Km. 4,350 et 4,420, qui s'étaient asséchées, ont recommencé à vomir de l'eau. La force des jets de presque toutes les sources a augmenté. Le manomètre placé sur la source 32_„, captée et fermée par une vanne, a accusé une augmentation de charge de 3 atm. (10 juin) à 5,2 atm. (8 juillet). En comparant ce qui vient de se passer avec la période de crue de l'été 1902, nous voyons que la crue de 1903 diffère de celle-là non seulement par le plus fort refroidissement, mais aussi par une baisse extrême de la dureté, alors que la hausse du débit est jusqu'ici inférieure. En effet en 1902 la baisse de la dureté, qui s'est produite en juillet et août seulement, donc plus tard, a été au maximum.

de 20 à 30°, pour plusieurs sources de moins de 10°. Cette différence est attribuable à la même influence qui a causé alors le moindre abaissement de la température : la présence, en 1902, d'accumulations d'eau dans le réseau de canaux et cavités souterrains, non encore vidangés. Cette vidange s'étant opérée pendant les mois de septembre 1902 à avril 1903, moment du minimum (766 l. s.), la crue qui a commencé à se manifester dans le courant de mai *a eu à diluer un volume d'eau moins grand*. Il est manifeste que l'affluence d'eau qui produit cette crue est de l'eau peu dure et qui, en raison de la grande vitesse qui accompagne l'augmentation de charge, ne parvient pas à se saturer de gypse dans la même proportion que les eaux au moment de l'étiage, lesquelles circulent lentement; en baignant longtemps les parois des cavernes et canaux souterrains dans le terrain gypseux.

Il est donc probable, si nous envisageons les phases de la crue de 1902, que la fin de juillet ou le commencement d'août coïncidera avec le maximum de la crue de cette année qui sera, selon toute apparence, un peu inférieure à celle de 1902. Puis les eaux diminueront de volume et augmenteront de dureté pour arriver à la fin de l'hiver 1903-1904 à un minimum d'environ 700 l. s. en accusant de nouveau des duretés de 75 à 90°.

Il est donc à prévoir, d'après les observations faites jusqu'ici que le débit des sources elles-mêmes, captées par le tunnel, variera entre 700 et 1100 l. s., c'est-à-dire dans une proportion d'environ 40 % du minimum.

Dans le rapport de février 1902, j'avais préavisé dans le sens d'un maximum de 300 à 350 l. s. On voit que ce chiffre est notablement dépassé, puisque le maximum de 1902 est de plus de trois fois ce chiffre.

Nous reprendrons plus loin l'examen de cette question sur des bases plus complètes.

On peut cependant affirmer déjà maintenant que l'ensemble de ces venues d'eau *n'a pas, par sa variabilité, le caractère de sources vauchusiennes*. Leur variabilité est au contraire très faible. Il y a peu de sources qui présentent une aussi faible variation du volume. Les sources vauchusiennes, telles que l'Areuse dans le Val-de-Travers, varient du simple au centuple et au-delà. La Noiraigue varie encore bien plus. Les moins variables des sources vauchusiennes ont un maximum qui dépasse au moins de trois à quatre fois le débit de l'étiage.

DEUXIÈME PARTIE

Conditions géologiques et hydrologiques de la région avoisinant la partie S.-E. du tunnel du Simplon.

A. Situation par rapport aux venues d'eau du tunnel.

L'étude que nous allons entreprendre nous amènera à déterminer définitivement la région collectrice des eaux captées dans le tunnel entre les Km. 3,850 et 4,420, pour autant qu'il s'agit d'eaux de sources normales et non de ressurgences, c'est-à-dire d'eaux torrentielles engouffres par des puits absorbants. Dans le rapport de février 1902, j'avais exclu d'avance la possibilité d'une infiltration d'eau venant du *Lago d'Avino*. Le profil géologique ne permet pas de soutenir la possibilité de cette hypothèse; de même les événements qui se sont accomplis sur ce bassin lacustre n'ont présenté absolument rien d'anormal. Il n'y a là aucune fuite par le fond; le trop plein de ce lac débite aujourd'hui le même volume d'eau qu'avant la rencontre des eaux dans le tunnel.

Nous serons obligés, par contre, à reprendre en considération l'éventualité d'une infiltration d'eau de la Cairasca, torrent qui coule dans des circonstances telles que, malgré le résultat négatif de l'essai de coloration du 3 décembre 1901 et les indications parlant contre cette éventualité, il y a lieu d'examiner à nouveau cette question en se basant sur de nouveaux essais de coloration.

Le gneiss d'Antigorio, qui est traversé par le tunnel sur une longueur de 4325 à 4330 m., forme sur la rive N.-W. de la Diveria tout le versant de la vallée, entre la vieille caserne, en amont de Gondo, et le pont de Boldrini près Bertonio (Varzo). Il constitue, comme le montre le profil géologique, une masse anticlinale couchée, superposée à des schistes calcaires micacés, souvent granatifères (Jurassique), dont il est séparé par une zone d'épaisseur variable de calcaire dolomitique, de marbre cipolin blanc ou rubané de gris, accompagné localement de gypse et d'anhydrite. C'est cette assise de roches calcaires, ici non gypsifères, qui constitue dans le tunnel, avec la zone voisine du gneiss d'Antigorio, sur une longueur de 600 m.

environ, la région aquifère, d'où ont jailli les eaux froides ou chaudes, que nous venons de décrire en détail. Si la première partie du gneiss d'Antigorio traversée par le tunnel, a été, sur près de 3500 m., presque entièrement sèche, cela tient, non à son imperméabilité complète, mais au contraire à la facilité avec laquelle les eaux d'infiltration traversent cette roche extrêmement fissurée sans y être arrêtées. En cela le gneiss d'Antigorio se comporte comme les roches granitiques, avec lesquelles il a beaucoup d'analogie. Il ne présente pas la « perméabilité en grand » comme les roches calcaires, car les ruisseaux coulant à sa surface ne se perdent pas sur leur parcours; du moins cela ne peut avoir lieu que dans une faible proportion. Par contre, l'eau de pluie qui s'y introduit à la surface par infiltration diffuse, trouve dans l'intérieur du massif suffisamment de passages pour arriver souterrainement dans le grand drain de la gorge de la Diveria qui divise le massif du gneiss d'Antigorio en deux moitiés. L'une forme le sous-bassement de l'arête du Pizzo Rovale - Pizzo Pioltone (Camozellhorn), et l'autre tout le flanc gauche de la vallée entre Alpien et le Pizzo Teggiolo. La perméabilité du gneiss d'Antigorio ressort d'ailleurs clairement du fait que plus de 500 m. avant de rencontrer les grandes venues d'eau jaillissant dans le tunnel, près du Km. 4,400, du massif calcaire, les travaux souterrains ont fait jaillir du gneiss d'Antigorio des sources nombreuses, dont quelques-unes avaient au début un volume très considérable (sources 8 et 11 pour les eaux froides, et 9, 17a, 17 et 19 pour les eaux chaudes). C'est par des fissures que ces sources pénètrent dans le tunnel. La source 8 a commencé à jaillir avec 50 l. s., la source 11 même avec plus du triple (10,000 l. m.). Même la source chaude n° 9 avait au début un volume de 4000 l. m. au moins.

Il est donc étrange que la masse énorme d'eau qui circulait dans cette région profonde de la montagne n'ait pas pénétré dans le tunnel plus tôt, soit avant le Km. 3,800. Il est certain qu'elle *circulait* de tout temps déjà dans le rocher entre les points 3,800 et 4,420. C'est le mouvement de cette masse d'eau traversant des voies largement ouvertes dans le calcaire et d'innombrables fissures dans le gneiss d'Antigorio qui est la cause du refroidissement progressif du rocher à partir du Km. 2,200, alors que normalement on aurait dû traverser jusqu'au Km. 3,500 des zones de plus en plus chaudes et rencontrer dès le Km. 4,400 jusqu'au Km. 5,500 une tempéra-

ture constante, ou bien un léger abaissement, dû à l'influence de la dépression de Vallé qui est, sur l'axe du tunnel, de 400 m. plus bas que l'arête du Teggiolo à Possette.

Deux influences surtout sont ici en jeu. C'est d'abord une fréquence plus grande des *fissures* dans le gneiss d'Antigorio, entre le Km. 3,800 et le contact avec le calcaire, notamment entre le premier point et le Km. 4,100 et de nouveau dans le voisinage du Km. 4,250 (sources 30 à 32). La partie du gneiss qui précède immédiatement le calcaire est, sur près de 70 m., entièrement sèche, de même que le calcaire lui-même sur 10 à 20 m. Les grandes venues d'eau froide n'ont apparu dans la galerie II qu'à partir du Km. 4,365 et dans la galerie I dès le Km. 4,490. Les plus volumineuses jaillissent à proximité de la grande faille qui fait buter le calcaire replié et contourné contre la masse de terrain calcareo-micacé broyé de la zone de compression.

La faille si manifeste qui a fait jaillir les sources 11, 8, 9 et 5_„, en partie froides, en partie chaudes, doit avoir une extension verticale considérable, abstraction faite du rejet, d'ailleurs assez faible, que l'on constate de part et d'autre de la fissure, au contact du gneiss et du schiste micacé feldspathique qui le traverse sur ce point. Le fait que sur le parcours de cette fissure s'élèvent des *eaux chaudes et gypseuses* (sources 9 et 10) et des eaux froides (11, 8 et 5_„) non gypseuses qui tombent du plafond, prouve que cette fissure s'étend en profondeur jusqu'au calcaire avec bancs de gypse (anhydrite) sous-jacent au gneiss et qui doit se trouver là à moins de 200 m. au-dessous du niveau du tunnel; d'autre part, elle doit atteindre aussi le calcaire superposé au gneiss (calcaire du Teggiolo). Par la première voie ascendent les eaux gypseuses des sources chaudes, par la seconde descendent les eaux froides. Il a déjà été rappelé, dans le précédent rapport, qu'avant la percée de la galerie transversale XIX, les eaux des sources 8, 9, 10 et 5_„ jaillissaient réunies à la source 11, qui était alors extrêmement volumineuse et plus chaude qu'après l'isolement de la source 9, ainsi que cela ressort des chiffres que nous avons donnés plus haut. Rappelons encore que c'est par des fissures très voisines et sensiblement parallèles à la grande faille de la transversale XIX que s'échappent les sources 12, 13 et 14, dans la galerie I, et les sources 7_„ à 15_„ dans la galerie II. Les sources 15 à 27 dans la galerie I, qui appartiennent au groupe isotherme et les sources chaudes 17_„

et 18, dans la galerie II, suivies de tout un contingent de sources isothermes ou froides d'abord et qui sont devenues plus chaudes ensuite, appartiennent à un autre système de fissures, dirigées irrégulièrement à travers le gneiss et n'accompagnant aucune fissure maîtresse, comme la faille de la transversale XIX. Aussi toutes ces sources ont généralement un débit plus modeste que celui de la source 9 ou de la source 8; pour la plupart d'entre elles, il y a eu décroissance notable du débit depuis leur rencontre.

Dans le calcaire, entre les Km. 4,325 et 4,421, il y a, outre la fissuration très nette, dont les principales directions sont indiquées sur le plan à l'échelle de 1 : 1000, encore des traces très nettes de la *corrosion* que l'eau a produite en élargissant par dissolution les passages souterrains. C'est pourquoi les plus grandes sources ont jailli dans ce terrain-là, lequel devait auparavant déjà être le principal conducteur d'eau.

Si donc la fissuration, tant du calcaire que du gneiss et la corrosion du premier, sont les facteurs qui expliquent la descente de l'eau souterraine en si grand volume jusqu'au niveau du tunnel et sa circulation dans cette région, puis sa pénétration en forme de gerbe dans le gneiss jusque dans le voisinage du Km. 3,800, la présence au milieu du gneiss d'une zone de *micaschiste*, épaisse de 15 m. environ, nous explique au contraire pourquoi cette eau circulante n'a pas pu pénétrer plus en avant dans le gneiss et pourquoi sur près de 4 km. on a cheminé dans du terrain non ou peu aquifère. L'examen du profil géologique (planche II) en montre nettement les motifs. L'eau souterraine descendant de la surface absorbante représentée par l'affleurement du calcaire du Teggiolo jusqu'à Alpien et d'une certaine zone voisine, cherche à s'enfoncer en vertu de la tendance que présente l'eau d'infiltration de pénétrer dans des profondeurs de plus en plus grandes, à la condition qu'il y ait renouvellement. A l'inverse de ce qui se passe sur le parcours d'un ruisseau ou d'une rivière, les eaux souterraines, grâce à l'influence de la température, peuvent pénétrer presque indéfiniment en profondeur et bien *au-dessous* du niveau de leur orifice de retour vers la surface (niveau piézométrique). Par certains canaux l'eau descend et se réchauffe; par d'autres l'eau chaude remonte en constituant un circuit fermé qui se renouvelle cependant par l'écoulement d'une partie de l'eau vers l'orifice superficiel du cours sourcier. Ce mouvement est accompagné de corrosion des parois, ce qui facilite encore la circulation, pendant que d'autres fissures

fermées jusqu'ici, dans lesquelles l'eau ne pouvait pénétrer que par capillarité, s'ouvrent à leur tour par l'effet de la corrosion et font pénétrer cette circulation d'eau encore plus profondément. La force nécessaire à ce mouvement est fourni par l'emprunt de chaleur fait aux couches profondes qui se refroidissent de cette manière.

C'est ainsi que l'eau cheminant dans le banc calcaire s'est enfoncée de plus en plus jusqu'au niveau du tunnel et même au-dessous. Elle était retenue du côté du N.-W. par les schistes calcaires et argileux tout à fait étanches. Du côté du S.-E., le gneiss d'Antigorio n'aurait probablement pas été assez étanche pour la retenir sans la présence, au milieu de ce terrain, de la zone de micaschiste que nous venons de mentionner. Le rôle de celle-ci a été manifeste dans le tunnel. C'est au moment qu'on s'est approché du relèvement vers le N.-W. de cette couche, au Km. 3,830, qu'ont apparu les premières sources. Les grandes sources 11, 8 et 9 ont jailli après la percée de ce banc. La même couche se retrouve à la surface sur le sentier conduisant de Chiusure sous Ciampalbino à l'Alpe d'Agro, passant presque horizontalement à la cote 1730 m. ; ce sentier suit la corniche que détermine ce terrain délitable dans la paroi de gneiss. Il y a lieu de considérer cette zone schisteuse comme étant la même que celle rencontrée dans le tunnel. Elle s'enfonce sous le niveau de celui-ci, avec plongement N.-W., au Km. 3,650, pour réapparaître au Km. 3,830, avec plongement S.-E., en dessinant ainsi un pli synclinal en cuvette. Il y a donc probabilité que ce soit là le même terrain que celui du sentier d'Agro; à moins, qu'au lieu de la continuité que je lui donne dans le profil, ce ne soit qu'une succession de lentilles de micaschiste marquant le même niveau dans le gneiss. Ce terrain fonctionne en tout cas comme paroi et fond étanches, ayant empêché les eaux souterraines de se répandre dans le gneiss d'Antigorio du côté du S.-E. Sa présence a forcé l'eau à s'élever jusqu'au niveau des sources de Nembro, taries au commencement de novembre 1901, un peu plus d'un mois après la rencontre des premières grandes sources dans la galerie I, au Km. 4,400. Les sources en question, situées à la cote 1300 m., ne sont probablement pas les seules qui ont disparu, mais ce sont les seules connues dans la vallée de la Cairasca, dont j'ai moi-même pu constater le tarissement. Elles jaillissaient dans la plaine comblée d'alluvions, au pied d'un talus d'éboulis, souvent recouvert par les avalanches. Le niveau de

ces sources, à près de 650 m. au-dessus du tunnel, donnerait donc à la colonne d'eau, accumulée dans les fissures et canaux à l'intérieur de la montagne, une hauteur de près de 650 m., soit une pression statique de 65 atmosphères. Il est plus que probable que d'autres sources ont encore été tariées par la percée du tunnel; *ce devaient être surtout des sources pénétrant directement dans le cours de la Cairasca à travers le remplissage d'alluvion*, qui forme le fond de la vallée entre la gorge de la Scarpia et la chute de Campo. Nous reviendrons encore à parler de cette question après avoir examiné les conditions hydrologiques de la superficie avoisinant la partie S.-E. du tunnel.

B. Champ collecteur des eaux de sources pénétrant dans le tunnel.

Cette région peut être très nettement délimitée par la présence d'eaux superficielles, sources jaillissantes, ruisseaux, lagots, etc., sur les terrains qui l'entourent. C'est d'abord la dépression de Vallé qui commence au pied de l'arête qui relie le Monte Carnera au Pizzo Cornachio, à l'altitude d'environ 2300 m. Elle embrasse la surface de la plaque calcaire du Teggiolo (Lareggio, Pianezzoni et Balmelle) et le flanc très incliné de l'arête Monte Carnera — Pizzo Valgrande di Vallé, formé de calcaires, de micaschistes et de gneiss, sur lesquels il n'y a pas d'eau permanente. Dans mon précédent rapport, j'avais restreint la surface collectrice des eaux du tunnel à la dépression de Vallé seule, en admettant que cette surface, qui est d'environ 3 km. carrés, reçoit annuellement 160 cm. de hauteur d'eau de pluie et de neige, ce qui donne un volume annuel de 4 800 000 000 litres, soit un débit moyen de 9132 l. m.; les deux tiers de ce débit représentent celui des sources de Nembro. A ce titre, la coïncidence paraissait assez significative pour attribuer aux sources du tunnel un *minimum* de 100 l. s. (6000 l. m. le débit des sources de Nembro), et 350 l. m. en y comprenant les sources de la Prese de Gebbo et de Straccioni, dont le tarissement ne s'est cependant pas produit jusqu'ici.

Cette délimitation du champ collecteur des sources du tunnel et sa contenance demandent plusieurs rectifications importantes, ensuite des recherches faites pendant l'été 1902, recherches qu'il n'était pas possible de faire au moment de la rédaction du rapport précédent.

Tout d'abord le vallon de Vallé ne participe pas entièrement à la formation des sources pénétrant dans le tunnel. Dans le milieu de cette combe se trouve une assez grande surface de *terrain morainique* à fond imperméable qui sert de champ collecteur à une série de sources assez abondantes, lesquelles alimentent les chalets de l'Alpe di Vallé et se réunissent plus bas pour former le ruisseau permanent de Vallé.

Ces sources forment trois groupes qui se succèdent entre les chalets inférieurs (1750 m.) et le sentier (1815 m.) conduisant à la gorge de Croppalla. Leur volume total pouvait être de 300 l. m. au moment des basses eaux, 8 août 1902.

J'ai mesuré ce jour-là :

	Température. Degrés centigrades.	Dureté totale. Degrés français.
Sources inférieures	4,2	7,5
» moyennes	3,2	7,5
» supérieures	3,2	16

On le voit, il s'agit de filons sortant à des hauteurs variables du dépôt morainique; aussi la dureté subit des variations suivant la composition des terrains détritiques traversés. Ceux-ci sont surtout calcaires sur le versant S.-E. et plutôt cristallins sur le flanc N.-W. de la combe.

D'autre part, la région « sèche » ne s'arrête pas sur la ligne de partage d'eau allant du Monte Carnera au Pizzo-Cornachia. Elle s'étend encore bien loin au S.-W. de cette limite admise précédemment, en comprenant les pentes descendant du Monté Carnera à l'Alpe de Camoscella et de Corvetsch, puis les alpes de Gisen et de Kescheren, pour se terminer sur le bord S.-E. du plateau de Frassinone (Frösch nau) ou Alpien près de la chapelle Zum Kâmi, point indiqué par la disparition d'une source à l'altitude de 1500 m. La nouvelle carte topographique, levée de 1899 à 1900, indique cette source qui aurait disparu, affirme-t-on, pendant l'hiver 1891-92, soit à l'époque du tarissement des sources de Nembro. Je suis très porté à admettre cette affirmation, sur la foi des indications de la carte topographique d'abord, et parce que ce point situé sur le bord de la bande calcaire allant, à la surface du gneiss d'Antigorio, dès le Pizzo Teggiolo jusqu'à la vieille Caserne, termine précisément la région sèche, où actuellement ne jaillit aucune source. La carte jointe au présent rapport délimite cette région par une ligne pointillée bleu opaque barbelée en dedans. Sauf quelques faibles

filets d'eau, alimentés par quelques amas de neige dans la partie supérieure et à l'exception de quelques sources près de Corvetsch et celles de Vallé, mentionnées plus haut, il n'y a dans toute cette région aucune source persistante. Elle présente, au contraire, tout à fait les caractères d'une région possédant, sur d'assez grandes surfaces, la perméabilité en grand, car les eaux de fusion de la neige et les eaux amassées par la pluie dans les couloirs disparaissent promptement sous terre lorsqu'elles ne sont pas trop abondantes. Le plateau du Teggiolo, avec une superficie de calcaire dénudé, mesurant plus de 2 km. carrés, offre l'aspect d'un lapié comme on les trouve dans les Alpes calcaires et sur les dos des larges plis du Jura. La totalité de l'eau de pluie et de la neige s'engouffre dans la profondeur de la montagne, à l'exception de la faible quantité retenue par végétation clairsemée. Ajoutons que dans notre précédent rapport, nous n'avons compté comme partie sèche de la dépression de Vallé que le flanc S.-E. et le fond, ce qui donne bien 3 km. carrés, tandis qu'il faut y comprendre en outre le flanc N.-W. jusqu'à l'arête du Pizzo Valgrande di Vallé, ce qui double à peu près la superficie; mais il faudra en déduire la région morainique occupée par les pâturages de l'Alpe di Vallé. Toute cette région sèche s'étend, comme on voit, à 2,5 km. au N.-E. et à 5 km. au S.-W. de l'axe du tunnel.

La surface totale du champ collecteur, tel que je suis amené à le délimiter aujourd'hui, comprend au moins 10 km. carrés.

De cette manière, nous arriverions, en admettant que la quantité d'eau météorique reçue est, comme à Iselle, 160 cm. par année, à un débit moyen annuel de 34 400 l. m.; soit en supposant que les $\frac{2}{3}$ de cette eau alimentent les sources du tunnel, à un débit de 22 866 l. m., ou 381 l. s. Cette quantité n'est que la *moitié* du volume *minimum* observé fin avril. Donc, malgré l'augmentation du champ nourricier des sources, nous ne sommes à l'heure actuelle pas en mesure d'expliquer, par la pénétration *normale* des eaux météoriques, le volume énorme d'eau captée par le tunnel. Il y a cependant une remarque à faire valoir: J'ai admis 160 cm. d'eau météorique, chiffre obtenu par les observations faites depuis plusieurs années à Iselle. Or, Iselle est située au fond d'une gorge, où il pleut notablement moins que sur les montagnes. Bien qu'il y pleut peut-être tout aussi souvent, les chutes de pluie et de neige sont moins abondantes. Nous n'exa-

gérons certainement pas en majorant de 25 % la hauteur d'eau météorique pour la région considérée, d'autant plus qu'elle est en bonne partie à exposition S., donc fortement sujette à des condensations rapides. Cela porterait la quantité d'eau météorique juste à 2 m. En conséquence il faudrait majorer dans la même proportion le volume des eaux souterraines entrant dans le tunnel en portant leur débit à 476 l. s., disons 500 l. s., en moyenne. Cependant, on voit que nous sommes encore loin du compte, puisque le débit minimum observé dans le tunnel a été de 766 l. s. et le débit moyen n'est pas loin de 1000 l. s. Il y a donc lieu de chercher encore ailleurs cet appoint extraordinaire d'eau que les chutes d'eau atmosphérique ne peuvent expliquer. Constatons toutefois que la superficie du champ collecteur de ces sources, région qui a les qualités d'une surface avec perméabilité facile, est capable de fournir un débit d'eau souterraine de 500 l. s. en moyenne, soit *la moitié environ de l'eau pénétrant dans le tunnel.*

Il est possible que par la suite on puisse arriver à délimiter encore plus exactement la surface du champ collecteur de ces sources. Mais ces corrections ne pourront porter que sur des détails, ainsi que cela ressort des indications qui suivent, sur les sources de la région entourant le champ collecteur des eaux du tunnel, sources que les travaux souterrains ne paraissent pas avoir influencées. Cela est notamment le cas des sources de Straccioni et de la Prese de Gebbo, dont la disparition paraissait très probable et qui, ce dernier groupe du moins, n'ont pas montré de modification dans leur régime. La persistance de ces sources, que tout indiquait comme devant suivre le sort de celles de Nembro, est bien singulière et mérite un examen plus spécial.

Il ressort de ce qui précède que les eaux pénétrant dans le tunnel entre les Km. 3,820 et 4,420 peuvent, en partie du moins, être attribuées à des infiltrations d'eaux météoriques collectées par une zone de terrain absorbant très perméable, située entre le bord de l'affleurement du calcaire du Teggiolo et l'arête du Valgrande-Carnera, en s'étendant en longueur de la Cairasca jusqu'au ruisseau d'Alpien. Pour le reste, il faut chercher une autre provenance ; car ce ne peut pas être, d'après ce qui a été constaté, le produit exclusif de la vidange de canaux et cavités souterraines, ainsi que nous l'avions admis pendant longtemps. Avant d'examiner cette question,

il convient de jeter un coup d'œil sur les régions entourant la zone sèche de Vallé-Alpien. Cette zone sèche pourrait être prolongée du côté du N.-E., au-delà de la Cairasca, dans la direction de Ciamporino, pâturage qui est situé dans des conditions analogues à celui de Vallé et qui se continue jusque dans la vallée de Bondolero par une zone sèche formée par des schistes calcaires très perméables. Toutefois les sources de Ciamporino et même les sources qui jaillissent entre Campo et Quartina sur la rive gauche de la Cairasca n'ont subi aucune modification visible. Il est vrai que ces sources sortent les unes et les autres de la moraine et sont à ce titre peut-être indépendantes du sous-sol perméable, comme le sont aussi les sources de l'Alpe de Vallé. Il serait donc néanmoins possible que la région absorbante drainée par le tunnel s'étendît encore sur une certaine longueur sur la rive gauche de la Cairasca, sans que l'on puisse en fixer la limite¹. Divers torrents permanents descendent cependant de cette région, ce qui témoigne contre une forte absorption superficielle; de plus il est plutôt probable que la région sèche qui occupe le col entre Ciamporino et Bondolero est tributrice des sources qui se réunissent au ruisseau de Bondolero. Celui-ci se jette dans le ruisseau de Devero, à Goglio, à l'altitude de 1000 m. environ, donc à un niveau sensiblement inférieur à l'Alpe Nembro. Je n'ai d'ailleurs aucune connaissance d'un tarissement de source survenu dans cette région.

C. Sources disparues de Nembro et du Schallbett sous Alpien.

Le groupe de sources taries entre le 29 octobre et le 20 novembre 1901 se trouvait au S.-E. des chalets de *Lavigna* (Lavin sur la carte). Leur débit, observé le 29 octobre 1901, était d'environ 600 l. m., soit 100 l. s. Température 4°8 à 5°1, suivant les filons formant tout un chapelet le long d'une dépression qui est manifestement un ancien lit de la Cairasca, creusé dans les alluvions. Il y a d'ailleurs au-dessous des chalets de Lavigna une berge d'érosion très nette taillée dans le cône de déjection du ruisseau de Vallé. Altitude 1300 m.

Les eaux de ces sources n'étaient pas très dures; le degré hydrotimétrique total était de 13-16° (le 29 octobre 1901).

¹ La carte indique par une ligne pointillée forte cette prolongation possible du champ collecteur du côté du Ciamporino.

On indique encore un certain nombre de petites sources qui auraient tari également sur la rive droite de la Cairasca, vis-à-vis de Campo et un peu en amont du pont de Campo, à l'altitude d'environ 1400 m. Cela me paraît assez étrange, car cette région est surmontée par le banc de calcaire de Campo, superposé aux schistes calcaires qui, dans cette région du moins, ne doit guère avoir été influencé par les travaux souterrains. Toutefois la chose n'est pas impossible, les eaux circulant dans ce banc calcaire et dans les schistes calcaires sous-jacents pourraient bien s'être jointes à celles du massif calcaire du Teggiolo. Malheureusement nous ne possédons pas de données sur l'état de ces sources avant leur tarissement. Les réclamations à leur sujet ne se sont produites que fort tardivement, il y a quelques mois.

Il en est de même de la source du *Schallbett*, au-dessous de la chapelle d'Alpien (Zumkâmi). Elle devait jaillir à la cote 1540 m. environ, au-dessous de la corniche calcaire de la zone du Teggiolo et au-dessus d'un banc de gneiss schisteux. Son débit, affirme-t-on, devait être près de 500 l. m. Deux faits sont cependant extrêmement surprenants. C'est l'existence de cette source à côté du lit du ruisseau d'Alpien, profondément entaillé dans les mêmes terrains. Le point où devait exister cette source est situé d'ailleurs aussi dans un ancien lit du dit ruisseau, plus encaissé cependant que le lit actuel et comme celui-ci entièrement rocheux ; il est aujourd'hui entièrement comblé par des dépôts morainiques, dépendant de la Grande Moraine qui constitue la colline de Silva entre le ruisseau d'Alpien et le coteau de Kescheren. L'eau de la dite source suivait cet ancien lit jusqu'à la jonction avec le torrent actuel. Ensuite, c'est la persistance de plusieurs sources de plus faible volume, jaillissant presque au même niveau ou plus bas, également au sommet du Schallbett, à une centaine de mètres de distance de la grande source tarie¹. Je suis à me demander si ces sources ne sont pas, comme cela arrive souvent, des sources formées par les *eaux d'irrigation*, comme j'en ai vu sur d'autres parties du pâturage d'Alpien. Toutefois elles sortent précisément du remplissage morainique de l'ancien lit et pourrait bien être dues à des eaux d'infiltration collectées par cette Mor-

¹ Ces sources sortant de la moraine comblant l'ancien lit du ruisseau d'Alpien avaient le 15 septembre 1903 : Température 5°2 à 5°8, Dureté 5°. Débit 200 l. m. Altitude 1530 à 1520 m.

raine, explication qui a aussi beaucoup de vraisemblance et justifierait la persistance de ces sources à côté de celle qui a disparu. Leur température parle également contre leur relation avec des eaux d'irrigation. Cette même question pourrait être soulevée à propos des sources de la partie élevée de Nembro.

Ce problème devant faire l'objet d'un examen spécial, à propos des réclamations que font valoir les propriétaires intéressés, je ne fais que la mentionner ici. Rappelons encore que l'essai de coloration, pratiqué sur le ruisseau d'Alpien le 3 avril 1903 avec 16 kg. de fluorescéine, a donné un résultat absolument négatif, résultat dont il sera question encore plus loin. Il y aurait lieu de faire encore des essais tendant, soit à prouver soit à écarter la possibilité d'une relation des sources disparues, dont il vient d'être question, avec les eaux d'irrigation. Cela ne doit pas être difficile. Comme qu'il en soit, et en attendant ces résultats, il n'en est pas moins vrai que ces sources prétendues disparues, lors même qu'elles ne seraient que des ressurgences d'eau d'irrigation, ne pouvaient former qu'un appoint minime des eaux pénétrant dans le tunnel. C'est pourquoi je n'ai pas craint de comprendre dans le champ collecteur des eaux du tunnel le sommet du Schallbett sous Alpien. Elle ne forme d'ailleurs qu'une annexe peu étendue de la zone sèche allant de Vallé à Kescheren. Il y aurait lieu de comprendre parmi les sources disparues une partie de celles de la vieille Caserne dont une du moins est aujourd'hui entièrement tarie (voir plus loin).

D. Sources de la région avoisinant le champ collecteur des sources entrant dans le tunnel.

La région sèche que nous avons définie plus haut est entourée de terrains où les eaux superficielles et des sources nombreuses ne font nullement défaut. Cette région forme deux bandes dont l'une comprend le talus formé de gneiss d'Antigorio entre Trasquera et Bugliaga, jusqu'au Schallbett, dès la corniche du calcaire du Teggiolo jusqu'à la Diveria. L'autre comprend une certaine largeur de la zone de gneiss schisteux, de schistes micacés avec bancs calcaires qui s'étendent sur le versant N. de l'arête Valgrande di Valle - Carnera, dès l'Alpe di Veglia (Cianciavero) par le Lago d'Avino à Alpien et jusqu'à la vieille Caserne. Cette dernière zone est ex-

trêmement riche en eaux superficielles, attribuables soit à des sources, soit pendant l'été à la fusion de neige et des glaciers.

a) ZONE NORD ENTRE ALPE DI VEGLIA ET ALPIEN. Nous pouvons être bref, en caractérisant les conditions hydrologiques de cette zone. Dans la région comprise entre l'arête de Valgrande di Vallé et le pied du Monte Leone, soit dans le bassin du Lago d'Avino, nous sommes certainement en dehors de la zone sujette aux infiltrations pouvant atteindre le tunnel. Cette superficie formée de micaschiste et de gneiss schisteux, concentre ses eaux dans le Lago d'Avino ; d'autres, sur le versant nommé Tirolo, entre le ruisseau de Cianciavero et l'arête du Pizzo-Valgrande di Vallé, se réunissant directement à ce ruisseau. Près d'Aione et Ponte, sur le bord de la plaine de l'Alpe di Veglia, jaillissent des sources très volumineuses. Un peu plus haut se voient d'autres, dont quelques-unes alimentent le Lago di Streghe. La présence d'importantes moraines frontales, dues à un ancien glacier ayant occupé toute la cuvette entre le Monte Leone-Stickelsgrat-Monte Carnera et Pizzo-Valgrande di Vallé, ne sont pas étrangères à la formation de ces sources. Toujours est-il qu'elles prouvent l'étanchéité complète du fond de la cuvette de l'Alpe di Veglia et du seuil de Cropalle qui est de 400 m. plus haut que le bassin de Nembro.

Ces sources ont une température de 2 à 3° et une dureté de 5°. L'étanchéité du plateau incliné de la Plana d'Avino ressort encore de la présence d'innombrables lags occupant des excavations taillées par l'érosion glaciaire dans les micaschistes et les gneiss schisteux, faiblement inclinés au N.-W. Le bassin même qui contient le Lago d'Avino, n'est autre chose qu'une excavation glaciaire à bord entièrement rocheux (Kahr), ayant une profondeur maximale de 34 m. Ce point se trouve, non au centre de la cuvette, mais plus rapprochée de la paroi du Monte Leone.

Le massif calcaire qui affleure sur le bord du lac, au pied de ce sommet, se relie visiblement à la bande calcaire accompagné de calcaires plaquetés cristallins qui vont former le Pizzo Ferato (2667 m.) et qui contourne ensuite la face sud du Monte Carnera. Près de ce sommet, la région sèche empiète non seulement sur cette bande calcaire, mais encore sur le gneiss du Monte Leone qu'elle supporte, probablement parce que la situation isolée, en forme de promontoire, de cette arête de gneiss a produit l'ouverture de fissures profondes par lesquelles l'eau pénètre dans l'inté-

rieur de la montagne. La région entourant au nord la combe d'Alpien et la presque totalité de celle-ci est par contre en dehors de la zone absorbante. L'étanchéité du gneiss du Monte Leone au N.-E. de Schwarze-Balmen est prouvée par la présence de trois petits lacs, les lacs d'Alpien remplissant des bassins rocheux au fond d'un Kahr à deux gradins qui commence au pied du Stickelsgrat près du Passo Fné. De nombreux petits torrents descendent vers Schwarze Balmen et Alpien.

1. Près de *Schwarze Balmen*, non loin du sentier qui conduit de Carnera vers ces pâturages, jaillit un groupe de sources du calcaire qui forme la base de cet alpage. Altitude 2140 m.

Température 20^o. Dureté 7^o. Débit 300 l. m.

Cette eau, réunie à d'autres sources, sortant sous les éboulis près d'Erblatten, forme un petit ruisseau qui aboutit à la plaine d'Alpien, s'il n'est pas détourné en vue de l'irrigation.

2. A l'Est d'*Erblatten*, à la cote 1853 m., jaillit une source volumineuse d'un coteau fortement boisé, en partie rocheux, en partie couvert de décombres. Elle est située sur l'emplacement où doit passer la deuxième zone de calcaire, celle qui forme le seuil des cascades de Campo sur Nembro et qui se retrouve derrière la caserne ruinée. J'ai constaté sur cette source :

	Température. Deg. cent.	Dureté. Degrés.	Débit approximatif. l. m.
le 15 août 1899 . . .	2,8	—	6000
le 6 mai 1902 . . .	2	6	8000
le 25 janvier 1903. . .	2	6	6000

Cette source a donc un débit peu variable et il est important de constater que la percée du tunnel n'a en aucune manière influencé son débit.

3. Des sources assez nombreuses jaillissent du rocher autour de la *plaine d'Alpien* et des moraines qui l'encadrent en partie. Elles paraissent provenir en bonne partie du vallon situé entre la colline morainique de *Silva* et le coteau calcaire de *Kescheren* où existe une petite mare sur le fond de laquelle s'élève une source au milieu du sol d'alluvion. Il est possible qu'une partie de ces eaux émerge du calcaire qui affleure au-dessous de *Kescheren*. Il est surprenant toutefois que ces eaux s'écoulent d'abord vers le nord en contournant la colline de *Silva* et que c'est justement à l'issue sud de ce vallon, de l'autre côté de la digue morainique qui l'obstrue ici,

à la cote 1480 m. environ, que jaillissent les petites sources dont il a été question plus haut, à proximité de l'emplacement de la grande source tarie. Ces petites sources étaient encore actives le 6 mai 1902 et le 25 janvier 1903; elles n'ont aucunement été influencées par la percée du tunnel.

4. Près de la *caserne ruinée* (Alte Caserne) à environ 300 m. à l'aval de celle-ci jaillissent, à la cote d'environ 1185 m., plusieurs sources, juste au sommet du gneiss d'Antigorio. Elles sortent conséquemment *du même banc calcaire que la source disparue du Schallbett*. J'ai observé ces sources à plusieurs reprises; les trois groupes débitent la même eau :

	Température. Deg. cent.	Dureté totale. Degrés.	Débit approximatif. l. m.
15 août 1899. . . .	7	12	1500
11 juin 1901. . . .	6,8—7	12	1500
6 mai 1902. . . .	6,5—6,8	12	1200
16 juillet 1902 . . .	7	11—12	1000
1 décembre 1902 . .	7	12	750
25 janvier 1903 . .	7	12	400

Bien qu'il ne s'agisse que d'*estimations du débit* et non de jaugeages exacts, il est manifeste que ces sources sont en voie de diminution. En avril 1903, leur débit paraissait atteindre à peine 300 l. m. Au commencement de juillet 1903, elles étaient encore loin d'avoir repris le débit habituel à cette époque de l'année. Elles paraissaient avoir légèrement augmenté (environ 400 l. m.). Un des orifices, le plus élevé, était entièrement à sec. Cette circonstance n'est certes pas sans signification importante, quant à la question du tarissement de la grande source du Schallbett. Si réellement nous assistons à une diminution graduelle des sources de l'ancienne caserne, diminution qui pourrait bien aller jusqu'au tarissement complet, ce serait une longueur d'environ deux kilomètres de plus à ajouter au champ collecteur des sources captées par le tunnel, ce qui fait, avec une largeur moyenne d'à peu près 250 m., une superficie de 1 km².

En tout cas, comme il s'agit de sources sortant *du même banc calcaire* que les eaux pénétrant dans le tunnel, il n'y a là rien qui doive nous étonner. Et si réellement cette réduction continue dans la même proportion encore actuellement, après que 18 mois se sont passés depuis la rencontre des grandes sources au Km. 4,400, *cela montrerait avec quelle lenteur se fait*

la vidange des canaux souterrains à l'intérieur de la montagne par l'effet d'appel exercé par le tunnel. Rappelons à cette occasion que le 16 décembre, entre 9 et 10 heures du soir, on a ressenti à Gondo des roulements souterrains avec ébranlements du sol, paraissant provenir de l'intérieur de la montagne. L'évacuation du remplissage d'eau des cavités souterraines n'aurait-elle pas pu être suivie de l'effondrement du plafond, ou du renversement de quelques-unes des parois? Cette observation est d'ailleurs la seule de ce genre qui ait été faite, et à ce titre on pourrait se demander si réellement il y a lieu d'en tirer une conclusion de cette importance. Les effondrements souterrains sont plutôt sujets à répétition. Comme qu'il en soit, on ne doit pas attribuer trop d'importance à cette observation isolée, bien qu'il soit avéré aujourd'hui que l'effet de vidange des cavités souterraines s'est propagé au delà de Gondo et qu'un tel effondrement serait parfaitement possible.

b) ZONE SUD ENTRE BUGLIAGA ET LA CAIRASCA. Le plateau de Bugliaga-Trasquera, ainsi que tout le talus, formé du gneiss d'Antigorio, qui s'élève jusqu'à la corniche calcaire de Teggiolo-Alpien, peut être considéré comme étant hors de cause, quant à la genèse des grandes sources du tunnel. Cette région possède de nombreuses sources qui alimentent toute une série de torrents utilisés pour l'irrigation des cultures. Ce sont :

1. Dans la *combe de la Prese*, entre le *Schallbett* et *Bugliaga*, descendent plusieurs petits torrents, alimentés par des sources sortant du gneiss d'Antigorio. Elles émergent probablement au-dessus d'intercalations de mica-schiste qui entrecourent fréquemment le gneiss¹.

2. Au-dessus du *plateau de Bugliaga* se succède presque au même niveau toute une série de sources assez volumineuses et constantes.

Il y en a 3 à *La Balma*, 1530-1560 m.

Température 5°5. Dureté 5°5. Volume 1000 l. m.

Casa-Colle, 2 sources, 1530 m.

Température 5°. Dureté 5°5. Volume 150 l. m.

Sous-Colle, 2 sources, sortant des éboulis après un parcours superficiel assez long. 1360 m. Proviennent probablement du même niveau aquifère que les précédentes.

¹ A ces eaux se joignent les deux sources de Corvetsch (2026 m.) sortant d'un important dépôt morainique sur les schistes calcaires. Température 3°5. Dureté 6°. Débit 300 l. m. (15 sept. 1903).

Température 9 à 12°. Dureté 10°. Volume 35 l. m.

Sources de Chiusure, 1700-1740 m.

Grande source à l'Est de Chiusure, au bord du ravin du Teggiolo.

28 juillet 1900. Température 4°8. Dureté 6°5. Volume 250 l. m.

17 juillet 1902. » 4°5 » 7° » 300 »

Petite source sur le sentier de *Chiusure* à *Ciampalbino*.

28 juillet 1900. Température 5°4. Dureté 5°. Volume 10 l. m.

28 août 1901. » 6°4 » — » 5 »

17 juillet 1902. » 5° » 5° » 10 »

3. *Plateau de Trasquera*. Outre plusieurs sources de faible volume jaillissant entre le Ponte del Diavolo et le village de Trasquera (Santa Annunciata), et au-dessus de ce village, il y a à considérer ici surtout la grande source des *fontaines de Trasquera*, qui émerge au-dessus du hameau de Chioso, au pied d'un grand talus d'éboulement s'élevant jusqu'à un escarpement de gneiss d'Antigorio. J'ai observé cette source à diverses époques de l'année depuis l'ouverture des travaux du tunnel et n'ai constaté aucun changement dans son régime. Son débit varie beaucoup suivant la saison ; en voici les résultats. Altitude 1175 m.

	Température. Deg. cent.	Dureté. Degrés français.	Volume du trop plein. l. m.
28 août 1898 . . .	4,5	2	300
29 octobre 1901 . .	3,9	3	2000
3 décembre 1901 . .	3,8	3	300
2 avril 1902 . . .	3,9	3	3000
6 mai » . . .	3,9	3	1800
3 juin » . . .	4,2	3	600

Cette source varie, comme on voit, du simple au décuple, et comme la conduite n'alimente pas des fontaines coulant en permanence, mais des prises d'eau ordinairement fermées, le trop plein représente presque la totalité du débit.

Les petites sources qui jaillissent à l'Est et à l'Ouest de cette dernière ont à peu près la même dureté, ce qui les caractérise comme des eaux sortant exclusivement du gneiss ; la température varie par contre énormément en raison de leur cours superficiel au-dessous du talus d'éboulement.

La formation de toutes ces sources sur le bord S.-E. de la région sèche de Vallé-Kescheren, prouve que le gneiss d'Antigorio, quoique fonctionnant

comme terrain absorbant, ne laisse pas pénétrer beaucoup d'eaux d'infiltration directement dans la grande profondeur. Sa disposition peu inclinée le rend d'une part peu propre à l'absorption en grand ; puis les intercalations schisteuses qu'il présente à divers niveaux (zones micacées basiques et zones schisteuses par lamination) produisent le retour des eaux vers la surface et la formation de ces cordons sourciers à la même hauteur sur le talus. La superficie entrant en ligne de compte dans la formation de ces sources ne comprend, comme on le voit, que la *partie supérieure du talus*, au-dessus du plateau proprement dit de Bugliaga et de Trasquera. Elle représente environ 4 km². Un tiers au plus de l'eau météorique peut être compté comme alimentant les sources. Le reste s'écoule superficiellement et s'évapore après avoir été retenu par la nappe végétale.

Le total du débit des sources énumérées dans cette région représente en moyenne 2845 l. m., et comme toutes n'ont évidemment pas été constatées on peut arrondir ce chiffre à 3000 l. m., sans craindre une exagération.

Au taux de 160 cm. de hauteur d'eau météorique on devrait, en prenant le tiers comme alimentant les sources, trouver sur les 4 km² au total environ 4000 l. m. d'eau de sources (en débit moyen). On voit que nous ne sommes pas bien loin de la réalité et qu'un quart seulement de l'eau météorique absorbée à la surface du gneiss peut être considérée comme se perdant dans la grande profondeur. Nous devons reconnaître toutefois que des calculs de ce genre sont basés sur des considérations laissant bien de la marge à l'aléatoire. La proportion entre l'eau infiltrée, évaporée et écoulee superficiellement varie non-seulement d'un terrain à l'autre, mais sur le même terrain, la configuration superficielle exerce une influence notable, sans compter que sur le même emplacement, cette proportion varie encore suivant la fréquence et la durée des chutes de pluies et suivant le temps qui succède à ces chutes. L'influence des saisons la modifie à son tour et pour la neige fondante elle est de nouveau toute autre que pour la pluie. Cette surface de gneiss d'Antigorio, ayant un pouvoir absorbant assez limité et offrant à l'eau, grâce à son talus, un écoulement superficiel facile, tout en retenant une certaine proportion dans la nappe végétale, il convient de faire une certaine part à chacune de ces trois influences. Les trois paraissant avoir en moyenne la même importance, on peut leur attribuer à chacune

un tiers et partager en trois parties égales la totalité de l'eau météorique. Quant à exprimer la proportion par une formule exacte et mathématique, cela ne se peut pas; le phénomène lui-même échappe à l'observation exacte dans la nature.

Dans l'appréciation ci-dessus nous n'avons pas tenu compte du *plateau inférieur* proprement dit de *Bugliaga* et de *Trasquera*, dont la surface est également de 4 km² environ. Il n'y jaillit que peu de sources; les eaux venant des sources supérieures le traversent sans s'y perdre, sauf la partie qui leur est empruntée pour l'irrigation des cultures en temps de sécheresse. L'extension presque ininterrompue des cultures avec une épaisse couche de terre végétale sableuse et des placages morainiques lui assurent un assez fort pouvoir absorbant et en même temps une assez forte retenue d'eau dans la couche superficielle. D'autre part, la surface du sous-sol rocheux, grâce aux dalles presque horizontales du gneiss qui se succèdent comme des écailles, formant un talus extérieur assez accusé, doit produire un effet analogue à celui d'un toit couvert de dalles de gneiss, comme cela se pratique dans le pays même. On en peut conclure que l'absorption du sol rocheux ne sera pas exagérée, malgré la faible pente du talus qui serait plutôt favorable à cette absorption. La plus forte part revient conséquemment à l'eau retenue dans la terre végétale — qui est destinée à s'évaporer ensuite — et à celle qui s'écoule superficiellement. Aussi, en temps de pluie et à la fonte de la neige, les escarpements bordant ce plateau et qui dominent la gorge de Gondo et d'Iselle paraissent littéralement frangés d'innombrables cascadelles, même en dehors des châteaux parcourus par les ruisseaux permanents. L'eau pénétrant dans le sous-sol rocheux ne peut donc en aucun cas dépasser le tiers de la totalité de l'eau météorique. Je la crois plutôt inférieure. Ce serait donc au maximum un total de 4000 l. m. ¹

Le torrent de Teggiolo (Il Rio) qui coule au fond d'une gorge étroite, enfoncée entre des parois abruptes que franchit, par une arche hardie, le pont del Diavolo, ne fait guère jaillir de sources abondantes, comme on

¹ Une seule source importante jaillit, non loin de Corbello, près du chemin conduisant de Bertonio à Trasquera, à 839 m. d'altitude. Température 8°1. Dureté 6°. Débit 500-1000 Lm. C'est évidemment une partie de l'eau absorbée par le plateau inférieur de Trasquera qui ne pénètre pas jusqu'au niveau de la Diveria, mais s'écoule à la surface d'une intercalation schisteuse du gneiss d'Antigorio, en suivant probablement une fissure transversale du gneiss.

pourrait le supposer. Cependant ce torrent n'est jamais à sec, bien qu'en certains moments il soit réduit à moins de 300 l. m.

E. Sources de la Vallée de la Cairasca.

La vallée de la Cairasca, entre Nembro et Bertonio, coupe transversalement tout le massif de gneiss d'Antigorio, avec le calcaire qui l'entoure au Nord et entame même profondément les micaschistes calcaires qui lui sont infraposés. Abstraction faite des sources de l'Alpe de Nembro, dont nous avons déjà parlé plus haut, cette vallée semble devoir fonctionner comme un drain, puisqu'elle a atteint le terrain étanche sur lequel les eaux d'infiltration, ayant traversé le gneiss ou le calcaire, doivent s'arrêter pour chercher une issue vers la surface. C'est pour cette raison sans doute que les eaux des sources, actuellement tarées, sous Lavigna sur l'Alpe Nembro jaillissent juste en amont du défilé taillé dans le gneiss d'Antigorio, un peu à l'aval de l'endroit où la bande calcaire du Teggiolo doit traverser le fond de la vallée, au-dessous du remplissage d'alluvion et de moraine.

C'est encore pour cette même raison que nous trouvons à la *Prese di Gebbo*, entre le Pont de Gebbo et celui de *Straccioni*, sous la chapelle de *San Bernardo*, tout un chapelet de sources, très abondantes, qui sortent à une faible hauteur au-dessus du lit de la rivière, sur la rive droite, au pied d'un énorme talus d'éboulement. Celui-ci commence déjà un peu en amont du Pont de Straccioni et s'étend jusqu'à *Cioina di dentro*, sur les deux rives de la rivière. Ces sources se trouvent sur le contact entre le gneiss d'Antigorio et les calcaires triasiques, accompagnés de gîtes de gypse et d'anhydrite sous-jacents.

Un affleurement de *gypse micacé*, associé à du schiste chloriteux gypsifère, se voit sur le bord de la Cairasca, près du pont de Straccioni. Plus bas, près du pont sous Cioina di dentro, la rivière atteint les schistes micacés calcarifères, plongeant légèrement au N.-W. Ils forment à partir de là toute la gorge de la Cairasca jusqu'à Bertonio, près Varzo, en décrivant très nettement une voûte recouverte d'abord par une calotte de marbre et de calcaires dolomitiques et supportant toute la masse du gneiss d'Antigorio (voir le profil longitudinal pl. IV). En amont du pont de Straccioni, les cal-

caires et le gneiss d'Antigorio s'enfoncent sous le lit de la rivière ; mais il est évident que ces terrains sont, *en position renversée*, les mêmes que les assises de marbre qui viennent *se superposer* au-dessus de Nembro au gneiss d'Antigorio pour former le sommet du Teggiolo. Sur la rive gauche de la Cairasca, le même phénomène se présente. Des assises de marbre surgissent au-dessus de la plaine de Nembro et viennent, en passant par Gilardino, se superposer au-dessus du gneiss d'Antigorio. Entre Nembro et Straccioni, ces bancs calcaires doivent donc passer en forme de synclinal apparent *sous* le massif du gneiss. Leur réapparition sur ce dernier point, avec un léger plongement N.-W., détermine l'émergence des sources de Straccioni et de Prese di Gebbo. Il faut motiver encore le fait que ces sources se trouvent sur la rive droite, tandis qu'il n'y en a pas d'analogue sur la rive gauche. Ceci est en relation avec la circonstance que le plan de contact entre le gneiss d'Antigorio et les terrains sédimentaires sous-jacents plonge assez fortement au S.-W. Ce contact qui se trouve à la Prese di Gebbo, à 1100 m. environ, doit se trouver sur l'axe du tunnel à environ 500 m. d'altitude, donc environ 150 m. au-dessous de la galerie (voir pl. III). Le plongement atteint donc, sur une longueur de moins de 3 kilomètres, environ 600 m. Cette inclinaison se continue du côté de la rive gauche, où ce contact, au lieu de s'enfoncer sous la montagne, s'élève au contraire du côté du Cistella. Sur la rive droite, il y a accumulation d'eau dans des cavités creusées dans le gypse et le calcaire qui s'enfoncent dans la direction du S.-W. Sur la rive gauche, ce phénomène n'a peut-être pas lieu dans la même mesure, ou bien les sources qui existent là parviennent *souterrainement* dans la rivière, chose qui ne peut pas être contrôlée directement, mais qui est extrêmement probable, comme on le verra.

C'est à l'altitude d'environ 1100 m. que jaillissent ces sources. Voici les observations faites à leur sujet :

a) *Sources de Straccioni*. Jaillissent au pied de grands blocs éboulés, à côté des chalets de ce nom, à 5-6 m. au-dessus du niveau de la Cairasca. Il y a deux groupes de sources. Le groupe supérieur est au niveau des chalets, tandis qu'à 60 m. de distance environ du côté aval, émerge, un peu plus bas, le groupe inférieur. Nous les distinguerons par I et II.

		Température Deg. Cent.	Dureté totale	Débit approx. L. m.	Total L. m.
29 oct. 1901.	I.	6,5	63	2000	
	II.	6,5	63	4000	6000
3 déc. 1901.	I.	6,5	70,5	1500	
	II.	6,5	70	3000	4500
12 févr. 1902.	I.	6,4	72	1000	
	II.	6,4	72	2000	3000
2 avril 1902.	I.	6,4	65	800	
	II.	6,4	65	2400	3200
6 mai 1902.	I.	6,4	64	1000	
	II.	6,4	64	3500	4500
3 juin 1902.	I.	6,4	—	2000	
	II.	6,4	—	4000	6000
7 août 1902.	I.	6,4	78	1500	
	II.	6,4	78	3500	5000
3 déc. 1902.	I.	6,3	82	800	
	II.	6,3	82	2000	2800
2 avril 1903.	I.	6,5	66	150	
	II.	6,5	66	850	1000
9 juin 1903.	I.	6,1	50	2000	
	II.	6,2	50	3000	5000

On voit que les sources du groupe supérieur sont les plus variables. Il semble même que cette variabilité s'accroît, en se traduisant par une réduction plus forte de l'étiage et par une diminution du total du débit.

b) *Source de la Prese di Gebbo*. Trois groupes émergent sur la berge gauche, à 15-25 m. au-dessus du niveau de la rivière. Les deux derniers dans des couloirs, souvent parcourus par les avalanches.

		Température Deg. cent.	Dureté totale	Débit approx. L. m.	Total L. m.
3 déc. 1901.	I.	6,5	78	2000	
	II.	6,7	90	3000	
	III.	6,4	91	2000	7000
12 févr. 1902.	I.	6,5	80	2000	
	II.	6,7	92	2000	
	III.	6,7	90	1200	5200

		Température Deg. cent.	Dureté totale	Débit approx. L. m.	Total L. m.
2 avril 1902.	I.	6,6	75	3000	
	II.	6,5-6,7	87-88	3000	
	III.	6,5	80	1000	7000
6 mai 1902.	I.	6,5	68	2000	
	II.	6,7	70	3000	
	III.	6,4	60	1000	6000
3 juin 1902.	I.	6,3	84	4000	
	II.	6,8	82	4000	
	III.	6,8	80	2000	10,000
7 août 1902.	I.	6,5	78	2000	
	II.	6,9	76	1500	
	III.	6,6	76	1500	5000
3 déc. 1902.	I.	6,5	84	2500	
	II.	6,5	86	1000	
	III.	6,5	82	1000	3500
2 avril 1903.	I.	6,6	76	2000	
	II.	6,7	76	1000	
	III.	6,5	76	900	3900
9 juin 1903.	I.	6,3	54	3000	
	II.	6,7	54	2000	
	III.	6,5	43	2000	7000

Voici quelques données plus complètes sur la nature chimique de ces eaux :

Du 3 déc. 1901.	Matière solide par litre séchée à 150° calcinée		Dureté totale	Dureté fixe
Sources de Straccioni	1,194 gr.	1,107 gr.	70,5	68
Prese di Gebbo	1,409 gr.	1,319 gr.	92	86

D'après la dureté fixe, ces eaux doivent contenir 1 à 1,20 gr. de sulfate de calcium. La proportion de matière minérale varie en raison inverse au débit, phénomène qui se retrouve aussi chez les eaux froides du tunnel.

La situation de ces sources par rapport au tunnel, situation qui ressort des profils de la planche III, montre combien l'assèchement de celle-là par les travaux souterrains devait paraître probable, après qu'on eût cons-

taté, en novembre 1901, la disparition de celles de Nembro. Or, il n'en a pas été ainsi jusqu'à présent. Bien que les sources de Straccioni paraissent subir des étiages plus faibles que précédemment, leur existence aux hautes eaux ne paraît nullement menacée, ainsi que le montrent les chiffres ci-dessus. Il y a néanmoins possibilité d'une certaine relation entre ces sources et les eaux du tunnel d'une part et le torrent de la Cairasca de l'autre, ainsi que je l'avais déjà relevé dans mon précédent rapport.

En effet, la situation des sources de Straccioni et du Prese di Gebbo justifie pleinement l'hypothèse qu'une partie du moins de l'eau de ces sources soit empruntée au torrent de la Cairasca. La structure géologique de la gorge en amont et aux environs de ces sources présente un contraste frappant. Lorsque de Nembro on descend la vallée, on rencontre bientôt le gneiss d'Antigorio, en rochers massifs, s'élevant en puissants contreforts de part et d'autre du torrent. Sur le massif de gauche est bâtie la chapelle de San Domenico. Dès qu'on a franchi le défilé étroit de la *Scarpia* (1177 m.), l'aspect change ; les rochers de gneiss s'éloignent de la rivière ; sur la rive droite, d'immenses talus d'éboulement, en entassement chaotique, viennent border la rivière sur près de 1500 m. de longueur. Sur la rive gauche, ce sont encore des rochers de gneiss qui avoisinent le cours d'eau ; mais leur aspect contraste avec celui des rochers de la gorge en amont de la *Scarpia*. Le gneiss est fissuré et décomposé par une kaolinisation fort avancée. On voit manifestement, par exemple, que le rocher qui supporte la chapelle de San Bernardo n'est qu'une masse affaissée, buttant du côté amont contre un schiste séricitique gris en partie granatifère. A partir de Gebbo, les mêmes amas de blocs de gneiss d'Antigorio forment les deux rives du torrent qui, sur toute la longueur, entre la *Scarpia* et le pont sous Cioina di Dentro, coule sur cet entassement de blocs, ou du moins sur des rochers affaissés, alors que ce serait des rochers de gypse ou d'anhydrite qu'on devrait trouver là sur le bord du torrent. Des bandes de gneiss affaissé se poursuivent jusque près de Piano del Bosco sur la *Fracchia*. Il est certain qu'il ne s'agit pas là d'un simple talus d'éboulement ou de rochers détachés par suite de la désagrégation normale du rocher. L'apparition de cet amas détritique et chaotique et de grandes masses affaissées sur les deux rives à la fois, est trop subite et son importance trop considérable pour qu'il n'y ait pas lieu de chercher une cause plus spéciale. Les sources gypseuses de Strac-

cioni et de Prese di Gebbo sont les indicatrices du phénomène. C'est en effet entre la Scarpia et le pont de Gebbo qu'émergent ces sources qui contiennent plus de 1 gr. de sulfate de calcium par litre. Cela représente, en ne prenant comme moyenne que 1 gr. par litre pour un débit moyen de 12900 l. m., un poids de 6370200 kg., soit 6307 tonnes environ, donc plus de 2000 m³ d'anhydrite par année, le poids spécifique de l'anhydrite, dissout par l'eau, sous forme de gypse, étant de 2,95; ou bien c'est un volume de 2700 m³ de gypse. On se rend facilement compte, en présence de ce fait, que la disparition, par dissolution, des bancs de gypse et d'anhydrite, doit provoquer des affaissements à proximité du cours d'eau souterrain, par suite de l'accroissement énorme de ces cavités dans le cours des siècles. Le vaste champ d'effondrement de Gebbo ne doit donc pas nous étonner. Sa présence, de même que le passage de la Cairasca, à travers ce champ de décombres, appuie encore davantage la corrélation que nous supposons entre les sources en question et les eaux du torrent. Cette relation peut être déduite facilement des deux profils de la planche III et de celui de la planche IV.

L'influence du mélange de ces eaux gypseuses sur le degré hydrotimétrique de la Cairasca ressort d'autre part des constatations suivantes qui pourront être comparées avec celles faites sur les sources de Gebbo :

	Degré de dureté des eaux de la Cairasca.			Débit approx. en l. s.
	Gorge de Cropalla Degrés	Pont de Straccioni Degrés	Pont de Gebbo Degrés	
3 décembre 1901	12,5	—	26	2000
2 avril 1902 . .	—	12	28	2000
6 mai 1902 . .	—	14	27	2500
3 décembre 1902	12	14	26	2000
2 avril 1903 . .	16	16	26	1000
9 juin 1903 . .	5,5	6	8	7-8000

Ces chiffres font ressortir le volume considérable d'eau gypseuse qui s'ajoute à l'eau du torrent. Il est même possible d'apprécier, par la modification de sa dureté, le débit des sources, à la condition de connaître le volume du torrent, ce qui n'est que très imparfaitement possible. Ainsi le 2 avril 1902, le rapport de la dureté était de 12 : 28. Les sources de Straccioni-Prese di Gebbo avaient une dureté moyenne de 75°; il fallait donc qu'un quart de la Cairasca provint des sources, soit 500 l. s. Nous

n'avions taxé celles-ci qu'à 170 l. s. (10 200 l. m.) Le 3 décembre 1902, d'après la modification de la dureté de la Cairasca, celle-ci devait recevoir un cinquième de son volume d'eau à 80° de dureté, soit 400 l. s. — les sources visibles n'avaient que 6300 l. m., soit un peu plus de 100 l. s. Le 2 avril 1903, alors que les sources étaient extrêmement réduites, la relation était presque la même, la Cairasca débitant environ 1000 l. s., devait donc recevoir 200 l. s. d'eau de sources gypseuses à 70° de dureté. L'eau visible aux sources n'atteignait que 3900 l. m. environ, soit 51 l. s. Enfin le 6 juin 1903, la Cairasca étant gonflée par une fonte rapide de la neige et deux jours de pluie ininterrompue, pour produire une dureté de 8° il fallait environ 5 % d'eau à 50°, soit 350-400 l. s. Les sources ne fournissaient cependant que 200 l. s. (12 000 l. m.) d'eau visible.

On le voit, il y a là un nouveau problème des plus surprenants. Les modifications de la dureté de la rivière nous permettent d'affirmer que celle-ci reçoit, *outre les sources gypseuses visibles, encore trois à quatre fois autant d'eau au même degré de dureté qui se mélange invisiblement à son cours.* Dans l'intention de se rendre compte d'une manière plus exacte de la proportion de ce mélange d'eau gypseuse invisible, il aurait fallu disposer de jaugeages exacts. La chose a été examinée et jugée impraticable, du moins au moment des hautes eaux. Je crois d'ailleurs qu'en général mes estimations du débit de la rivière sont trop faibles lors des hautes eaux surtout. Il n'est pas moins évident qu'avec cette approximation il est encore plus difficile d'expliquer l'origine des sources de Straccioni et de la Prese di Gebbo, comme étant le produit exclusif d'infiltrations d'eaux météoriques, puisque le plateau de Trasquera-Bugliaga n'en pourrait produire que 4 à 5000 l. m. (83 l. s.). Il serait d'ailleurs fort étrange que l'eau absorbée sur ce plateau vienne remonter dans le gypse et le calcaire pour sourdre au bord de la Cairasca. Je suis de plus en plus porté à admettre qu'il s'agit tout simplement pour une forte part d'une dérivation souterraine de la Cairasca sur le trajet de la zone d'effondrement et déjà en amont de la Scarpia. Cette eau se sature de sulfate de chaux dans les cavités souterraines, y prend une température constante et rentre ensuite dans la rivière près de Gebbo.

Nous avons acquis maintenant des connaissances suffisantes sur l'hydrologie du tunnel et de la région à considérer quant à la genèse des eaux captées par les travaux souterrains. Nous pouvons maintenant

aborder la question la plus importante, celle de la provenance des eaux captées dans le tunnel et celle relative au volume d'eau qui subsistera après l'établissement d'un régime stable. Ce sera l'objet du troisième et dernier chapitre de notre rapport.

TROISIÈME PARTIE.

Provenance et débit définitif des eaux entrant dans le tunnel.

Nous avons vu que le total des eaux qui peuvent provenir normalement de l'absorption superficielle à la surface du champ collecteur que nous avons pu délimiter assez exactement par son caractère de région sèche, est d'environ 500 l. s. En y comprenant la zone entre *Alpien* et la *vieille caserne*, au bord de la route du Simplon sur Gondo, environ 1 km², cela ne ferait que 550 l. s. en moyenne. Ainsi nous sommes encore loin du débit moyen des eaux du tunnel qui est de près de 1000 l. s. Le débit des eaux entrant dans le tunnel subit, comme le montrent les jaugeages très exacts pratiqués, une seule onde de variation annuelle. Elle se compose d'une phase de crue allant de mai en juillet, crue qui est relativement rapide et qui est suivie d'une phase graduelle de décrue allant d'août jusqu'à la fin d'avril; en admettant que les travaux d'élargissement du tunnel I faits justement pendant les mois d'été 1902 n'aient exercé qu'une influence secondaire, la progression qui s'est manifestée dans le débit des eaux depuis le mois de mai 1903 permet d'admettre que cette influence n'a été au maximum que de 200 l. s. Aujourd'hui (fin juillet 1903), on s'est rapproché déjà de 54 l. s. du maximum de la même époque de 1902. On voit donc que les variations du débit des sources du tunnel sont absolument indépendantes des variations mensuelles des précipitations atmosphériques et leur maximum ne dépasse le minimum que d'un peu plus du 40 % de celui-ci. Je connais peu de sources qui présentent une variation aussi faible, avec une courbe aussi régulière, au moins parmi les sources sortant du calcaire et ayant, comme cela doit être le cas ici, des communications aussi directes avec la surface, ainsi que l'attestent la basse température et la nature des terrains traversés. (Voir les graphiques, pl. IV.)

Le cas du tunnel du col de Tende¹ dans les Alpes maritimes, sur la ligne de Cuneo à Vintimille, pourrait être cité à titre de comparaison, en vue de pronostiquer la marche que devrait suivre le régime des eaux rencontrées dans le tunnel du Simplon. Or les observations faites depuis la rencontre des sources dans le premier de ces tunnels, dès le mois d'octobre 1894 jusqu'au mois de mars 1898, montrent que ces venues d'eau qui se sont produites entre le Km. 2,588 et le Km. 3,058 de l'embouchure N., offrent des variations pouvant aller de 340 à 1000 l. s., donc dans une proportion qui est presque le triple du minimum observé en mars 1898 (maximum mai 1897). De plus, la courbe des variations présente deux maxima et deux minima. Le premier maximum le plus fort a lieu à l'époque de la fonte de la neige, au printemps (avril à juin); le second, qui peut dans certains cas dépasser le maximum vernal de la même année, a lieu en octobre et novembre et marche absolument de pair avec la quantité de pluie tombée. Il coïncide presque avec l'époque du maximum de celle-ci ou la suit de très près. De nombreuses petites irrégularités intermédiaires sont également en accord avec la quantité des précipitations atmosphériques dans la région. Conformément à la moindre épaisseur du terrain qui surmonte le tunnel du col de Tende (en moyenne 1000 m.), nous avons aussi des températures plus basses, soit environ 6° C. C'est cette moindre épaisseur du terrain sus-jacent qui peut être considérée comme étant la cause de la répercussion rapide des variations dans les précipitations atmosphériques sur les eaux entrant dans la galerie. Cette influence ne se produit aucunement au tunnel du Simplon; pourtant, malgré la plus grande épaisseur du terrain en superposition (1400 m.), la nature de celui-ci ne présente guère d'obstacle à un passage très rapide des eaux, ainsi que nous aurons encore l'occasion de le constater. L'absence du maximum d'octobre ne s'explique que difficilement, car les mois de septembre à novembre et souvent le mois d'août sont, après mars et avril, généralement les plus pluvieux de l'année.

Il n'y a en tous cas pas lieu de déclarer la structure du col de Tende comme étant en tout point semblable à celle de la région aquifère du tunnel du Simplon. Il est vrai que le profil géologique que fait ressortir la position du banc calcaire jurassique au milieu des schistes tertiaires, le ferait

¹ Studio geologico della Galleria del Colle di Tenda. *Boll. del R. Comitato Geologico d'Italia.* 1900. N° 1

admettre facilement. Au col de Tende, la région calcaire affleure au milieu d'une *dépression* ; le calcaire est de part et d'autre recouvert de terrains en partie perméables, au milieu desquels il s'étend comme un drain. Il est probable en outre que la pénétration des eaux superficielles se fait aussi par absorption en grand, par l'engouffrement d'eaux torrentielles dans des emposieux, d'où aussi la réaction rapide sur les eaux du tunnel. L'affleurement du calcaire n'est qu'une fraction du champ collecteur. Dans la région collectrice des eaux de la zone aquifère du tunnel du Simplon, il n'en est pas de même. Le calcaire absorbant forme une région *culminante* ou affleure sur un talus, et dans ce dernier cas, nous avons tenu compte de la surface recouverte par d'autres terrains au milieu desquels le calcaire peut faire l'office de drain. Malgré cela, nous ne parvenons pas à parfaire une superficie supérieure à 10 ou 11 km². Et pour expliquer un débit moyen de 1000 l. s., il faudrait admettre un champ collecteur de 20 à 22 km². Nous avons vu que la région qui peut seule être considérée comme étant le champ nourricier des sources du tunnel est de toute part entourée de terres riches en sources et eaux superficielles.

Il est évident que le captage de plus en plus profond d'une source, dont le cours souterrain constitue un vaste réseau de canaux pénétrant bien au-dessous de son orifice, *doit avoir pour effet d'en augmenter le débit, en élargissant la zone d'appel qui s'ouvre autour du point de captage en forme d'entonnoir*. Cela est manifeste lorsqu'il s'agit d'un terrain à perméabilité homogène, et alors la zone asséchée s'élargira avec la profondeur du point de captage. Ici cela n'a lieu que dans une certaine mesure. Cet effet ne peut se produire que dans la direction N.-E. et S.-W. dans le sens de l'alignement du banc calcaire. Mais dans la direction N.-W. et S.-E., la présence des terrains imperméables qui retiennent les eaux entrave l'action d'appel, comme aussi l'absorption à la surface. On l'a constaté, ce phénomène d'appel, par l'assèchement de la source du Schallbett et la réduction de celles de la vieille caserne qui se trouvent à près de 7 km. de distance horizontale du tunnel.

Mais en forçant même dans tous les sens l'effet en question, je ne saurais comment arriver à drainer ainsi une superficie recevant annuellement la quantité de 47 300 000 000 de litres de pluie nécessaires pour produire en raison des deux tiers d'eau absorbée (ce qui est certainement

exagéré) les 31 500 000 000 de litres d'eau sortant du tunnel pendant ce laps de temps. Il faudrait pour cela une superficie de 20 à 22 kilomètres carrés, sinon plus.

C'est ce motif qui m'a fait penser pendant longtemps que cette énorme affluence d'eau ne pourrait pas rester définitivement; qu'elle représentait, outre l'afflux normal de la région nourricière, encore un fort appoint provenant de l'accumulation d'eau contenue dans les fissures et cavités creusées dans le calcaire surtout, jusqu'à la hauteur des sources de Nembro qui fonctionnaient comme exutoire, ou du moins comme l'un des exutoires de l'eau souterraine. Cette hauteur est d'environ 600 m. On voit que cela représente, avec une section de 100 m., épaisseur moyenne du massif calcaire, et un développement longitudinal de 10 kilomètres, un volume de 600 000 000 de mètres cubes. En admettant que les vides dans ce rocher n'atteignent que 5 0/0, il y aurait ainsi place pour une réserve de 15 000 000 de mètres cubes. Il est bien possible que cette réserve ait existé, j'en suis même toujours persuadé, pour des motifs sur lesquels il y aura lieu de revenir; mais aujourd'hui, où, après plus de 20 mois, la montagne a vomi dans le tunnel plus de 45 000 000 de mètres cubes d'eau en ne comptant qu'à partir du 1^{er} octobre, moment où l'on a atteint la zone des grandes sources au Km. 4,400, le rôle que doit avoir joué ce réseau de fissures ou cavités, doit être considéré comme achevé ou près de l'être. Après la crue du printemps 1903, qui a fait augmenter le débit de 766 à 1150 l. s., nous devons constater que c'est là le résultat de l'établissement d'un régime sourcier normal. Cette crue se reproduira chaque printemps, après une décrue d'août ou de septembre à avril. Elle a été exagérée l'année dernière par le fait justement de la présence d'eau encore accumulée dans la montagne. Toutefois si nous tenons compte de la lenteur de l'écoulement des eaux souterraines, ce qui est attesté par la diminution si tardive des sources de la vieille Caserne, il semble qu'il y a encore de l'eau en réserve dans la montagne et que l'étiage de 1904 sera peut-être plus faible encore que celui de 1903.

A chaque crue, d'ailleurs, une partie de ces cavités se remplissent de nouveau, ce qui est attesté par l'augmentation de la pression à la source 32[„], si non la crue de l'eau serait beaucoup plus subite et plus forte; puis pendant les neuf mois qui suivent après le maximum, la vidange lente s'opère

de nouveau jusqu'à l'étiage d'avril. Les petites crues produites par les orages et les chutes de pluie ne se font pas sentir sur le débit; il faut la fusion rapide de la neige pour l'augmenter d'une manière appréciable. Sous ce rapport, il serait utile de faire des jaugeages journaliers.

Mais avec toutes ces considérations et constatations, nous n'avons pas encore résolu la question de la provenance de l'excès d'eau que le champ collecteur ne peut pas fournir, et dont l'origine par infiltration directe d'eau météorique est difficile à expliquer. Il semble en effet possible, comme nous l'avons déjà admis dans le rapport de 1902, que des eaux torrentielles provenant de la Cairasca parviennent à s'introduire dans les canaux souterrains aboutissant au tunnel. La température très basse de plusieurs des sources (34, 39, 39_{''}, 40_{''}, 32_{''}, etc.) témoignent d'un passage très rapide de l'eau venant des régions supérieures du massif rocheux surmontant le tunnel. La source 34, en particulier, malgré son débit très régulier, n'a cessé de se refroidir, très lentement, il est vrai; elle n'a recommencé à se réchauffer qu'à partir du moment de crue dès le mois de mai, sans cependant atteindre la température initiale et pour se refroidir bientôt de nouveau. Il semble que cette eau, pour arriver à une température aussi basse, passe avec une grande vitesse et avec un débit régulier de la surface jusque dans le tunnel, comme si elle cheminait dans une conduite sous pression. La disparition des sources sur le bord de la Cairasca et d'une source à proximité du ruisseau d'Alpien rendait extrêmement probable que ce surplus d'eau pouvait provenir de ces torrents. La similitude des eaux froides pénétrant dans le tunnel avec celles des sources de Straccioni et de la Prese di Gebbo permettent également de supposer une certaine relation entre ces deux eaux. Ensuite de cela, il fut décidé de répéter d'abord un essai de coloration sur la Cairasca et d'en pratiquer ensuite un autre sur le ruisseau d'Alpien, en supposant que sur la traversée du banc calcaire superposé au gneiss d'Antigorio près de la source disparue du Schallbett, il puisse y avoir une infiltration pénétrant dans le tunnel par la même voie que l'eau de la source tarie. Voici les résultats de ces essais.

a) Coloration de la Cairasca du 3 décembre 1902.

Il y avait en effet lieu de supposer que le résultat négatif de l'essai fait à la même date de l'année précédente était attribuable à la trop faible

quantité de matière colorante employée (fluorescéine 4 kg.) et à la courte durée du prélèvement des échantillons (pendant 10 jours), qui, examinés au fluorescope, n'ont pas permis de constater la fluorescence verte caractéristique.

Le nouvel essai a été fait avec 16 kilogrammes de fluorescéine soluble qui furent introduits dans la Cairasca au-dessous de la chapelle de la Croppalla, entre Nembro et Alpe di Veglia, le 3 décembre 1902, à 9 h. 45 du matin. L'introduction dura 15 minutes, le temps de vider la boîte. La colonne d'eau colorée n'est arrivée à la plaine de Nembro que vers 10 h. 30. Elle a mis trois heures pour traverser sous le pont de Campo, avec une coloration très intense. A 3 heures du soir elle arrivait à Straccioni. Ensuite de cet essai, on a prélevé dès le lendemain matin un échantillon d'eau tous les matins aux deux groupes de sources de Straccioni et de Prese di Gebbo pendant 15 jours. Au tunnel on a prélevé, pendant 30 jours, tous les jours deux échantillons, à 7 h. du matin et à 7 h. du soir, à la source 34 et au mélange des eaux dans la galerie II, près de la transversale XXI.

Le résultat a été le suivant :

L'eau des *sources de Straccioni* a été colorée du 7 au 9 décembre faiblement et d'une manière invisible à l'œil nu.

Les sources de *Prese di Gebbo* — échantillon pris au mélange des sources — ont montré de la fluorescence le 6, le 8 et le 10, chaque fois avec un jour d'interruption où il n'y avait pas trace de coloration. A moins d'admettre une confusion de la part de la personne chargée de recueillir les échantillons, il faut admettre que les différentes sources ont coloré successivement, la coloration ne durant au passage devant chaque orifice qu'un jour seulement, ce qui est très possible. L'intensité de la coloration allait en croissant du 6 au 10.

Les *sources du tunnel* observées deux fois par jour, *ont montré également de la coloration très nette et absolument incontestable*. Elle a apparu à la *source 34*, dans la galerie I, le 14 au soir, faiblement d'abord et a atteint le maximum le 15 au soir, pour disparaître avant le 16 au soir. Les premières traces visibles correspondent, d'après l'échelle de comparaison, avec des solutions titrées à la proportion de 1 : 10 milliardième. Le maximum du 15 au soir est presque exactement au titre de 1 : 300 000 000.

Dans le *mélange des eaux de la galerie II* (la source 34 exceptée), la fluorescence a apparu seulement le 17 décembre au matin, d'une façon très nette. Elle a dû apparaître peu après le prélèvement de l'échantillon de 7 heures soir le 16. Le maximum, correspondant à peu près au même titre que celui de la source 34, a été atteint le même jour à 7 heures du soir, puis suit une décroissance lente qui a duré jusqu'au 19 décembre au matin.

Ces trois constatations corroborent entièrement la supposition exprimée déjà dans le premier rapport *d'une relation possible entre la Cairasca d'une part, les sources de Gebbo et les eaux captées dans le tunnel d'autre part.*

Les pertes de la Cairasca qui ont lieu évidemment dans la région de la Scarpia et en amont de celle-ci, ne se bornent donc pas à contribuer à la création des sources gypseuses de Gebbo et à un contingent de sources invisibles, mais elles continuent leur parcours souterrain et viennent constituer un certain appoint aux eaux entrant dans le tunnel.

Quel est cet appoint ? C'est ce qui est difficile à dire ! Il est certainement regrettable qu'il n'y ait aucun moyen praticable pour connaître exactement le débit de la Cairasca. Il faudrait pour cela installer un système de jaugeage en amont de la plaine de Nembro, au-dessous de celle-ci, en amont du pont de Straccioni et au pont de Gebbo. Ces trois derniers seraient surtout utiles pour connaître la perte de l'eau qui doit se produire entre le deuxième et le troisième point, puis l'augmentation résultant de la pénétration des sources gypseuses. La différence en plus et en moins permettrait de juger si une partie de l'eau seulement des sources est due à des infiltrations de la Cairasca et si une partie ne retourne pas à la rivière, mais se rend dans le tunnel. Il y a en effet des motifs pour supposer que la Cairasca parvient à se mélanger aux eaux du tunnel par deux voies. D'abord directement, ce qui constitue en partie les sources froides ou isothermes peu dures (12-18° de dureté totale), disséminées entre les Km. 3,860 et 4,250, tandis que toutes les eaux gypseuses froides aux environs du Km. 4,400 seraient en relation avec le réseau sourcier de Gebbo et recevraient par cette voie un certain appoint d'eau de la Cairasca. On sait d'après les essais de coloration que j'ai pratiqués sur le ruisseau du marais de Baulmes¹ que les eaux du cours d'eau souterrain qui reçoit cette eau se

¹ Notice sur l'origine des sources vaclusiennes du Mont de Chamblon. *Bull. Soc. neuchât. des sciences naturelles*, XXVI. 1898. 211-229. 1 pl.

communiquent successivement à trois groupes de sources jaillissant au Mont de Chamblon près Yverdon et qui sont distants du lieu d'infiltration de 4, 5 et 6,5 km. Elles y parviennent successivement au bout de 40, 42 et 46 h. 30 m., à en juger d'après l'apparition de la fluorescence.

Nous ne devons donc pas être surpris de voir pénétrer l'eau du torrent par des voies diverses dans le tunnel. L'apparition de la fluorescence à deux jours de distance, douze et quatorze jours après la coloration du torrent, montre bien que l'eau suit dans les canaux diverses voies et qu'elle y chemine avec une vitesse extrêmement faible, vu que la distance de Gebbo à l'axe du tunnel au Km. 4,400 est suivant la pente du terrain aquifère de 3 km. 250 m. seulement, ce qui ne ferait que 1 km. en quatre à cinq jours.

On pourrait songer à déterminer approximativement la quantité d'eau du torrent qui pénètre ainsi dans le tunnel, en calculant, d'après l'intensité moyenne de la coloration des eaux du tunnel la quantité de fluorescéine y contenue et en rapportant cette quantité au volume correspondant de l'eau du torrent. Les eaux étaient colorées dans le tunnel dans la proportion moyenne de 1 : 500 000 000, ce qui représente pour un débit de 984 l. s., pendant 48 heures, en chiffre rond, 170 000 000 de litres, soit 340 grammes de fluorescéine. La colonne d'eau colorée de la Cairasca, avec 1500 l. s. environ, a mis trois heures pour traverser la zone d'infiltration, soit 14 kg. dans 162 000 000 litres d'eau. Ce serait donc 393 000 litres de cette eau qui auraient pénétré durant les trois heures dans le tunnel, soit la 41^{me} partie, comme 340 gr. est la 41^{me} partie de 14 kg. Réduite en litres-seconde, cette quantité d'eau représenterait 36 l. s. seulement. Ce n'est là évidemment qu'un calcul bien incertain, vu l'incertitude des bases sur lesquelles il repose. Il montre cependant, ce que la faible coloration fait ressortir, que la pénétration de l'eau de la Cairasca, qu'elle s'infilte directement ou par l'intermédiaire du réseau souterrain des sources de Gebbo, *ne représente tout au plus que le 2,5 % du volume de la rivière en ce moment donné.*

Ce résultat si positif nous explique aussi pourquoi l'essai de coloration, fait juste une année auparavant, a donné un résultat négatif. C'était parce que la quantité de matière colorante était trop faible et surtout parce que l'observation des échantillons n'a été continuée que pendant dix jours,

alors que la traversée de l'eau exige douze à quatorze jours. Lors de l'essai de coloration du 3 décembre 1902, la coloration devait nécessairement passer inaperçue pour l'œil non armé du fluorescope, la visibilité à l'œil nu cesse à partir de la dilution de 1 : 100 000 000, à plus forte raison, cela devait-il être le cas l'année précédente, où dans les mêmes conditions on n'avait opéré qu'avec le quart de matière colorante.

Afin de se rendre compte d'une manière plus précise encore du mode de pénétration des eaux dans le tunnel, on a procédé avec une quantité plus forte de matière colorante à un nouvel essai en profitant des basses eaux extrêmes d'avril.

b) Essai de coloration de la Cairasca du 2 avril 1903.

Le 2 avril, à 8 h. 30 du matin, j'ai introduit dans le torrent, au même endroit, sous la chapelle de la Cropalla, 25 kilogrammes de fluorescéine. Le débit du torrent était tout au plus de 800 l. s.; il ne m'avait jamais paru aussi faible. L'introduction n'a duré que quinze minutes, afin de produire une eau aussi colorée que possible. L'eau colorée est arrivée à la plaine de Nembro à 9 h. 35 m.; à midi, la cascade de Campo commençait à se décolorer.

Comme précédemment, on a prélevé des échantillons journallement aux sources de Straccioni et à celles de la Prese di Gebbo, dès le 3 avril au matin au 17 du même mois.

Dans le tunnel par contre, on a prélevé des échantillons pendant trente jours jusqu'au 2 mai. Pour connaître quelles sources sont spécialement influencées par l'eau de la Cairasca, ce prélèvement fut fait sur les douze sources principales du tunnel, soit les sources 8, 9, 34-39, 40, 31_„, 32_„, 34_„, 36_„, 37_„, 39_„ - 40_„, 41_„.

Les eaux de Straccioni ont réagi très fortement dès le 3 avril de bonne heure; la coloration a duré jusqu'au 11 avril, mais très faiblement. Quant aux sources de Prese di Gebbo, ce n'est que vers le 5 avril qu'une très faible coloration a été aperçue, et pendant un jour seulement. A Straccioni, la coloration était nettement visible à l'œil nu, dans le ruisseau. Elle correspondait donc à la dilution d'environ 1 : 100 000 000.

A ma grande stupéfaction, l'examen au fluorescope des 516 échantillons recueillis aux venues d'eau dans le tunnel, a donné *un résultat abso-*

lument négatif. La visibilité de la fluorescéine au moyen du tube noir et au soleil direct atteint 1 : 20 milliardième. Or, il m'a été impossible, malgré les conditions les plus favorables de l'observation, de découvrir la moindre trace de coloration dans aucune des douze séries d'échantillons prélevés. Etant donné que l'essai du 3 décembre 1902, avec bien moins de matière colorante et par un débit environ double de la Cairasca, a conduit à un résultat si nettement positif, il faut donc conclure *qu'à l'étiage extrême de la Cairasca, l'eau de ce torrent se mélange bien aux eaux souterraines formant les sources de Straccioni et Gebbo, mais à ces dernières avec une proportion bien moindre ; par contre, aucune eau de ce torrent ne pénètre dans le tunnel dans la zone aquifère entre les Km. 3,860 et 4,421, du moins dans une proportion observable.* Etant donné que 25 kg. de fluorescéine mettant 3 heures environ pour traverser la zone d'infiltration présumée, dans un cours de 800 l. s., cela fait un volume de 86 000 000 de litres, soit une dilution au 1 : 3 500 000 ; *il aurait donc suffi de la trois millième partie de cette eau pour être visible dans le tunnel, car au 1 : 10 milliardième la fluorescence se voit encore fort bien, avec un tube de 40 cm. de long.* La proportion de l'infiltration de la Cairasca était donc inférieure à 1 : 6000, la limite de la visibilité au fluoroscope étant de 1 : 20 milliardième. Ce résultat surprenant apporte donc un renseignement des plus précieux, *l'indépendance des eaux du tunnel et de celles de la Cairasca au moment de l'étiage extrême de celle-ci, et la continuation de l'influence sur les sources de Straccioni, avec effet presque imperceptible sur celles de Prese di Gebbo.*

Ces faits ne sont pas absolument insolites. J'ai constaté, lors d'un troisième essai de coloration, aux sources du Mont de Chamblon, que pour l'un des groupes de sources, celui du Moulinet, formé d'orifices occupant deux niveaux, quoique débitant la même eau, la coloration n'a pas été égale ; les eaux du niveau inférieur seules furent teintées, les supérieures restèrent incolores. Cet essai a été fait en temps de sécheresse et le trajet de Baulmes à Chamblon a duré alors 150 heures, au lieu de 40-42 heures. Lors des deux essais précédents, faits en eaux moyennes, les deux niveaux de sources furent également teintés.

Il y a là quelque chose d'analogue avec ce qui s'est passé sur le cours de la Cairasca. Aux basses eaux, la rivière se mélange dans une forte proportion aux eaux de Straccioni et n'influence que très faiblement les sources

de Prese di Gebbo et dans une proportion imperceptible ou pas du tout les eaux du tunnel. Cette circonstance me permet de présumer que *c'est précisément en partie par l'intermédiaire du réseau souterrain des sources de Gebbo que l'eau de la Cairasca pénètre dans le tunnel*. Cela paraît encore appuyé par la forte teneur en gypse de ces eaux, dont la variabilité est sensiblement la même. Lorsque les sources de Prese di Gebbo restent indemnes ou peu colorées, les eaux du tunnel sont dans le même cas. Du reste, rien ne serait plus facile à expliquer que le résultat exceptionnel constaté lors de ce nouvel essai, en admettant que c'est *par débordement latéral* que l'eau de la Cairasca pénètre dans le cours sourcier et qu'au moment des basses eaux ce débordement ne peut pas se produire. Mais nous savons que les pertes doivent se produire sur le *fond même du torrent*; la réaction des sources de Straccioni le prouve.

Il est possible, d'autre part, qu'un torrent peut, au milieu d'un terrain perméable, se créer un chenal étanche, par l'obstruction des interstices au moyen du limon qu'il charrie. Ainsi aux basses eaux le torrent visible peut ne pas communiquer avec l'eau contenue dans les interstices du sous-sol perméable. C'est alors comme deux cours d'eau coulant l'un sur l'autre, sans communication, et l'on s'explique alors fort bien comment un essai de coloration pratiqué aux basses eaux sur le torrent *superficiel visible*, peut donner des résultats aussi surprenants, si ce n'est alors que le *cours souterrain qui communique avec le réseau sourcier*. Ce dernier peut donc, dans ce cas, rester absolument indemne!

Le grand massif calcaire qui forme le seuil de la cascade de Campo, ne fournit aucune source visible. L'escarpement descend apparemment bien au-dessous du niveau du remplissage d'alluvion et de moraine qui forme la plaine de Nembro. Une source importante *doit nécessairement sortir de ce massif* qui est superposé aux schistes lustrés jurassiques et supporte une forte assise de gneiss. Puisque cette source n'est pas visible à la surface, elle doit jaillir sous les alluvions et son eau peut, ou bien se mélanger peu à peu à celle du torrent, ou bien suivre longtemps, séparée de celui-ci, dans un cours souterrain au milieu des alluvions, comme nous venons de le définir. Dans ce cas, il est également possible qu'aux basses eaux l'eau du torrent reste indépendante de l'eau souterraine et que, non influencée par la coloration, cette dernière, cheminant dans les alluvions, peut pénétrer

dans les voies d'eau du tunnel, ou encore dans celles des sources de Gebbo, sans réagir visiblement. J'ai eu l'occasion de voir des exemples de ce genre à plusieurs reprises ¹.

Il a été prouvé par l'essai de coloration du 2 avril, qu'aux très basses eaux le torrent superficiel de la Cairasca n'influence pas les eaux du tunnel et si la situation est bien réellement comme je la suppose, l'appoint d'eau que le champ collecteur superficiel des eaux du tunnel ne peut fournir, doit provenir de ce cours cheminant dans les alluvions et dans lequel s'introduisent probablement encore d'autres sources que celles que nous supposons. La position de cette source au-dessous du remplissage d'alluvion au pied de la cascade de Campo est indiquée sur la planche IV.

Il était donc ordonné de pratiquer un troisième essai de coloration, cette fois en eaux moyennes, en vue de connaître par quelles voies d'eau, outre la source 34, les eaux du torrent pénètrent dans le tunnel.

c) Essai de coloration de la Cairasca du 9 juin 1903,

Cette expérience a de nouveau été pratiquée avec 25 kg. de fluorescéine soluble qui furent introduits dans la Cairasca au même endroit, dans la gorge de la Cropalla, sous la chapelle, entre 2 h. 45 et 2 h. 55 après-midi. Malheureusement, le torrent était extrêmement volumineux par deux jours de pluie ininterrompue et la fonte de la neige. Il y avait 4 à 5 mètres cubes par seconde au moins et plus bas tous les torrents grossis firent monter son volume à 7 et 8 mètres cubes par seconde près de Gebbo. D'où la nécessité d'introduire la matière colorante très rapidement. Aussi l'avancement de la colonne colorée fut extrêmement rapide, au bout de 20 minutes elle atteignit la plaine de Nembro; à 3 h. 30 elle était déjà au bas de celle-ci, à l'entrée de la gorge de la Scarpia, et à 6 h. du soir elle avait

¹ A la Verrière, dans les gorges de l'Areuse, une source jaillissant autrefois sur la rive gauche de la rivière s'est retrouvée intacte sur la rive droite, après que par des travaux de correction et d'endiguement le lit de celle-ci fut déplacé. Cette source jaillit dans les alluvions et le remplissage morainique de la vallée d'érosion et reçoit en outre le trop plein d'une autre source située sur la rive gauche et qui doit passer conséquemment par-dessous le lit de l'Areuse. — Un autre exemple est fourni par la source du Pont-de-Pierre sur Montreux, dont la nappe collectrice se trouve *au-dessous* du lit de la Baye de Montreux, où elle a été atteinte par des galeries, à moins de 6 m de profondeur, dans le remplissage morainique graveleux et sableux. Aucun des nombreux essais de coloration, pratiqué sur le torrent de la Baye, n'a influencé en quoi que ce soit ce cours souterrain. Le lit du torrent est donc absolument étanche.

déjà dépassé le village de Varzo. Lors de tous les essais précédents, la rapidité de la progression était à peine le tiers ou le quart de celle-ci.

Le prélèvement des échantillons fut pratiqué, comme précédemment, pendant 30 jours sur les 12 sources du tunnel détaillées plus haut. Aux sources de Straccioni et de Prese di Gebbo, le prélèvement fut réduit à 10 jours, en prenant toutefois pendant les 5 premiers jours deux épreuves par jour, à 5 heures du matin et à 5 heures du soir. Le résultat fut passablement différent de celui du 3 décembre 1902, mais, comme il fallait s'y attendre, aussi positif que celui-ci.

Aux *sources de Straccioni*, la fluorescence, visible seulement avec le fluorescope, fut observée dès le 10, à 5 h. du matin, à la dilution de $\frac{1}{80}$ millionième et cela pendant deux jours, jusqu'au 11 juin au soir. Aux eaux de la *Prese di Gebbo*, la coloration n'a été visible que sur l'échantillon du 10 juin à 5 h. du soir, très nettement aussi, mais c'est le résultat aux sources du tunnel qui a été la vraie surprise.

La *source 34*, la première, a été colorée déjà le 11 juin au matin, puis la fluorescence a disparu jusqu'au 17, où elle s'est montrée très faiblement le matin pour disparaître le soir. Du 18 au soir jusqu'au 19 au matin, nouvelle coloration, cette dernière très nette et correspondant à la dilution d'environ un milliardième, les autres étaient encore plus faibles.

Source 39 (38-39 réunies) a présenté une faible fluorescence le 19 au soir

Source 40. Observé une faible fluorescence perceptible le 11 juin au matin.

Source 31 . La fluorescence apparaît à la limite de la visibilité, mais encore certaine (soit $\frac{1}{10}$ milliardième) dès le 14 au matin, elle s'accroît en intensité jusqu'au 16 au soir, disparaît le 17 au matin, pour reparaitre le 17 au soir; nouvelle disparition le 18 au matin, puis le soir nouvelle coloration très nette, comme le 16 au soir (1 milliardième) qui se continue jusqu'au 19. A deux reprises encore, de très faibles traces sont devenues perceptibles le 20 et le 21, au soir seulement, alors que le matin il n'y en avait pas. La durée de coloration a donc été du 14 juin au matin au 21 au soir avec plusieurs interruptions.

Source 32 , n'a été colorée perceptiblement ($\frac{1}{10}$ milliardième) que le 19 et le 20 juin.

Source 34 „ . Coloration faible le 17 au soir qui devient très nette le lendemain (1 milliardième) et suit une marche décroissante lente jusqu'au 22 le matin, pour disparaître définitivement.

Source 36 „ . Coloration certaine, mais faible ($\frac{1}{10}$ milliardième), le 17 au soir; puis de nouveau le 21 au matin et le 22 au soir, entre deux absences complètes, ou du moins impossibilité de constater la coloration.

Source 37 „ . Coloration faible, mais certaine, du 11 au 12, puis du 16 au 17. Rien visible le 18 au matin. Réapparition de la coloration le soir du 18, avec augmentation jusqu'au 19 au soir (intensité un peu plus forte que 1 milliardième); rien le 20 au matin; coloration nette le 20 au soir; traces à peine perceptibles le 21, le 22 et le 23 au matin, mais non le soir.

Sources 39 „ -*40* „ . Traces très faibles (moins de $\frac{1}{10}$ milliardième) le 11, le 19, le 20 et le 21, chaque fois le matin.

Source 41 „ . Coloration très nette le 11 au matin, puis le 15 au matin; le 16 et le 17 au soir plus faible et de nouveau le 20 au matin, enfin du 21 au soir au 22 au matin, sauf le 11 et le 15 où la coloration a atteint le 1 milliardième.

Source 8. Cette source, en dehors du groupe des eaux gypseuses froides, fait partie des eaux à faible dureté des environs de la transversale IX (sources 5, 6, 7, 8, 11a), a fourni un renseignement des plus précieux. *Elle a commencé à colorer dès le 16 au soir*, pour atteindre le maximum (1 milliardième) le 18 et le 19, avec un léger affaiblissement le 19 au soir.

Source 9. Aucune trace de coloration.

La coloration, comme on le voit, a été beaucoup plus faible que lors de l'essai du 3 décembre 1902, où le maximum a atteint $\frac{1}{500}$ millionième. Etant donné qu'alors la quantité de matière colorante n'a été que de 16 kg. et que la Cairasca était, le 9 juin, par contre près de trois fois plus volumineuse, si non plus, et les sources plus fortes aussi, on s'explique sans peine cette faible coloration des eaux du tunnel qui n'a guère dépassé 1 milliardième, soit le tiers environ de la coloration du 3 décembre. Cette faible coloration aux confins de la limite de visibilité a même permis d'apprécier les fluctuations singulières de la coloration de certaines sources (41 „ , 31 „ 37 „) et qui semblaient suivre, pendant quelque temps, une périodicité diurne. Je ne puis admettre une erreur d'observation, les diffé-

rencés étant trop nettes. Même en se servant d'un autre tube, le résultat était le même. Il s'ensuit qu'il faudra trouver une explication à ce phénomène qui, avec des colorations plus intenses et continues, aurait probablement passé inaperçu ou aurait paru moins frappant.

Le fait qui surprend le plus dans les résultats de ce nouvel essai et qui est en opposition absolue avec l'essai du 3 décembre 1902, c'est *la rapidité de la transmission de l'eau de la surface jusqu'au tunnel*. Les sources 34, 40, 31_„, 39_„, 40_„, 41_„, cette dernière et la première surtout, contenaient déjà de la fluorescéine le 11 juin au matin, donc 40 heures après l'introduction et probablement déjà avant. Malheureusement, le prélèvement des échantillons n'a été pratiqué que le matin pendant les six premiers jours, en sorte que nous ne savons rien sur l'état de l'eau le soir du 10 juin. Cette rapide transmission, après les indications de l'expérience du 3 décembre, est tout à fait surprenante, d'autant plus que la source 34, par exemple, n'avait guère augmenté de volume. Elle prouve *qu'aux hautes eaux l'eau de la Cairasca pénètre jusqu'au tunnel en moins de 40 heures*.

Puis on est frappé de l'apparition presque générale de la coloration à peu près à toutes les sources entre le 16 et le 20; à quelques-unes déjà le 14 ou le 15, avec le maximum de coloration vers le 18 ou 19; puis continuation ou retour pour quelques-unes jusqu'au 22 ou 23. La principale et plus forte coloration a donc pris 9 jours environ pour se produire, le phénomène entier était terminé le 23 au plus tard; au bout de 14 jours le renouvellement de l'eau s'est accompli au moins dans la mesure où la fluorescence nous permet de le constater. Du côté du N.-E., entre la vallée de la Cairasca et le tunnel, *le système de canaux souterrains est donc parcouru par un courant qui met 14 à 17 jours pour se renouveler complètement*. Cependant, par une partie des canaux, le parcours direct se fait au moment des hautes eaux en moins de 40 heures.

La réapparition de la coloration aux sources 34, 39_„ et 41_„, après une première coloration le 11, s'explique par le passage de l'eau d'infiltration par des canaux lointains qui, n'étant pas sous pression par la crue, exigent presque le même temps pour la transmission qu'aux eaux moyennes. Cette réapparition coïncide d'ailleurs avec la coloration générale de presque toutes les sources.

Reste encore à trouver la cause des oscillations diurnes de l'intensité

de la coloration de plusieurs sources (31[„], 34, 41[„], 36[„] et 37[„]). Il est possible que ce soit l'effet de l'affluence des eaux de fusion de la neige qui, chaque jour avec l'accentuation diurne dilue davantage l'eau colorée au même moment de la journée et rend la coloration invisible. Toutefois la constatation de l'absence de toute influence par la variation, pourtant très considérable, des précipitations atmosphériques sur le débit des eaux du tunnel, s'oppose à l'admission de cette hypothèse. Je pense plutôt que ce phénomène est attribuable au fait que l'eau colorée, pour parvenir au tunnel, parcourt une série de canaux dans lesquels elle se partage; chaque canal en se vidant successivement amène un retour de coloration, après l'extinction de celle produite par un autre canal, jusqu'à ce que le contenu de tous se soit renouvelé.

La coloration de la source 8, tout en dehors du groupe des eaux froides gypseuses (groupe III), prouve qu'une partie de l'eau de la Cairasca et de celle qui pénètre dans le tunnel traverse la montagne en dehors des gîtes gypsifères sous-jacents au gneiss d'Antigorio. Ces filons passent à travers les fissures du gneiss. Les autres filons, notamment les grandes sources près du Km. 4,400, sont évidemment en connexion avec le réseau souterrain des sources de Straccioni et de la Prese de Gebbo; ils suivent en tous cas les mêmes couches où celles-ci s'enrichissent en sulfate de chaux, avant de pénétrer dans le tunnel.

L'indifférence de la source chaude n° 9 prouve que cette eau suit une autre voie que les eaux froides et la source 8 si voisine; son eau provient, comme celle des sources chaudes de la galerie II, de la région située au S.-W. du tunnel; elle ascend de bas en haut, tandis que toutes les autres sources viennent de haut en bas. Avant l'abaissement du niveau de l'eau souterraine, sa pression était influencée par celle de la nappe souterraine indiquée par l'orifice des sources de Nembro. Elle sortait au début avec un fort mélange d'eau froide et moins dure, de même que les sources 5-8 et la source 11 sortaient jadis avec une forte proportion d'eau gypseuse. Les travaux souterrains du tunnel ont opéré une stricte séparation entre les deux eaux.

d) Essai de coloration du ruisseau d'Alpien, le 27 janvier 1903.

On a décidé de faire cet essai en supposant que sur le parcours à travers le massif calcaire, ce ruisseau subisse une perte pouvant pénétrer dans le tunnel par les voies abandonnées de la source tarie du Schallbett.

Dans ce but, j'ai introduit dans ce ruisseau, le 27 janvier 1903, à 1 h. de l'après-midi, 14 kg. de fluorescéine soluble, un peu en amont du pont de Sylva, sur le pâturage d'Alpien. Le ruisseau avait un débit d'environ 150 l. s. seulement. La coloration était donc très intense. La progression de la couleur était très lente; ce n'est que pendant la nuit qu'elle a atteint la Diveria, et le 28 à 7 h. du matin, elle devint visible à Iselle près de l'embouchure du tunnel. La coloration s'est maintenue plusieurs jours dans l'eau de cette rivière, vu le renouvellement lent de l'eau des cuvettes sur le ruisseau d'Alpien. L'eau potable de l'entreprise était aussi colorée par suite d'une jonction mal fermée entre la conduite d'eau potable du Rovale et la conduite motrice actionnée par la Diveria.

Les échantillons, prélevés comme pour l'essai du 3 décembre 1902, ont donné un résultat absolument négatif. Ce résultat prouve en même temps que la Diveria, pas plus que le ruisseau d'Alpien, ne fournissent de l'eau aux sources du tunnel.

Erosion souterraine sur le parcours des eaux.

Nous ne pouvons clore ce rapport sans exprimer quelques considérations sur l'effet que doivent produire, sur les roches solubles traversées, les eaux superficielles presque chimiquement pures. Ces eaux sortent dans le tunnel avec une saturation considérable, représentée, d'après les données de p. 53, par plus de 1 gramme de matière solide calcinée par litre et par près de 1,3 gr. à l'état anhydre à 150°. Admettons, pour simplifier le calcul, une quantité moyenne de 1 gr., ce qui est plutôt faible, et nous trouverons, en appliquant le calcul déjà fait à propos des sources de Gebbo, que cela représente un volume tout à fait surprenant.

En effet, avec un débit moyen de 1000 l. s., les sources entrant dans le tunnel enlèvent à la montagne annuellement 31 536 000 kg. de sulfate de chaux anhydre, soit 31 536 tonnes, ou 10 874 mètres cubes. L'accroissement des cavités souterraines doit donc marcher avec une rapidité très

considérable et il ne faut pas s'étonner que peu à peu, sur le parcours de ces eaux, il se produise des tassements et des effondrements, comme ceux que nous avons signalés dans la vallée de la Cairasca près de Gebbo. Le résultat le plus fâcheux sera, sans doute, l'élargissement que subiront les canaux eux-mêmes qui amènent l'eau dans le tunnel. Heureusement que ces canaux ne sont point dans l'anhydrite ou dans le gypse, mais dans le calcaire, dont la solubilité est bien moindre. Il y a lieu d'espérer, au contraire, que peu à peu certaines de ces ouvertures s'obstrueront en contribuant à une régularisation du débit, comme l'état actuel de la variation du débit semble le prouver. D'ailleurs, il y a lieu de supposer que la lessivation du rocher gypseux se fait à une distance assez grande du tunnel, en tout cas bien au-dessus de celui-ci, ce qui ressort de la température très basse des sources. La rapidité du trajet, depuis la Cairasca jusque dans le tunnel, montre encore combien la dissolution de l'anhydrite et du gypse se fait promptement. Le limon micacé et argileux que ces eaux charrient dans le tunnel est le résidu de la dissolution du gypse et en partie aussi du calcaire. Je citerai à cette occasion un exemple des plus frappants de lessivation souterraine du gypse par l'eau d'une source.

C'est celui de la Schwarzeggquelle et du Mehlbach, sur Kerns, dans le canton d'Unterwald. La source du Schwarzegg jaillit avec un degré hydrotimétrique total de 19° à la cote 1112 m., au-dessous de la pointe calcaire du Arvigrat. A peine sortie de terre, cette eau se perd dans une masse de gypse et d'anhydrite totalement crevassée; et elle ressort environ 140 mètres plus bas, à une distance horizontale de 500 m. environ, presque avec le même débit, mais sous la forme d'une eau toujours blanche, d'où le nom de Mehlbach que porte le ruisseau qu'elle alimente. Sa dureté dépasse 120°, ce qui correspond à 1,5 gr. de gypse anhydre par litre. Le débit de cette source n'est que de 50 l. s. environ, ce qui représente une masse de rocher dissout égalant un poids de 2364 tonnes ou un volume de 810 mètres cubes par an. Une si forte corrosion, sur un trajet aussi court, est vraiment exceptionnelle et doit représenter l'extrême degré de cette activité souterraine. Tout le rocher autour de cette source est en voie d'effondrement.

Rappelons encore que nos constatations concernant le degré hydrotimétrique de la Cairasca, à l'aval des sources de Gebbo, a montré que le débit visible de celles-ci n'est qu'une partie seulement de l'eau gypseuse qui se

joint au torrent. Ce débit doit représenter au moins autant que celui des sources visibles. Nul doute que ce sont les eaux provenant de la rive gauche de la Cairasca qui rejoignent invisiblement le cours de la rivière. Il y aurait donc lieu de doubler le volume de sulfate de chaux dissous annuellement, et au lieu de 6307 tonnes, c'est 12 600 tonnes de gypse anhydre, donc 4000 mètres cubes, que la montagne perd par ce fait annuellement. Avec ce que dissolvent les eaux entrant dans le tunnel, cela fait près de 15 000 mètres cubes.

Ces faits expliquent en outre pourquoi on rencontre si rarement, dans les hautes régions des montagnes, du massif du Simplon en particulier, des gisements affleurants de gypse (anhydrite), alors que dans la perforation du tunnel, du côté de Brigue comme du côté d'Iselle, on en a rencontré des massifs fort épais. La rareté de tels gisements dans les hauteurs, au milieu de roches peu solubles, s'explique donc facilement par la lessivage produite par les eaux d'infiltration à peine minéralisées, ou bien encore par celles des eaux torrentielles s'épanchant souterrainement dans les gisements de gypse, comme celles de la Cairasca près de Gebbo. Nombre d'affaissement de rochers, considérés comme résultant de phénomènes tectoniques, sont peut-être attribuables à cette influence.

* * *

Ce rapport est devenu bien plus volumineux que cela n'était prévu. Ce n'est en somme pas un rapport supplémentaire, mais plutôt un rapport définitif, amplement documenté, complétant les renseignements contenus dans le rapport de février 1902 et rectifiant les conclusions de celui-ci. A ce titre, le premier rapport ne doit être jugé que comme un message préliminaire.

Il est possible aujourd'hui de formuler des conclusions définitives, basées sur une longue série d'observations et des recherches nouvelles.

Conclusions.

1. Les eaux pénétrant dans le tunnel du Simplon du côté d'Iselle, entre les Km. 3,830 et 4,420, appartiennent à trois groupes bien distincts. Des eaux chaudes, des eaux isothermes et des eaux froides.

Les premières parcourent une zone au-dessous du niveau du tunnel; les dernières au contraire viennent rapidement d'une région supérieure à travers le calcaire. Le deuxième groupe est constitué en partie par des fuites de ce dernier, en partie aussi par des eaux indépendantes traversant le gneiss.

2. Le niveau de l'eau souterraine, avant son captage par les travaux des deux galeries du tunnel, s'élevait à une hauteur d'environ 650 m. au-dessus de celui-ci. Alors les diverses eaux coulaient, soit mélangées, soit indépendantes, dans les canaux souterrains. Leur circulation est la cause de la température plus basse du rocher dans le tunnel à l'approche de la région aquifère.

3. La circulation des eaux en thermosiphon était précisément actionnée par cet emprunt de chaleur. La percée du tunnel a provoqué une modification complète, en séparant les diverses eaux et en faisant appel d'eau sur une zone s'étendant à 3 km. au N.-E. et à 7 km. au S.-W. de l'axe du tunnel, attirant, outre l'eau circulant déjà dans la région immédiate, un volume beaucoup plus considérable emprunté à des sources disséminées sur une grande surface.

4. Il est résulté de cet appel d'eaux froides, un refroidissement rapide du rocher qui se fait sentir avec d'autant plus d'intensité qu'on se rapproche davantage du Km. 4,400 où pénètrent les grandes sources froides.

5. Le débit moyen des eaux de cette zone aquifère qui est d'environ 1000 l. s. ne peut s'expliquer par la pénétration normale d'eaux météoriques à la surface d'un champ nourricier qu'il est possible de délimiter par son caractère de « région sèche ». Sa surface est de 10 à 11 km² et ne pourrait produire que les 50-60 % de l'eau pénétrant dans le tunnel.

L'appoint doit être considéré comme provenant, soit du torrent de la Cairasca, soit de sources invisibles coulant sous le remplissage d'alluvions et de moraine de la plaine de Nembro et qui pénétraient jadis dans ce torrent, ou dans le bassin sourcier de Gebbo.

6. Il doit y avoir une relation étroite entre les eaux de ce dernier groupe de sources et la Cairasca d'une part et les eaux pénétrant dans le tunnel d'autre part.

L'eau du torrent superficiel de la Cairasca se mélange en permanence aux eaux souterraines de Gebbo, de même aussi aux eaux du tunnel, excepté au moment de très basses eaux du torrent.

7. Le débit visible des sources du Gebbo n'est qu'environ la moitié de

l'eau gypseuse qui pénètre dans la Cairasca normalement, dans la zone d'émergence de ces sources,

Ces dernières enlèvent à la montagne annuellement plus de 12 000 t. (4000 m³) de sulfate de chaux ; les eaux entrant dans le tunnel plus de 30 000 t. (10 000 m³).

8. D'après les variations du volume observé depuis plus de 18 mois et d'après les phénomènes thermiques qui se sont produits aux sources entrant dans le tunnel, soit dans le rocher ambiant, et d'après les résultats des essais de coloration, ayant montré la facilité de pénétration des eaux torrentielles dans les voies sourcières, on doit conclure aujourd'hui que le débit des eaux de la zone aquifère, notamment des grandes sources froides, ne se modifiera plus considérablement. Elles varieront de 700 à 1150 l. s., c'est-à-dire dans la proportion d'environ 35 % du maximum. Il est même à craindre que l'élargissement des canaux d'arrivée ne force les écarts entre le maximum et le minimum, comme aussi l'obstruction de ces canaux, ensuite de tassements et d'éboulements souterrains, peut avoir au contraire un effet régulateur sur le débit.

9. Les grandes sources de la zone aquifère, près du Km. 4,400. n'ont pas les caractères de sources vaclusiennes. Leur eau ne circulait dans le niveau du tunnel avant leur captage, qu'en vertu de l'échauffement dû au contact avec les couches profondes du rocher. Tandis que le débit des sources vaclusiennes est influencé très directement par les précipitations atmosphériques, même par des orages isolés, les eaux pénétrant dans le tunnel ne présentent qu'une seule phase de variation annuelle, dont le maximum a lieu en juillet au moment de la fonte de la neige et le minimum en avril. Cette crue doit résulter d'une hausse du niveau des eaux souterraines, dans les canaux vidangés pendant la période de baisse ; c'est donc le résultat d'une augmentation de la charge. (Crue piézométrique.)

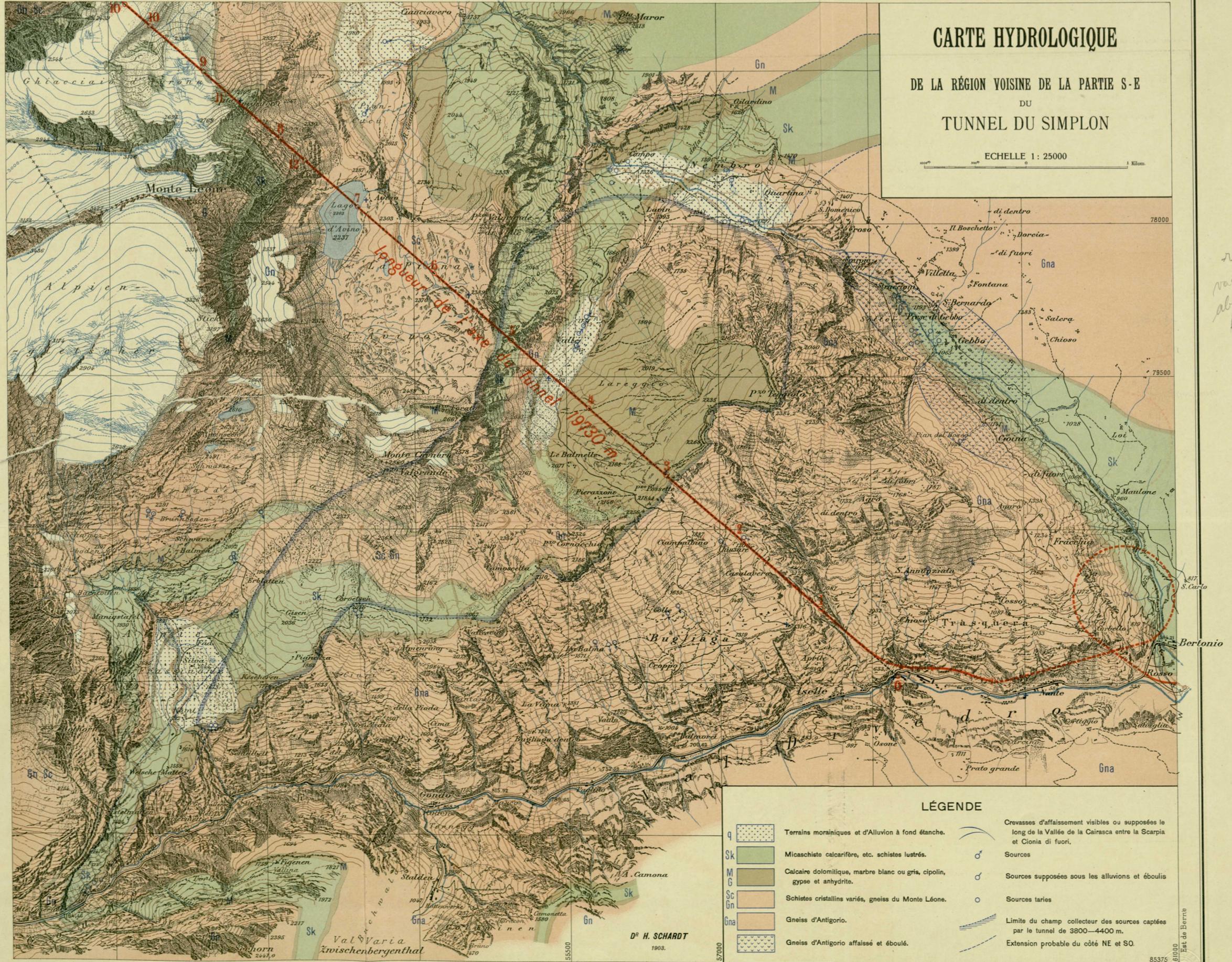
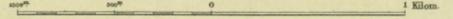
VEYTAUX, au commencement d'août 1903.

Dr H. SCHARDT, Prof.

CARTE HYDROLOGIQUE

DE LA RÉGION VOISINE DE LA PARTIE S-E
DU
TUNNEL DU SIMPLON

ECHELLE 1 : 25000



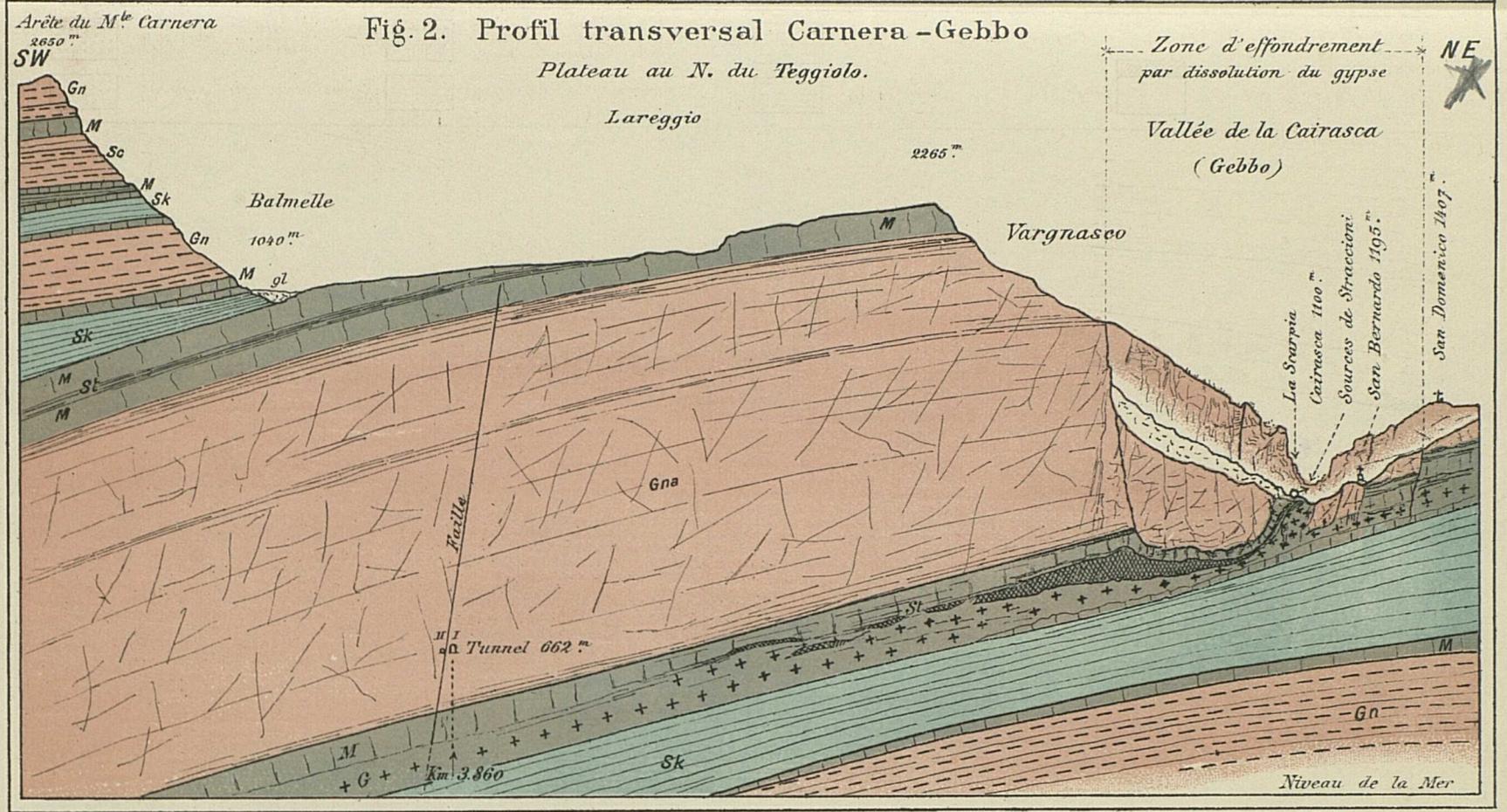
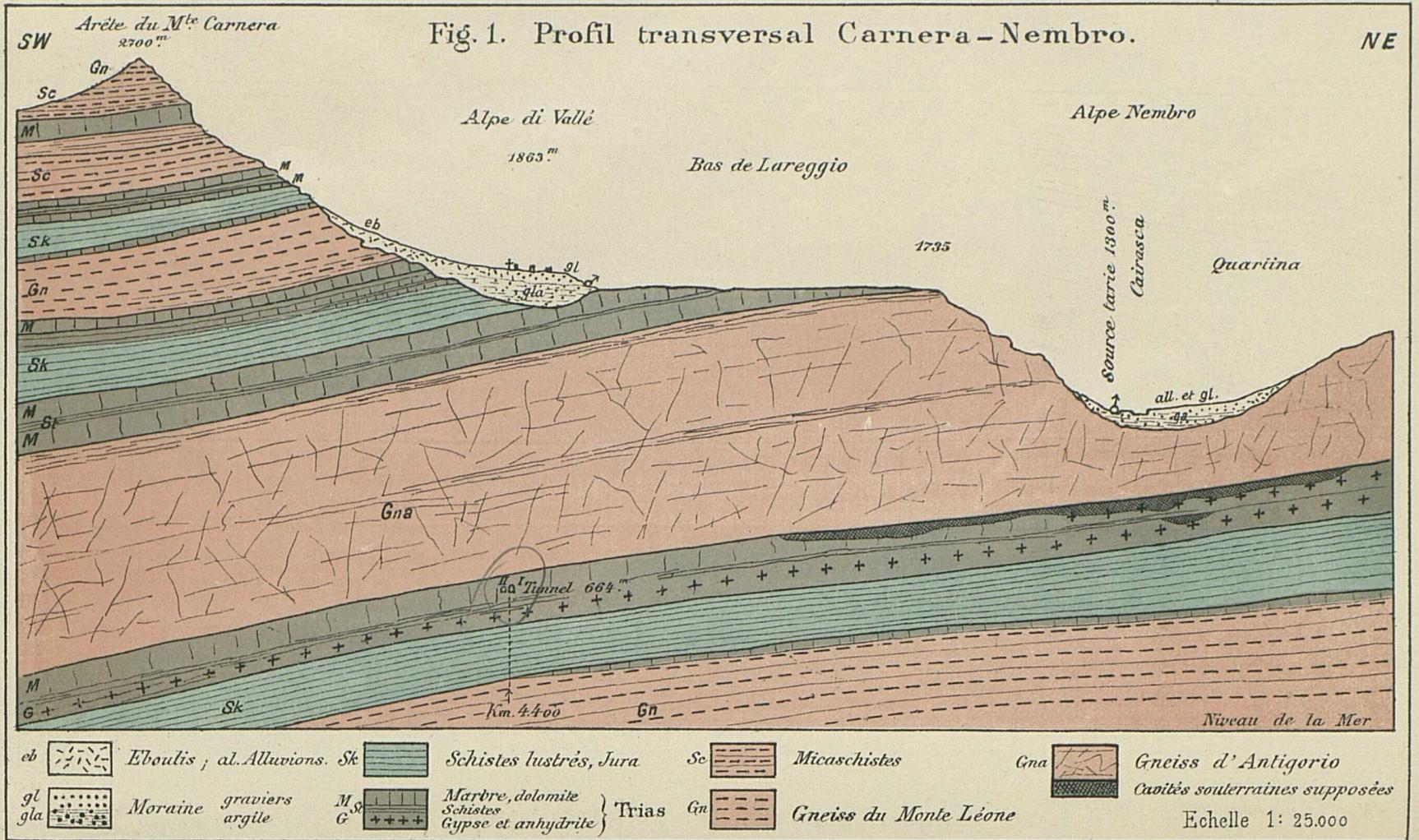
*recopier
reprendre les
abords du
tunnel (grande?)*

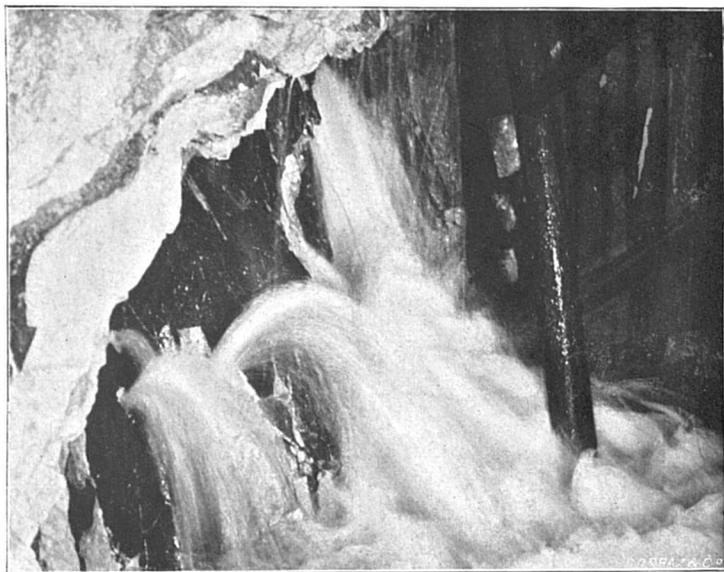
LÉGENDE

- q Terrains morainiques et d'Alluvion à fond étanche.
- Sk Micaschiste calcaireux, etc. schistes lustrés.
- M Calcaire dolomitique, marbre blanc ou gris, cipolin, gypse et anhydrite.
- Sc Schistes cristallins variés, gneiss du Monte Léone.
- Gn Gneiss d'Antigorio.
- Gna Gneiss d'Antigorio affaîssé et éboulé.
- Crevasses d'affaissement visibles ou supposées le long de la Vallée de la Cairasca entre la Scarpia et Cionia di fuori.
- ♂ Sources
- ♂ Sources supposées sous les alluvions et éboulis
- o Sources tarées
- Limite du champ collecteur des sources captées par le tunnel de 3800-4400 m.
- Extension probable du côté NE et SO.

D^r H. SCHARDT
1903.

85375
Sud de Bernes

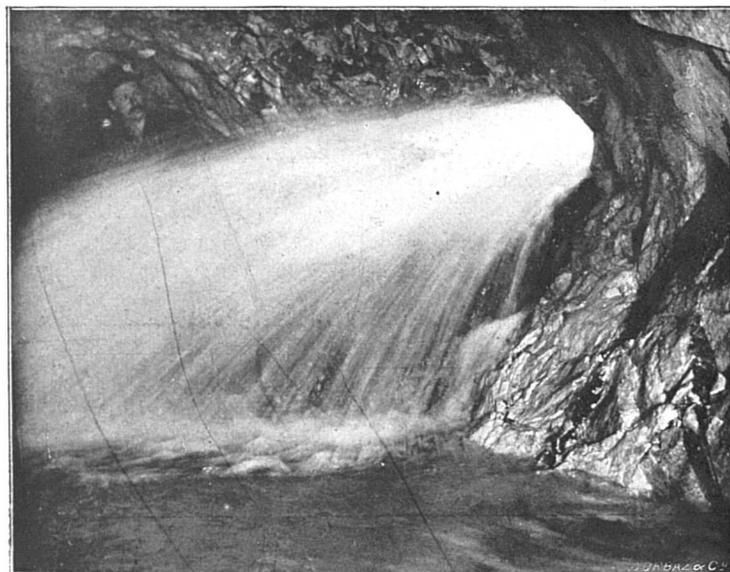




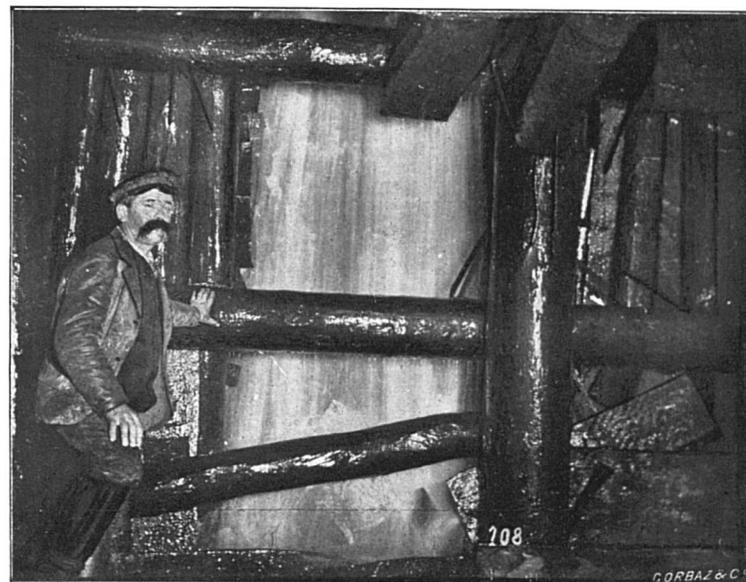
Phot. Pressel.
Transversale XXI B. Sources 40 b, le 21 janvier 1902.



Phot. H. Sch.
Galerie II. Source chaude 18 a, le 3 avril 1903.



Phot. Gilardi.
Transversale XXI A. Source 32 a, janvier 1902.



Phot. H. Sch.
Galerie II. Source 41 a, le 3 avril 1903.

RAPPORT SUPPLÉMENTAIRE

SUR LES

venues d'eau rencontrées dans le tunnel du Simplon

du côté d'Iselle.

Le présent rapport supplémentaire a pour but de faire connaître les résultats des recherches poursuivies depuis la remise du rapport de janvier 1902. Les conclusions de celui-ci tendaient à admettre que, vu l'abaissement progressif de la température et de la dureté de l'eau des grandes sources jaillissant du calcaire sous-jacent au gneiss d'Antigorio, dans le voisinage du point kilométrique 4,400, ces sources ne représentaient que la vidange de l'eau accumulée dans un réseau de fissures et de cavités dans la région supérieure de la montagne surtout. L'eau circulant avant la percée du tunnel dans une multitude de fissures, par l'effet de la différence de température entre la région profonde et la région plus élevée, avait déjà produit un abaissement *constant* de la température de la roche à l'intérieur de la montagne, équivalent à un déficit de 18° environ, du degré de chaleur qu'on aurait dû trouver à cet endroit. Au lieu de 36 à 38°, le rocher n'avait pas plus de 19° de température. Dès lors sa température s'est abaissée encore, pour rester constante à 15° environ, dès le mois de juin 1902. Il devait donc exister là, avant la percée du tunnel, une circulation d'eau assez

active pour enlever à la montagne une grande partie de sa chaleur (abaissement de la température normale de 18° environ). Depuis la rencontre des sources, cette circulation a été activée, en ce sens que l'eau qui remontait auparavant vers la surface, après s'être chauffée dans la profondeur, s'écoule rapidement dans le tunnel en provoquant naturellement un appel croissant avec le nombre des ouvertures créées.

Nous connaissons exactement la région collectrice pouvant fournir les eaux rencontrées dans le tunnel entre les points kilométriques 3,830 et 4,420. D'après son étendue et la quantité d'eau météorique qu'elle reçoit, nous avons conclu qu'après épuisement de la réserve souterraine il devait subsister un volume d'eau constant de 350 litres-seconde au maximum.

Cette conclusion était basée sur notre connaissance du débit des sources de Nembro, taries entre le 29 octobre et le 20 novembre 1901, en admettant en outre la possibilité du tarissement des sources de Gebbo.

La situation du Lago d'Avino ne justifie en aucune manière l'hypothèse qui tendrait à attribuer les venues d'eau du tunnel à une perte de ce bassin d'eau.

La possibilité d'une infiltration venant de la Cairasca nous a paru plus sérieuse, étant donnée la situation des sources de Nembro au bord de ce torrent, car leurs voies d'émergence pouvaient, après tarissement, devenir des voies d'absorption pour l'eau du torrent. Le même danger pouvait se présenter avec les sources de Gebbo, attribuables elles-mêmes à des infiltrations du torrent, au cas où ces sources viendraient à être asséchées par les travaux du tunnel.

Un essai de coloration avec 4 kg. de fluorescéine, fait le 3 décembre 1901 sur le torrent de la Cairasca, a donné un résultat négatif, autant par rapport aux eaux du tunnel que par rapport aux sources de Gebbo. Il paraissait donc indiqué de conclure à l'indépendance des eaux du tunnel et du torrent de la Cairasca, ce que la distance horizontale de plus de 2500 mètres et la profondeur de 650 m. au-dessous de la surface paraissent bien justifier aussi.

Dans ce cas, après la vidange des cavités et canaux souterrains, le volume des sources du tunnel devait rapidement décroître et leur température devait augmenter dans une certaine proportion.

Nous avons donc à examiner dans ce rapport supplémentaire jusqu'à

quel point les jaugeages, les observations thermométriques et hydrotimétriques pratiquées mensuellement justifient ces conclusions, ou si ces observations ne révèlent pas plutôt des indications nouvelles et imprévues en désaccord avec l'établissement d'un régime sourcier stable.

Nous avons notamment insisté sur le fait que les venues d'eau du tunnel d'Iselle ne nous paraissaient pas être comparables avec les sources dites « vaclusiennes » des régions calcaires (Jura, Causses, etc.), dont le caractère spécial réside dans une variabilité extrême du débit. Les observations poursuivies dès lors, pendant plus d'une année, peuvent nous renseigner à cet égard.

On a procédé mensuellement à des jaugeages très exacts, soit au moyen du moulinet de Woltmann, soit avec le tube de Pitot. Nous examinerons plus loin ces résultats. Il en ressort en tout cas que le régime de ces eaux n'est pas celui d'une source torrentielle, puisque les variations n'ont atteint jusqu'ici que 25-30 % du volume total, alors que les sources vaclusiennes peuvent varier en moins de 24 heures du simple au décuple et même au centuple et au-delà.

PREMIÈRE PARTIE

Observations sur la température, la dureté et le débit des sources de la zone aquifère (Km. 3,800-4,420).

GALERIE I

La situation des sources dans cette galerie, telle que nous l'avons décrite dans le rapport de janvier 1902, a été énormément modifiée par l'ouverture de la grande section. La plupart des sources ont changé de position, quelques-unes ont tari; ailleurs la rencontre de nouvelles fissures a fait jaillir momentanément de grands volumes d'eau; enfin, l'établissement du revêtement en maçonnerie, percé seulement de distance en distance par des « barbacanes », a supprimé les orifices naturels des eaux, en les divisant souvent, ou en mélangeant certains filons rapprochés. Aujourd'hui, on compte sur les deux parois de la longueur aquifère du tunnel I plus de

60 barbacanes débitant plus ou moins d'eau; un certain nombre de filons tombent du plafond et sont conduits par des tuyaux de fer sur l'un ou l'autre côté de la galerie.

Il aurait été impossible et en tout cas fort difficile de faire des observations sur toutes les sources dans cette galerie. L'impossibilité de comparer, pour un grand nombre, les résultats avec les observations faites précédemment, aurait d'ailleurs privé ce travail d'une partie de son intérêt. Nous avons donc choisi en premier lieu les sources les plus volumineuses, puis un certain nombre d'autres, réparties sur toute la longueur de la zone aquifère et qui peuvent avec certitude être rapportées à des venues d'eau observées déjà dans la petite section de la galerie d'avancement. Ainsi les observations sont parfaitement comparables.

Les sources 5, 6 et 7 se sont soit taries, soit déplacées de 25 à 30 m. en amont, où elles entrent actuellement dans le tunnel par une dizaine d'ouvertures et barbacanes. Leur dureté qui était primitivement de 44° est tombée dès le mois de janvier 1901 à 12° puis à 10° et s'est maintenue voisine de ces chiffres; la température initiale de 25-28° est tombée pour toutes à 22-23°. Le débit primitif de 360 l. m. est à peine réduit aujourd'hui (273 l. m.). Voici les observations sur les autres sources choisies :

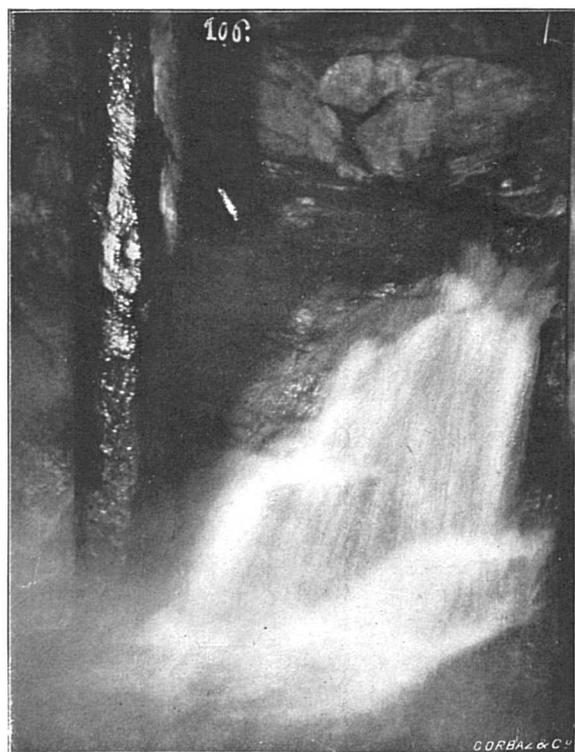
N° d'ordre	Distance du portail m.	Température Degrés centigr.	Débit approximatif Litres-minute	Dureté totale Degrés français	Dates des observations
8 Jaillit du plafond d'une fissure de faille tra- versant la transversale XIX de l'E à l'W.	3 868	25,7	3 000	17	23 juillet 1901
	Transversale XIX	24,5	2 000	16	26 sept. »
		23,3	900	12	3 avril 1902
		23,6	900	13,5	5 mai »
		23,1	600	15	2 juin »
		23,3	500	14	7 août »
		22,6	500	11,5	2 sept. »
		22,0	400	11,5	3 octobre »
		21,9	300	12	4 nov. »
		22,8	300	13	2 déc. »
		22,5	300	13	7 janv. 1903
		22,3-22,5	250	13	28 » »
		22	200	12	3 mars »
		22	180	12,5	7 avril »

No d'ordre	Distance du portail m.	Température Degrés centigr.	Débit approximatif Litres-minute	Dureté totale Degrés français	Dates des observations
9 Sort à côté de la même fissure sur le flanc SW de la transversale XIX, en poussant de bas en haut.	3 861 Transversale XIX Pl. VI. fig. 1	30,3	4 000	56	23 juillet 1901
		30,8	3 000	64	3 sept. »
		31,4	1 800	64	3 avril 1902
		31,5	1 500	—	2 juillet »
		31,8	1 500	73	7 août »
		32	1 200	69	3 octobre »
		32,1	1 200	78	2 déc. »
		32,2	1 200	76	7 janvier 1903
		32,2	1 200	78	3 mars »
		32,2	900	92	1 ^{er} avril »
10 Sort d'une petite fissure vis-à-vis de la source 9.	3 863 Transversale XIX	28,8	90	44	23 juillet 1901
		28,1	25	57	3 avril 1902
		29,6	15	—	3 sept. »
		29,6	6	—	3 octobre »
		30,4	5	—	28 janvier 1903
		30,3	5	80	1 ^{er} avril »
11 Tombe du plafond de la même fissure côté NE. 11a. Même fissure que 8 et 9, tombe du plafond, côté NE.	3 891-93 L'élargissement du tunnel divise cette source en deux groupes, 3 882-92 (3 orifices)	28	10 000	40	11 juin 1901
		26,5	6 000	45	30 sept. »
		25	500	62	3 janv. 1902
		24,8	300	30	11 février »
		23,2	200	19,5	3 avril »
		21,8	100	13	5 mai »
		22,9	—	21	7 août »
		23	60	14,5	3 octobre »
		22,8	50	13,5	2 déc. »
		22,8	50	14	7 janv. 1903
		22,7	30	13,5	3 mars »
		22,7	30	15	1 ^{er} avril »
		11b. Même fissure; déplacé par rapport à l'ancienne source 11 de 8 à 9 m. vers le NW, poussé de bas en haut.	3900-3902 (2 orifices)	26,2	300
26,4	250			44	3 avril »
27,2	90			50	7 août »
26,7	120			49	3 octobre »
26,7	90			57	2 déc. »
26,7	90			56	1 ^{er} janv. 1903
26,4-26,7	70			56	3 mars »
26,7	70			55	1 ^{er} avril »

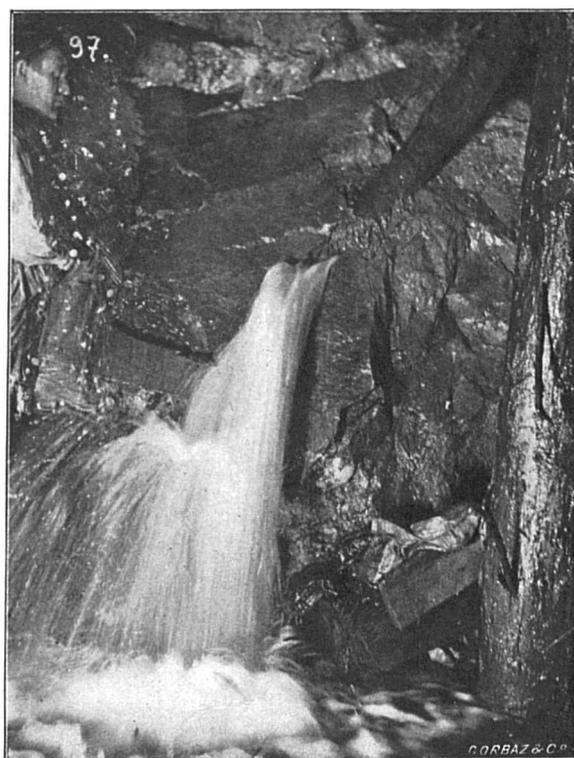
N° d'ordre	Distance du portail m.	Température Degrés centigr.	Débit approximatif Litres-minute	Dureté totale Degrés français	Dates des observations	
14 Fissure au plafond côté NE. 14 bis Diverses fissures obliques à l'axe du tunnel, EW.	3935	26,4	60	30	11 juin 1901	
	—	25,4	60	37	5 janvier 1902	
	—	26,5	60	48	5 mai »	
	Grandes sources venues au pla- fond de la grande section entre les Km. 3,945 et 3,950, divisées par la maçonnerie en huit flons distincts, dont quatre de chaque côté du tunnel.	25	200	55	3 juin »	
		a. d. e.				
		24,6	25,6	25	42 45 41	2 sept. »
		24,9	25,6	24,8	40 48 39	3 octobre »
		23,9	25,9	24,7	41 48 39	4 nov. »
		24,9	25,9	24,6	42 49 40	2 déc. »
		24,7	26	24,6	37 46 37	7 janvier »
		24,8	26	24,6	42 52 44	28 janvier »
24,8	26	24,5	44 53 43	3 mars »		
24,8	26	24,5	38 52 38	1 ^{er} avril »		
19 Sort d'une fissure au plafond du côté SW.	3997-98	24,6	600	34	23 juillet 1901	
	Grande section.	21,4	500	16	11 février 1902	
		20,9	400	15	3 avril »	
		20,8	300	14	5 mai »	
		20,4	150	20	2 juin »	
		20	150	18	7 août »	
		20,2	150	18	2 sept. »	
		20,2	150	15,5	3 octobre »	
		19,9	150	17	2 déc. »	
		19,8	120	14,5	7 janvier 1903	
		19,8	120	17	28 janvier »	
19,7	120	16	3 mars »			
19,6	100	14	1 ^{er} avril »			
25 Plafond, côté NE., d'un défilé entre le gneiss et du schiste micacé noir.	4068-72	23,8	60	35	23 juillet 1901	
	Elargissement. Grande section. — Maçon- nerie Revêtement achevé.	21,6	100	15	11 février 1902	
		20,5	100	11,5	3 avril »	
		20,5	120	12	2 juin »	
		21,4	45	12	3 octobre »	
		21	30	13	28 janv. 1903	
		21	30	12	3 mars »	
		20,9	10	13	1 ^{er} avril »	

No d'ordre	Distance du portail m.	Température Degrés centigr.	Débit approximatif Litres-minute	Dureté totale Degrés français	Dates des observations
31 Fissure sur la paroi NE., à 0,50 m. au-dessus du seuil.	4248	20	600	35	26 sept. 1901
		19,9	200	26	2 juin 1902
		19,2	200	23	2 juillet »
		19	120	21	7 août »
		18,9	90	18	4 sept. »
		18,8	60	17	7 janvier 1903
		18,8	30	17	3 mars »
		18,8	24	16	1 ^{er} avril »
34 Jaillit du calcaire rubanné au pied de la paroi NE. Le rocher est généralement sec dans le voisinage.	4353 Poussant de bas en haut par une fissure. Captée sur place lors de l'excavation de la grande section.	18,4	600	37	28 sept. 1901
		16,4	600	23	28 octobre »
		16,4	600	38	2 déc. »
		14,2	600	65	5 janvier 1902
		14,2	600	58	11 février »
		13,2	600	62	3 avril »
		13,8	600	62	5 mai »
		12,3	600	62	2 juillet »
		12,5	600	73	2 juillet »
		11,8	600	56	7 août »
		11,4	600	64	2 sept. »
		11,1	500	56	3 octobre »
		10,8	500	58	4 nov. »
		10,5	500	57	2 déc. »
		10,2	450	66	7 janvier 1903
		10,2	450	66	28 » »
10,2	450	68	3 mars »		
10,1	420	70	1 ^{er} avril »		
35 40	4390-4400 Mélange des eaux jusqu'au moment de leur séparation.	18 (?)	12 000	31	7 octobre 1901
		16,2	»	33,5	28 » »
		16	»	47	2 déc. »

N° d'ordre	Distance du portail m.	Température		Débit approximatif Litres-minute	Dureté totale		Dates des observations	
		Degrés centigr.			Degrés français			
35 Tombe du plafond d'une fissure (délit) du calcaire blanc sur la paroi NE.	4390	15,1		600		43	2 déc. 1901	
	—	13,5		600		68	5 janvier 1902	
	—	13		800		73	11 février »	
	Elargissement	15,1		900		80	3 avril »	
	Trouble	15		900		81	2 juin »	
	»	12,8		600		42	2 juillet »	
	»	13,4		600		60	7 août »	
	—	13,9		550		71	2 sept. »	
	Trouble	14,4		500		77	3 octobre »	
	»	13,8		450		83	4 nov. »	
	Très trouble	14		300		82	2 déc. »	
	»	14,5		290		90	7 janvier 1903	
	»	14,8		290		95	28 » »	
»	15		290		86	3 mars »		
»	16,6		120		81	1 ^{er} avril »		
36 Fissure à 0,50 m. au-dessus du seuil sur la paroi NE.	4397	13,8		300		51	2 déc. 1901	
	—	13,2		300		60	5 janvier 1902	
	—	14,6		300		62	11 février »	
	—	14,3		300		70	5 avril »	
	Trouble	14,2		150		79	3 mai »	
	—	12,9		150		—	2 juillet »	
	Trouble	13,2		150		67	2 sept. »	
	»	12,8		100		75	4 nov. »	
	»	12,5		100		75	2 déc. »	
	»	12,2		100		76	7 janvier 1903	
	»	11,8		100		82	3 mars »	
37 et 38 Fissures à 0,50-0,80 m. au-dessus du seuil, sur la paroi NE., dans le calcaire gris et blanc.	4398-4402	N° 37	N° 38	N° 37	N° 38	N° 37	N° 38	2 déc. 1901
		14,8	14,8	300	— 350	48	48	5 janv. 1902
		14,8	—			60	—	11 février »
		14,5	14,5			63	63	3 avril »
		14,4	13,2			70	76	5 mai »
		12,8	12,8			78	78	2 juin »
		12,6	12,6			—	84	2 juillet »
		12,9	12,5			—	62	7 août »
		13,5	11,4			60	—	2 sept. »
		—	14,7			—	67	4 nov. »
		12,2	11,9			—	71	2 déc. »
		11,9	11,8			71	69	7 janvier 1903
		—	11,6			—	68	3 mars »
		—	11,4			—	85	



Ph. H. Sch.
Transversale XIX. Source chaude N° 9, le 3 avril 1903.



Phot. H. Sch.
Galerie I. Source 40, le 4 mars 1903.



Phot. H. Sch.
Galerie II. Source 36_u, le 11 mai 1903.



Phot. H. Sch.
Galerie II. Source 37_u, le 11 mai 1903.

