

Note sur le profil géologique et la tectonique du massif du Simplon comparés aux travaux antérieurs

PAR H. SCHARDT

Avec 1 planche coloriée et 10 clichés dans le texte.

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 à l'échelle de 1 : 50 000 suivant l'axe du grand tunnel, accompagnant la présente note.

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 & C^{ie}, 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° 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° 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° Les prévisions quant à l'origine et le volume de l'eau pénétrant dans le tunnel dans la zone aquifère de l'attaque SE (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 ayant fait l'objet d'un rapport spécial.

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 géolo-

giques 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 que celle d'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 NW et SE. Le samedi 27 juin 1903, au soir, la perforation a atteint, à l'attaque de Brigue, au km. 9400, les calcaires dolomitiques triasiques avec zones d'anhydrite grenue souvent violacée; au km. 9627, on a pénétré dans les schistes lustrés calcarifères et fortement micacés, absolument typiques, plongeant, comme les couches triasiques, au NW, sous le gneiss du Monte-Leone. Du côté SE, 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. 6830.

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. 10, venait d'être achevé avant que ces rencontres eussent lieu. Les deux contacts au NW comme au SE 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 géologique contenue dans le premier en donne même la répartition horizontale. Nous reproduisons ici un profil extrait de la *Géologie der Schweiz*, p. 223.

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

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

² B. STUDER, *Geologie der Schweiz*, Bern et Zurich, 1851, t. I, p. 223.

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



Cl. 1. — Profil du massif du Simplon, d'après B. Studer (1851), passant environ 5 km. au N.-E. de l'axe du tunnel.

LÉGENDE : S. Schistes gris (Sch. lustrés). G. Gypse. d. Dolomite et marbres. Gn. Gneiss.

étudie trois profils, correspondant à trois tunnels projetés. L'un, le tunnel de base, entre Brigue et Iselle, avec 18500 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 à 1400 m., auraient eu une longueur de 9 à 10 km. Gerlach a établi une carte géologique 1 : 100000 de la région du Simplon, dont l'original existe. Cette carte n'indique pas les trois 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

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

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

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).

Ce profil, reproduit ci-dessous, 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,



Cl. 2. — Coupe à l'est du massif du Simplon, par Gerlach (1869)
(Réduction du 1 : 100000).

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

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 inférieurs 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-

¹ H. GERLACH. Die Penninschen Alpen. *N. Denksch. d. schw. naturf. Ges.* XXIII. 1869, et *Beitr. zur geöl. Karte der Schweiz.* Lf. XXVII. Profil I. 1883.

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. »

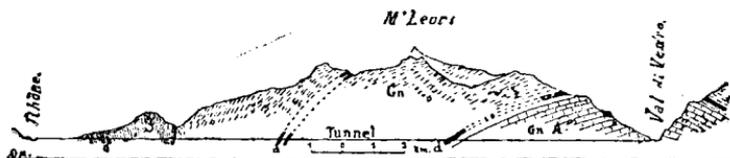
Il n'a plus été fait de recherches aussi étendues que celles de Gerlach pendant les dix années qui suivirent les publications et travaux manuscrits cités. Sa mort, survenue ensuite d'un accident le 8 septembre 1871, a enlevé à la science celui qui avait pénétré le plus profondément le dédale tectonique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

Les recherches qui suivirent et 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 compagnie 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

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

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 NW, en amont de Brigue, à la cote de 711 m., dit tracé haut. L'autre était plus rapproché du tracé actuellement en exécution.

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.



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

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

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, lui 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 d'un tracé rectiligne Brigue-Iselle, de deux tracés coudés évitant le voisinage du Monte-Leone. Elle constate d'abord la présence de mica-schistes sous la voûte du gneiss d'Antigorio, en relevant la portée technique que pourrait avoir cette roche en vue du

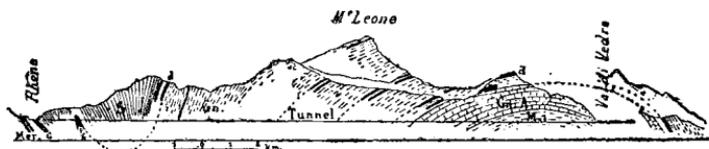
perçement du tunnel qui dans son ensemble rencontrerait les terrains suivants :

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 $\frac{1}{2}$ à 3 km.), avec un noyau intérieur de schistes feuilletés (3 $\frac{1}{2}$ à 4 km.).

Les auteurs donnent, dans le rapport rédigé par M. le professeur Renevier¹, plusieurs coupes détaillées des séries



Cl. 4. — Profil géologique du tunnel du Simplon d'après les observations de MM. les professeurs Heim, Lory, Taramelli et Renevier. (1882)
(Réduction du 1: 50 000.)

Légende du cliché 3 + *M. i.*, Micaschistes inférieurs.

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 SE. 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.

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.

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. 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.

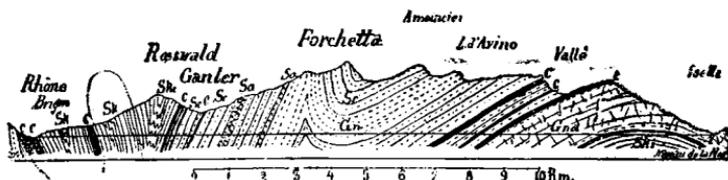
En 1890, après la fusion de la Compagnie S. O.-S. avec celle du J.-B.-L. et la constitution de la Compagnie Jura-Simplon, la question du percement du grand tunnel semblait près de se résoudre et une expertise complémentaire fut confiée à l'auteur de ces lignes. Le tracé prévu, à côté de plusieurs variantes 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 d'une collection complète 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'aie 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).

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

¹ J. DUMUR. Traversée du Simplon. Rapport sur les études 1890-1891. Berne, imprimerie Stämpfli & Co, 1891.

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

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.

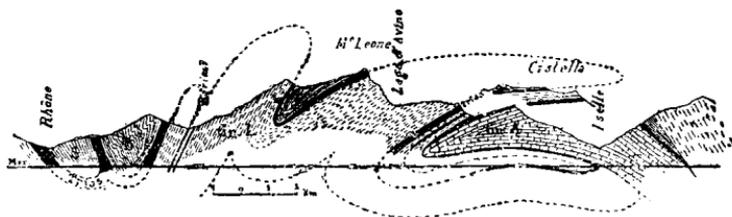
LÉGENDE : Sk, Schistes lustrés ; C, calcaire marbre dolomite, gypse, etc. Trias ;
 Sc, Schistes cristallins ; Sa, Schistes amphiboliques ; Gn., Gneiss.
 Gn. A. Gneiss d'Antigorio.

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 Bérisal, 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 Bérisal, 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 calcaifères 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



Cl. 6. — Coupe à travers le massif du Simplon, d'après H. Schardt (1894)
(réduction du 1 : 100 000).

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

le Monte-Leone et 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.

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 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.

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.

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 entre Gebbo et Iselle. A Gondo, cette situation n'est plus figurée. Les zones de schistes lustrés et calcarifères (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.

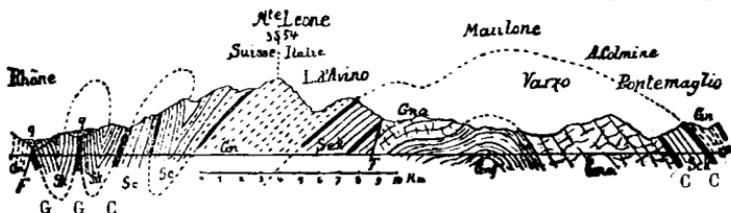
L'année 1895 a vu paraître le grand ouvrage de M. TRAVERSO³ sur la région de l'Ossola. Il contient plusieurs profils transversaux de cette région alpine, dont un, que je reproduis partiellement en réduction (cl. 7), va de Brigue dans la vallée du Rhône, jusque dans la vallée de la Toce, en divergeant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

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 rééditée en librairie.

³ S. TRAVERSO. *Geologia dell'Ossola. Genova, Tip. di Ang. Ciminago*, 1895.

gorio, 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



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; *Sck*, Calcschistes gneissiques; *Gna*, Gneiss granitoïde d'Antigorio; *Gnf*, Gneiss feuilleté (micaschistes inférieurs); *F*, Faille.

complique encore d'une faille sur le bord nord du massif de gneiss d'Antigorio.

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). 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 étirés². Le noyau de l'anticlinal serait du

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.*

² J'ai appliqué en décembre 1899 une construction très analogue dans un profil resté manuscrit et qui a figuré dans le groupe du Simplon à l'exposition universelle de Paris en 1900.

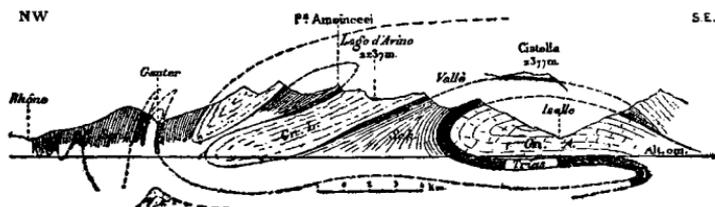
gneiss massif du type d'Antigorio, entouré d'un manteau de gneiss schisteux (type du Monte-Leone). Constatons encore que l'auteur de ce profil admet deux niveaux de gneiss, le gneiss massif du type d'Antigorio ou gneiss ancien, à la base; les gneiss schisteux du Monte-Leone, avec toute la série cristallophylienne, 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 Gn. A., Gneiss inférieurs et d'Antigorio.

En suivant la même voie que moi dans l'explication de la tectonique des Alpes, M. LUGEON¹ a appliqué aussi aux gneiss du Simplon le principe des plis couchés et construit un profil, d'ailleurs très sommaire, dont nous avons déjà



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.

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-dessus le profil construit par lui, cl. 9.

¹ 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.

L'apparition de ce profil et de celui de M. Schmidt en 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 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.



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

LÉGENDE : *Sk*, Schistes lustrés; *C*, Trias; *Sc*, Schistes cristallins, amphibolites, etc.; *Gn*, Gneiss; *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.

Il est particulièrement 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 divers 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 micaschiste 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 NW. 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-Leone, 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. Une deuxième étape vers la solution a été la constatation du synchronisme des schistes « métamorphiques anciens » (schistes de Devoro) et des micaschistes inférieurs avec les schistes lustrés de la vallée du Rhône, corrélation soupçonnée déjà par Gerlach. Il y aurait ainsi la série suivante de terrains :

Schistes lustrés, schistes calcaires, schistes micacés gris souvent granatiformes. *Jurassique*.

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

Schistes cristallins (micaschistes ordinaires et granatiformes, schistes amphiboliques, etc. *Paléozoïque? Trias?*)

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

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

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 Stichelgrat. 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 grosier 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 calcaréo-dolomitiques, 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 et des schistes calcaires 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. E'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, d'un front d'anticlinal enfoncé en position verticale dans les terrains mésozoïques; c'est pourquoi 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 lustrés². 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-Steinenthal, se superposer aux gneiss du Bortelhorn pour former le sommet du Hüllehorn lui-même. Auparavant, les schistes lustrés calcarifères de Bérisal-Steinenthal forment deux replis synclinaux sur le flanc des gneiss du Bortelhorn, bien visibles sur le bord du Steinengletscher.

¹ Loc. cit. *Bull. soc. géol. France*, 1901, p. 845, fig. 13.

² 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.

C'est la bifurcation indiquée déjà par Gerlach. Le passage des schistes calcaires sur l'arrête du Hüllehorn, après que la zone du Steinenthal a contourné par le Blauseepass la pyramide du Gibelhorn¹ 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 schistes cristallins du Gibelhorn et le gneiss 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 dans la direction du 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 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 un autre, bien que je pencherais presque plutôt vers la première alternative. M. PREISWERK², à qui nous devons une étude sur les serpentines du Geisspfad, tend plutôt à 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

¹ Ce sommet formé de gneiss et de schistes cristallins, repose presque librement sur les calcaires et schistes jurassiques.

² H. PREISWERK, Ueber den Dunitserpentin am Geisspfad im Oberwallis. *Inauguraldissertation, Basel, 1901. Eclogae géol. helv.* VII, 1901, p. 123-125.

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 Cherbadung 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. 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. 3843 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. 1235 à 1434 avec une faible intercalation schisteuse au km. 1400 ; enfin, du km. 1501 au km. 1516. 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 calcari-fères. 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. 3846 et 4079 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* (3913 à 3993) 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 recristallisation 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 Berisal, 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 Nanzlücken 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 du 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 œillé, 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 quarzitiques, 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. C'est encore un argument en faveur de la supposition que je viens d'exprimer.

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 sub-séquentement sur son substratum, d'où son épaisseur énorme en apparence. Les faux anticlinaux du substratum 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 ET SCHISTES CHRISTALLINS 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 7 et 9, n'ayant pas racine en profondeur, ne seront probablement pas rencontrés par le tunnel qui traversera, dans ce cas, dans la région encore à perforer, exclusivement des schistes calcarifères ou micacés 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, bordé au SE par 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 (6) et la zone de Teggiolo (10), mesurant entre ces deux points un développement horizontal transversal de plus 4 km. (épaisseur normale à la stratification 1 000 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 certaine-

ment la zone 9, puis tous les terrains de la zone 10, le tout extrêmement laminé.

11. GNEISS A GALETS. Du km. 5326 au km. 6832¹ de l'attaque S E (Iselle), donc sur plus de 1500 m., 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 apparaît dans la vallée d'Antigorio entre Crodo et Baceno, sous les micaschistes sous-jacents au gneiss d'Antigorio. C'est un bombement du gneiss appartenant au *fond normal non disloqué du bassin des schistes lustrés*. C'est ainsi que je le représente dans le profil géologique. 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 calcairifères (12) dans le gneiss, sans rencontrer des roches dolomitiques ou anhydritiques; elles manquent ou sont oblitérées par lamination. Du km. 5326 au km. 4421, 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. 4940 au km. 5326. 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. 4940 au km. 4610, où apparaît une zone de calcaire dolomitique micacé gris, avec intercalations schisteuses verdâtres, jusqu'au km. 4460. Suit la zone de terrain compressible formé de *schiste calcaire micacé broyé*, avec lambeaux de marbre et de schiste micacé, jusqu'au km. 4420. De ce point jusqu'au km. 4325, calcaire gris, blanc, grenu, souvent micacé, s'enfonçant sous la zone suivante. Ces deux complexes, 12a et 12b, font partie de la zone 10 du profil superficiel.

¹ Ces distances et les suivantes sont mesurées dès l'embouchure S E (Iselle).

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. 3 500 ; ici se présente un petit repli synclinal, suivi d'un relèvement qui fait surgir enfin au niveau du tunnel le calcaire 12b. Le gneiss d'Antigorio est une roche qui a souvent une texture granitoïde, quoique la texture gneissique ne fasse jamais entièrement défaut. Elle renferme des pseudo-filons (craquelures) et des filons d'aplite gneissique très bien caractérisés, de même des trainées et filons-strates plus étendues de roches basiques micacées 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 que le gneiss primitif, excepté 5^a 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.

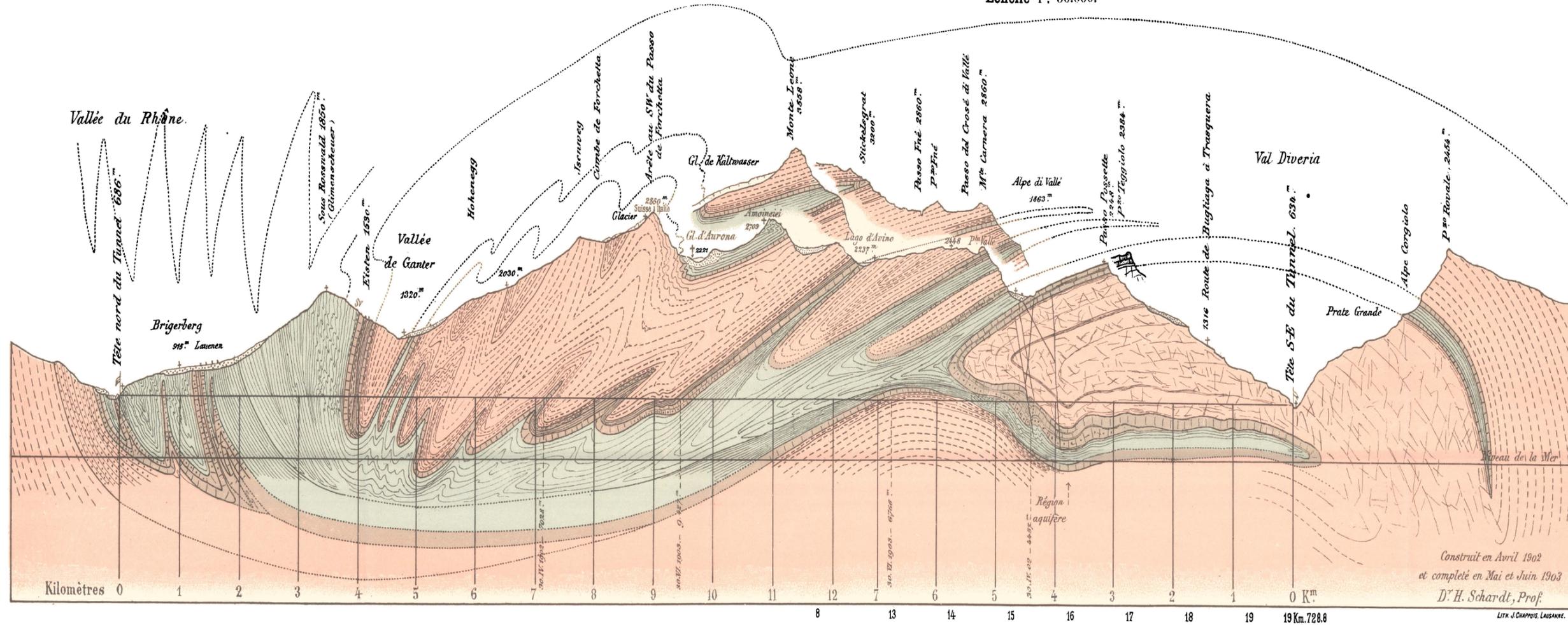
Il sera réservé à une publication plus étendue et beaucoup plus détaillée, constituant une *Monographie du tunnel du Simplon*, d'apporter encore plus de lumière à la solution du problème posé, en appuyant la démonstration par des études pétrographiques et des analyses chimiques des roches, des profils 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 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 de cette partie des Alpes. 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.

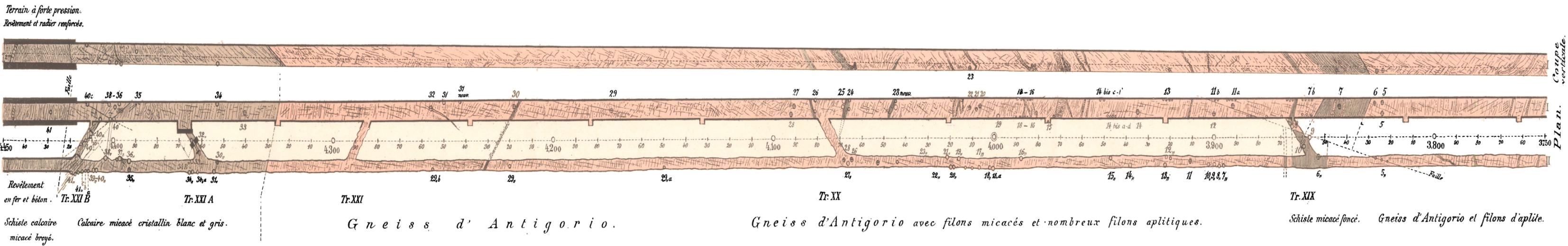
¹ La percée du tunnel de l'Albula a révélé l'existence, au cœur même du massif granitique, d'une intercalation de schiste foncé, identique aux schistes lustrés argileux, enchevêtrée avec le granite, sans métamorphisme de contact. Ce serait une preuve que ce massif repose sur un substratum sédimentaire,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

PROFIL GÉOLOGIQUE DU MASSIF DU SIMPLON, suivant l'axe du Grand tunnel.

Echelle 1: 50.000.



- ### Légende.
- Alluvions, éboulis, Moraines.
 - Schistes lustrés argileux ou calcaires, souvent granatifères avec bancs calcaires. Schistes verts amphiboliques intercalés (Sv). } Jurassique.
 - Calcaire dolomitique, Marbre cipolin, Cornioule.
 - Gypse et anhydrite, souvent micacés, Schiste à anhydrite.
 - Schiste argileux, Schiste micacé blanc ou verdâtre.
 - Quartite, Arkose gneissique.
 - Gneiss de la Massa, Conglomérat métamorphique et Schistes micacés intercalés. } Paléozoïque ?
 - Gneiss passant au Micaschiste, Gneiss et Micaschistes granatifères avec amphibolites et Schistes amphiboliques et chloriteux. } Trias ?
Paléozoïque ?
 - Gneiss lités schisteux ou oeillets du Monte Leone.
 - Gneiss massif d'Antigorio et Schistes intercalés. } Terrain primitif.
 - Failles et fissures dans la région aquifère du côté SE.
 - + Stations géothermiques.



Coupe verticale de la paroi N.-E. de la galerie I et coupe horizontale des deux galeries à 2m. au dessus du seuil, du Km. 3,750 de la tête S.-E. jusqu'au Km. 4,450, à travers la région aquifère.—Echelle 1: 1.000. — Réduction des levés originaux au 1:100. Sources variées.