
VII.

MÉMOIRE GÉOLOGIQUE

SUR

LA MASSE DES MONTAGNES

ENTRE LA ROUTE DU SIMPLON ET CELLE DU SAINT-GOTHARD,

PAR M. STUDER.

Le pays représenté dans la carte jointe à ce mémoire a été visité et décrit par les géologues les plus éminents. *De Saussure* nous a donné une relation de son voyage par le Simplon, et déjà les rapports remarquables qu'on observe dans cette partie des Alpes entre le calcaire et le gneiss semblent avoir fixé son attention. Nous devons à M. Lardy une description détaillée du groupe du St-Gothard, accompagnée de divers profils et d'une carte géologique qui coïncide à peu près avec le tiers oriental de la nôtre. M. Sismonda a publié un mémoire et une carte géologique sur le nord-est du Piémont qui embrasse toute la partie de ce royaume comprise dans notre travail. Je regrette de n'avoir pu profiter d'un mémoire de M. de Collegno sur le St-Gothard, inséré dans le vol. VI du *Bulletin de la Société géologique*. Après ces publications, dont le grand mérite est garanti par le nom de leurs auteurs, je ne me permettrais pas d'appeler de nouveau l'attention sur ce pays, si la complication de ses terrains et l'importance de leurs rapports mutuels dans ce nœud central des Alpes ne me paraissaient pas demander encore les efforts soutenus des géologues et l'analyse des résultats de leurs observations sous des points de vue divers. L'étendue et la nature sauvage de ces montagnes et la courte durée de leur été ne permettant pas d'ailleurs qu'un seul observateur les parcoure dans toutes leurs parties, s'il ne veut consacrer à l'investigation de ce seul groupe plusieurs années de suite, chaque nouveau visiteur peut espérer d'en avoir vu des portions restées inconnues à ses devanciers.

Si l'on se donne la peine de comparer ma carte avec celle de mes célèbres amis, M. Lardy et M. Sismonda, on y trouvera d'assez grandes différences, lesquelles cependant sont en partie plutôt apparentes que réelles, en ce qu'elles ne résultent pas d'erreurs commises dans l'observation directe des roches, mais bien de la différente manière de coordonner ces roches dans un même terrain. M. Lardy, par son système de coloriation, a cherché à exprimer autant que

possible le caractère minéralogique des roches, à colorier en micaschiste ce qui est micaschiste, en calcaire ce qui est calcaire, et, afin de ne pas trop multiplier les couleurs, il a réuni au micaschiste les talcschistes et les schistes argileux. Notre savant collègue cependant n'a pas manqué de faire observer que si ces dernières roches sont associées au vrai micaschiste, elles se trouvent d'un autre côté si étroitement liées par des passages et des alternances aux schistes calcaires à Bélemnites, qu'il n'est guère possible de les en séparer, de manière qu'on serait également en droit de coordonner les schistes argileux aux calcaires. Mais, en outre, la réunion du schiste argileux aux schistes cristallins me paraît avoir ce double inconvénient que les micaschistes et les schistes argileux associés aux roches calcaires ne se distinguent pas de ceux qui sont subordonnés aux gneiss, et que les roches calcaires et dolomiques ne sont pas indiquées sur la carte selon leur importance, comme faisant partie d'un grand terrain continu, mais au contraire comme des accidents subordonnés et perdus dans la masse dominante des roches feldspathiques. Quant à moi, j'ai cru que la continuité et la distribution du terrain à Bélemnites devait être relevée avant tout, et, en conséquence, j'ai réuni sous la même couleur l'ensemble de ces schistes argileux noirs qui alternent avec des schistes calcaires et des micaschistes, tandis que les micaschistes qui tiennent de près aux roches feldspathiques ont été réunis au gneiss, dont ils ne sont réellement qu'une variété. Le même système de coloriation qui, dans les Alpes, paraît indiqué par la nature, a déjà été suivi dans ma carte géologique des Grisons, publiée en 1837 et 1839. Il fallait un nom simple et indépendant de toute opinion systématique pour désigner ce terrain composé de schistes argileux, calcaires et micacés, et je me suis servi, comme dans les mémoires antérieurs, du nom de *flysch*, que l'on donne dans l'Oberland bernois à toute roche schisteuse. Ce sera un terme simplement pétrographique pour désigner ces terrains universellement répandus dans les Alpes qui sont caractérisés par des schistes argileux et argileux-calcaires noirs et gris, passant tantôt au calcaire schisteux, tantôt à des grès très compactes analogues à la *grauwacke* allemande, tantôt à des talcschistes et à des micaschistes; un terme enfin qui servira provisoirement jusqu'à ce que le gisement ou la découverte de fossiles caractéristiques aient assigné à chacun de ces terrains sa place exacte dans la série géologique. Ce terrain de *flysch* coïncide à peu près avec celui que M. Sismonda a appelé dans ses mémoires *terrain jurassique métamorphique*, de même qu'avec le *terrain jurassique modifié* de la nouvelle carte géologique de la France. Cependant l'échelle de ma carte a permis d'en séparer les parties purement calcaires, dolomitiques et gypseuses, et de réserver la couleur du *flysch* pour les schistes argileux et leurs modifications. Plusieurs des différences qu'on remarquera entre les limites des cartes que je viens de citer et celles de la mienne résultent d'ailleurs de ce que je n'ai pas cru devoir étendre le terrain de *flysch* de manière à y comprendre de véritables gneiss que, pour ma part, je ne saurais distinguer des gneiss primitifs de

M. Sismonda ; d'autres différences peuvent dériver aussi de ce que l'on n'a pas visité les mêmes localités, ou bien de ce que, d'un côté ou de l'autre, l'on s'est trompé sur la nature de la roche ; il sera nécessaire par conséquent que d'autres géologues aillent examiner les points contestés pour prononcer sur la valeur de ces diverses manières de représenter les faits observés.

Le Haut-Valais.

En descendant des hauteurs du Grimsel vers Ebergestelen, on voit peu à peu les couches de gneiss et de micaschiste qui, sur le col, étaient verticales, s'incliner au N. 28° O, et cette inclinaison vers l'axe de la chaîne se soutient jusqu'au pied de la montagne. Les schistes cristallins composent le versant méridional de la chaîne, comme le versant opposé de la Handeck et de Guttannen, et ce n'est qu'au bas de la descente que l'on voit affleurer, au pied de la montagne, des flyschs, ou schistes argileux noirs, identiques avec ceux de Bryg et de Sion, et s'enfonçant sous les couches de gneiss. En longeant le pied de la montagne vers Oberwald, on trouve une carrière de calcaire gris, grenu, chargé de paillettes de mica, mais stratifié et appartenant évidemment au terrain de flysch. Le même calcaire accompagné de flysch se voit de l'autre côté de la vallée, et, en montant vers le glacier du Rhône, ce sont toujours les mêmes schistes argileux-calcaires ou quarzeux, noirs, gris ou verdâtres, en stratification verticale qui forment le fond du défilé et la base de ses parois. Ce flysch est immédiatement lié aux schistes calcaires du col de la Furca, et c'est précisément dans ces derniers que MM. Escher et Lardy ont trouvé en 1842 des Bélemnites. Ces restes organiques nous démontrent que ce terrain de flysch et de calcaire doit être envisagé comme un vrai terrain neptunien, et que l'époque de sa formation ne peut, d'après l'état actuel de la science, remonter plus haut que l'époque liasique. Ce même terrain cependant plonge du côté nord sous le gneiss du Grimsel et du grand massif du Finsteraarhorn ; du côté du midi sous le gneiss du St-Gothard.

La largeur du flysch dans les environs d'Obergestelen est peu considérable. En descendant la vallée, on ne voit à sa droite que des gneiss et des micaschistes, en stratification verticale ou inclinée au N. jusqu'à l'approche de Viesch. Avant d'atteindre ce village on trouve, près de la route, une roche verte qui fait effervescence avec les acides, et qui est stratifiée en grandes tables verticales. Ce n'est cependant qu'au-dessous de Viesch que le terrain de flysch et calcaire se présente de nouveau en couches suivies sur la rive droite du fleuve. Le schiste gris ou noir est toujours la roche dominante ; entre Lax et Mœrel, il passe à un talschiste éclatant rouge et vert, qu'on ne saurait distinguer d'un schiste des terrains feldspathiques ; et, près de Naters, il renferme de grandes masses de gypse qui, sur la rive gauche du fleuve, s'étendent jusqu'à l'embouchure du torrent de la Binna. — De ce côté de la vallée, le flysch ne paraît pas non plus exister depuis

Obergestelen jusqu'à Aernen, à moins qu'il ne se retrouve sous la terre végétale et sous les décombres qui cachent le sol du milieu de la vallée. En entrant, vis-à-vis d'Ulrichen, dans la petite vallée latérale d'Eginen, qui conduit aux passages du Gries et de la Nufenen, on se voit, dès l'entrée, entouré de micaschistes quarzeux, qui plongent au midi sous un très grand angle, et plus haut suivent des gneiss. Les mêmes roches sont traversées par la vallée de Blinnen qui débouche vis-à-vis de Reckigen, et on les retrouve encore jusqu'aux environs d'Aernen.

Ces schistes cristallins et feldspathiques font partie du massif du St-Gothard. A l'instar de la structure en éventail des autres massifs feldspathiques des Alpes, les strates du versant septentrional de celui-ci sont inclinés au midi; ils se relèvent vers le faite du massif, où ils sont verticaux, et s'inclinent au N. sur le versant méridional. La direction générale des couches est vers le N. 62° E. comme au passage du Grimsel, dans le massif du Finsteraarhorn; elle dévie, autant que l'on peut se fier à nos cartes, de 10° vers l'E. de la direction du cours du Rhône, depuis sa source jusqu'à Bryg, de la ligne du Lötschthal au Todi, qui suit la plus grande dimension du massif du Finsteraarhorn, du lac de Brienz et de plusieurs chaînes de nos Alpes calcaires; la direction de tous ces alignements étant sous le N. 52° E.

A mesure que le massif du St-Gothard s'avance vers l'O., il se rétrécit de plus en plus. En suivant la grande route, depuis Hospital on traverse toute la montagne, avant de trouver, au-dessous d'Airolo, la limite méridionale du gneiss. Cette limite est marquée, à l'entrée du val Canaria, par des roches amphiboliques, contenant beaucoup de grenats: au-dessous sont des talcschistes également chargés de gros grenats; puis des quartzites micacés très puissants, et enfin la dolomie blanche saccharoïde qui recouvre le gypse. Toutes ces roches, comme le calcaire et le flysch du Haut-Valais, s'enfoncent sous le gneiss. En suivant, depuis Airolo; le Tessin vers ses sources, par Villa et Ronco, on voit à sa droite, partout où la roche est à découvert, des dolomies saccharoïdes ou cargneules, des gypses et des schistes noirs; et, à quelques centaines de mètres plus haut, la limite du gneiss est signalée par une terrasse, au fond de laquelle les strates presque verticaux du gneiss s'élèvent en parois escarpées. Au col de la Nufenen, ce sont encore les roches du terrain de flysch, en stratification verticale, qui composent le sol, et c'est dans les éboulements des parois méridionales qu'on trouve dans des schistes noirs, micacés et calcaires, des Bélemnites et des pentacrinites, associées à des grenats et à des grains et des tiges courtes, arrondies, si peu caractérisées, que l'on ne sait si on doit les envisager comme des restes organiques ou comme des cristaux imparfaits. La quantité de ces grains donne au schiste un aspect noduleux très frappant. Le col fait la limite entre les schistes noirs ou le flysch et les gneiss, et, en descendant par la vallée d'Eginen, on marche, dès qu'on a quitté le pied du col, entre des couches verticales de gneiss et de micaschiste, coupées à angle droit par la vallée. La largeur de la zone de gneiss est donc ici réduite à peu près à la moitié de ce que l'on avait trouvé au

St-Gothard ; les vallées latérales qui remontent du Rhône les traversent jusqu'à sa limite méridionale, et le partage des eaux est reculé vers le midi, dans la zone du flysch d'Airolo. Les mêmes rapports s'observent dans la vallée de Binnen. Le fond de cette vallée est entouré de hauts escarpements de flysch, couronnés de nappes de neige et de glaciers, et les schistes noirs noduleux de la Nufenen y sont largement développés. La limite des deux terrains et leur stratification sont encore verticales. Dans la gorge étroite par laquelle s'écoule, vis-à-vis de Lax, le torrent de la Binna, les roches du St-Gothard paraissent représentées par des micaschistes, et le gneiss, s'il existe encore, y doit occuper peu d'espace. Le flysch, le calcaire et le gypse dominant d'Aernen et de Grengiols fort en avant dans le défilé, et, avant d'avoir atteint la vallée de Binnen, on se voit de nouveau dans les schistes noirs et la dolomie de la Nufenen. La connexion du flysch avec le micaschiste du défilé est même si intime que ce dernier n'est peut-être qu'une variété de flysch, dans laquelle le mica qui, dans la roche ordinaire, reste comme fondu dans la masse, a reçu un plus grand développement. Encore plus à l'O. enfin, sur la route du Simplon, on monte de Bryg jusqu'à la vallée de Ganter, en traversant les deux zones de flysch, sans rencontrer une trace, ni de gneiss ni de véritable micaschiste, et dès lors les deux flyschs ne forment plus qu'une seule masse qui remplit la vallée du Rhône dans toute sa largeur et qui s'étend, vers le midi principalement, sur un espace de plusieurs lieues du N. au S.

Il n'est pas facile de se faire une idée exacte des rapports de gisement des trois bandes parallèles de schistes que nous venons de parcourir de la route du St-Gothard jusqu'à celle du Simplon. — En voyant, dans les coupes des vallées d'Egginen et de Blinnen, les trois terrains se succéder l'un à l'autre en position verticale, on peut se demander si, en réalité, il y a là alternance, de manière qu'on ait à distinguer deux masses différentes de flysch, séparées par le gneiss intermédiaire. La parfaite identité minéralogique des deux flyschs n'est pas cependant favorable à cette opinion. Les Bélemnites, trouvés à la Furca comme à la Nufenen, tendent de même à faire envisager les deux flyschs comme du même âge. Leur réunion enfin, à Bryg, en une seule masse, paraît constater entièrement les conclusions tirées de leurs caractères minéralogiques et organiques. Mais, en admettant l'unité des deux terrains qui entourent le massif du Saint-Gothard, il se présente une question, celle de savoir si ce terrain de flysch est inférieur ou supérieur au gneiss, et, pour le moment, nous sommes forcé de suspendre toute décision à cet égard ; le but de ce travail étant justement d'éclaircir, s'il est possible, par de nouvelles données, les rapports de ces deux terrains. Il est vrai que, dans le territoire qui nous occupe, partout où le contact des deux terrains peut être observé et où la limite n'est pas verticale, le flysch et les roches qui, comme le calcaire, la dolomie et le gypse, lui sont subordonnées, s'enfoncent sous le gneiss, et la question serait décidée, si notre jugement ne devait reposer que sur l'évi-

dence des faits que nous fournissent ces localités. Nous trouvons même une confirmation de cette manière de voir dans les rapports connus, entre le calcaire et le gneiss, sur les deux versants du massif du Mont-Blanc, sur le versant méridional des Aiguilles-Rouges à Chamouni, et enfin dans les rapports analogues observés dans les Grisons entre les deux terrains. Dans toutes ces localités le calcaire ou d'autres roches neptuniennes affleurent au pied des versants et plongent sous le gneiss, qui forme comme un coin colossal implanté dans le terrain généralement répandu de flysch. D'autre part, cependant, nous voyons, près d'Orsières, dans la vallée d'Entremont, des masses calcaires qui, selon toutes les apparences, font la continuation de celles du val Ferrex, au midi du Mont-Blanc, reposer sur le gneiss du Mont-Catogne qui lui appartient au massif du Mont-Blanc; nous savons aussi que, dans les environs de Bex et de St-Maurice, le lias est superposé au gneiss de Morcles, qui fait corps avec celui des Aiguilles-Rouges; et, même dans le pays qui fait l'objet de ce mémoire, dans le Haut-Valais, si nous examinons, au-dessous de Bryg, la ligne de contact entre le calcaire et le gneiss du côté droit de la vallée, nous voyons que, de Razon jusqu'aux bains de Loueche, le terrain feldspathique, forme, à quelques exceptions près, la base des montagnes, et que le calcaire qui, au-dessus de Leizinen, renferme une quantité prodigieuse de Bélemnites, le recouvre; la manière enfin dont nous avons vu finir, dans la gorge de la Binna, le massif du Saint-Gothard dans le flysch, appuie encore l'opinion qui regarde le gneiss comme le terrain fondamental et inférieur au flysch.

Le Simplon.

La zone méridionale de flysch touche au midi à une nouvelle masse de gneiss et de micaschiste. Les particularités offertes par cette masse, ainsi que par la ligne du contact, sont si variées, qu'il sera utile de la traverser en plusieurs profils.

En montant la route du Simplon depuis Bryg, on trouve la première roche cristalline dans la vallée de Gantez, avant d'arriver à Persal. C'est un stéaschiste vert qui s'incline sous un angle de 50° vers le N. 45° O., en plongeant sous la chaîne de flysch du Kienhorn, la même que, dans la gorge de la Binna, nous avons vue coupée jusqu'à sa base. Tandis que dans ce profond défilé, le flysch est en stratification verticale, il présente à l'extrémité occidentale de la chaîne une structure en éventail qui, de l'autre côté de la route du Simplon, se prolonge dans le Glyshorn et les hauteurs voisines. Sur le versant N. de la chaîne du Kienhorn, les couches de flysch tombent vers le S. 45° E., puis elles se redressent jusqu'à la verticale, et, après quelques contournements, elles s'inclinent au N. 45° O., comme le stéaschiste qui les supporte. On voit par là que la structure en éventail, qu'on aurait pu croire uniquement bornée aux massifs feldspathiques, s'étend aussi au terrain de flysch; et il importe d'ajouter que cette chaîne du Kienhorn se trouve alignée sur l'axe même du St-Gothard. Le même fait se

répète ailleurs dans les Alpes. A l'extrémité orientale du terrain feldspathique du St-Gothard, la structure en éventail de ce massif continue dans le flysch du passage de la Greina, qui conduit de la vallée de Sumvix à celle de Blegno; et, plus à l'E. encore, l'éventail du grand massif de gneiss de la Scaletta et des glaciers de Selvretta et Fermont est indiqué déjà par la structure analogue du terrain de calcaire et de grès rouge de Bergun, sur la route de l'Albula.

En continuant de suivre la route de Persal, par l'hospice et le village du Simplon, on ne traverse guère que des gneiss et des micaschistes. Au-dessus de la première galerie on voit des couches subordonnées, mais assez puissantes, de schiste amphibolique qui font sur quelques points de jolis plissements. Près du premier refuge, après avoir passé l'hospice, on trouve un four à chaux qui, probablement, est alimenté par un nid de calcaire intercalé dans le gneiss. L'inclinaison des couches varie beaucoup, et passe plusieurs fois du N. au S., et réciproquement, avant qu'on ait gagné la hauteur du passage. Cependant, si on observe ce groupe de quelque point éloigné, on remarque facilement qu'un peu à l'E. de l'hospice, il y a une grande rupture anticlinale, dans le massif du gneiss, qui sert de réservoir au glacier de Kaltwasser. Les montagnes au N. de cette rupture ont, en général, leurs couches inclinées au N., tandis que de l'hospice jusque près d'Algaby, où la vallée change de direction, le gneiss est incliné vers le S. 55. O.

Après la descente d'Algaby, dans le défilé étroit et escarpé qui conduit, dans la direction de l'O. à l'E., au V. Vedro et à Crevola, on trouve une couche de marbre blanc qui a déjà été remarquée par de Saussure: elle est associée à des schistes amphiboliques et subordonnée au gneiss; sa puissance est d'environ deux mètres, son inclinaison de 30° à l'O. On peut la suivre de l'œil à une distance considérable vers les parties supérieures du flanc gauche de la vallée, et lors même qu'on l'a perdue de vue, sa présence sur les hauteurs s'annonce par les débris calcaires dans les éboulis. Si par ce calcaire on mène une droite parallèle à la direction générale de cette partie des Alpes, c'est-à-dire vers le S. 52° O., elle coupera à peu près le calcaire et le flysch de See, dans la vallée de Saass; le calcaire au-dessus de Herbrigen, dans la vallée de St-Nicolas, et la puissante masse calcaire qui forme derrière Zermatt et jusqu'au glacier de Zmutt, des parois de plusieurs centaines de mètres de hauteur, en plongeant sous le gneiss du Weisshorn. Cette bande calcaire me paraît former la limite méridionale du massif de gneiss que nous venons de traverser par le Simplon; et le changement subit qui s'observe dans la direction de la vallée et dans la position des couches paraît confirmer cette manière de voir. En effet, le V. Vedro, parallèle aux vallées plus méridionales de Bugnanco, d'Antrona et d'Anzasca, et dont le fond est à peu près horizontal, appartient à un système de formes extérieures très différent de celui dont on vient de sortir; à un système que nous voyons largement développé dans beaucoup de vallées des environs de Domo-d'Ossola et

qui s'étend à l'E. jusqu'au V. Maggia. Ce n'est pas sans doute par hasard que les couches de gneiss, généralement inclinées dans les Hautes-Alpes, sont à peu près horizontales dans la plus grande partie du V. Vedro et sur une grande étendue des environs, et cette circonstance paraît avoir exercé une influence directe sur le nouvel aspect du pays.

Arrivé à Enzo-Crevola, on est surpris cependant de se voir entouré de couches verticales de gneiss; et c'est dans cette série de strates que l'on exploite une masse de marbre blanc de 10 mètres environ de puissance, subordonnée au gneiss. La même transition subite de la stratification horizontale à la verticale s'observe dans le V. Maggia, au midi du chef-lieu qui donne son nom à la vallée, et en V. Verzasca, entre Brione et Lavertezza. Dans ces deux vallées du canton de Tessin, la connexion des strates verticaux avec le gneiss horizontal de la partie moyenne des vallées est difficile à saisir; mais à Enzo-Crevola on voit distinctement les couches horizontales du mont Bual, au S.-O. de la route, s'arquer et passer à une position verticale, comme la branche descendante d'une voûte. En supposant que cette courbure ne soit pas un accident local, les couches d'Algaby, inclinées à l'O., peuvent être regardées comme la branche opposée de la voûte, et il deviendra probable que les calcaires d'Algaby et d'Enzo ont dans l'origine appartenu à une même masse subordonnée au gneiss, dont peut-être on retrouverait d'autres membres dans des localités intermédiaires. En effet, quand on se trouve sur les hauteurs au-dessus de Trasqueras, vis-à-vis du mont Bual, on croit voir le faite de cette montagne couronné de flysch, et au midi d'Algaby, une masse puissante de flysch et de calcaire grenu compose en partie le col du Passo della Pietra (2,487 mètres), qui conduit, par le V. Vaira, de Gondo dans la vallée d'Antrona.

Vallée de Binnen.

Un passage assez facile et couvert de pâturages jusque sur la hauteur conduit de Persal dans la vallée de Binnen. Ce passage, nommé le col de Rosswald, suit à peu près la limite entre le gneiss et le flysch du Kienhorn. Un second col plus méridional, séparé du premier par un pic de gneiss et micaschiste, conduit de même à la vallée de Binnen, mais en traversant un glacier. C'est sur la hauteur de ce col, dans les éboulis du pic intermédiaire, que l'on trouve les belles macles de ruthile recherchées pour les collections. Sur le col de Rosswald, on voit affleurer, tantôt de la dolomie blanche saccharoïde, tantôt du gypse. La puissance de cette masse dépasse 20 mètres; sa stratification est verticale, ainsi que celle du flysch, ou schiste noir et gris, talqueux, mais effervescent avec les acides, qui la suit au N. Vue de quelque point éloigné, cette puissante couche de dolomie, qui se prolonge à l'O. et à l'E., se distingue aisément par sa couleur blanche, et on la voit encore au milieu du flysch noir, dans la coupe abrupte de la Wandfluh, par laquelle la chaîne du Kienhorn se termine en formant une

des parois du défilé de la Binna — En descendant du col dans le vallon de la Stadtalp, on trouve, à la base de la pente, du micaschiste incliné au N., sous un angle qui ne dépasse pas 45°, et plus bas encore, auprès de la chapelle de Ste-Croix, ou H. Kreuz, la roche, toujours inclinée vers le N., 35° O., passe au gneiss. Dans tout ce trajet de Bryg à Ste-Croix, le gisement réciproque du flysch et du gneiss ne conduirait donc jamais à penser que celui-ci soit superposé au premier; toujours nous voyons le gneiss former la base, le stéaschiste ou le micaschiste repose sur le gneiss, sur celui-ci la dolomie et le flysch, et la stratification verticale de ces dernières roches, comparée à la position moins inclinée des couches de gneiss, pourrait même conduire un observateur superficiel à admettre entre les deux terrains une discordance de stratification.

Mais les choses prennent un aspect différent dans la vallée de Binnen proprement dite; la haute crête qui borde la vallée au N. se compose encore de flysch, en stratification verticale, ou même un peu inclinée au S. Dans le fond de l'alpe (en désignant par ce mot, comme en italien et en allemand, un ensemble de pâturages de montagnes qu'on ne fauche pas), dans le fond de l'alpe de Feldbach, qui, sur le dos de cette crête, forme une petite vallée longitudinale, on voit affleurer de la dolomie saccharoïde, et près d'elle du schiste amphibolique et du flysch micacé avec grenats. Cette dolomie, dont les roches adjacentes rappellent celles du V. Canaria, n'est pas la continuation de la dolomie du col de Rosswald; elle a moins de puissance, et sa direction prolongée passerait au N. de la crête du Kienhorn. Mais, en descendant dans la vallée de Binnen, on retrouve cette dernière dolomie vis-à-vis d'Imfeld, à une centaine de mètres au-dessus de la Binna. C'est une dolomie saccharoïde, d'au moins 30 mètres de puissance, qu'on peut suivre, sur la rive gauche de la Binna, jusqu'à la jonction de ce torrent avec celui qui descend de Ste-Croix. Dans le couloir vis-à-vis d'Imfeld, cette dolomie renferme beaucoup de pyrites, de l'arsenic sulfuré rouge et jaune, du zinc sulfuré jaune, de l'antimoine sulfuré argentifère gris. Les couches de cette dolomie inclinent au S. sous un très grand angle, de même que le flysch et la dolomie de Feldbach, et la terrasse qui la termine en haut à l'origine du couloir est dominée au midi par une paroi de gneiss, dont les strates sont également inclinées au S., sous un angle plus petit. Les rapports de gisement entre le gneiss et le flysch de cette localité paraissent donc absolument inverses de ceux qu'on a observés plus à l'O., et cet ordre de choses se soutient sur une si grande étendue, qu'on ne saurait décider lequel des deux modes de gisement doit être considéré comme représentant l'ordre régulier. Au passage de l'Albrun, qui, du fond de la vallée de Binnen, conduit à Formazza, on marche sur du gneiss toujours incliné au S., et, vers le N., on voit lui succéder une grande masse de dolomie, puis une masse de flysch, puis une seconde masse de dolomie qui, selon toute apparence, fait la continuation de celle du Feldbach, et, plus arrière encore, s'élèvent de hautes cimes de flysch qui séparent le fond du Binnenthal de celui de la vallée de

Blinnen et se lieut sans interruption au flysch du Gries et de la Nufenen. Dans ces masses de flysch du fond du Blinnenthal, la stratification est verticale, et il est assez probable que les inclinaisons, tantôt au N., tantôt au S., que nous venons d'observer entre Bryg et l'Albrun, ne sont que des oscillations accidentelles autour de cette même position verticale, desquelles en conséquence on ne peut tirer aucune induction sur la position réciproque primitive de deux terrains. On est confirmé dans cette opinion en voyant à sa droite, sur la terrasse au midi d'Imfeld, la coupe transversale d'un chaînon de gneiss, dont les couches, au lieu de s'incliner au S., à l'instar de celles de la haute chaîne, sont inclinées au N., de manière qu'entre ce chaînon et la paroi méridionale il se forme un vallon anticlinal, le Flaschenthal, par lequel on peut aller directement de la terrasse à la chapelle de Ste-Croix.

Cirques de Veglia et de Dever.

La question de la superposition relative des deux terrains restant indécise de ce côté de la chaîne centrale, nous résolûmes de la traverser, afin de gagner une connaissance plus détaillée du grand massif de gneiss que nous avons vu former la limite méridionale de la dolomie. Un passage, praticable pour les chasseurs et les contrebandiers, nommé *passo di Boccareccio* sur la nouvelle carte du Piémont, et passage de Levi par les habitants de Binnen, conduit de Ste-Croix dans les alpes de Davedro ou de Veglia (en allemand *Levi*), situées au fond de la vallée Vegero. La hauteur absolue de ce col peut être évaluée à près de 3,000 mètres. On monte d'abord une paroi assez roide, au S.-O. de Ste-Croix, et, après deux heures de marche environ, on atteint une vaste plaine circulaire, entourée de toutes parts, excepté au N., par un mur de rochers de plusieurs centaines de mètres de hauteur : c'est la Giebelalp, un des plus beaux cirques que je connaisse dans nos montagnes. Aux environs de Ste-Croix, le gneiss domine exclusivement. Ses couches faiblement inclinées au S., à la base de la montagne, sont évidemment horizontales sur la Giebelalp même et dans les escarpements qui l'entourent. Nous verrons tout-à-l'heure que cette nouvelle position des strates se soutient dans la majeure partie de la chaîne centrale, et que celle-ci, par sa structure, se rapproche plutôt du système à stratification horizontale des vallées méridionales que des montagnes qui environnent le Haut-Valais. La limite entre les deux systèmes de stratification horizontale et verticale semble passer par Ste-Croix et le Flüschenenthal ; elle indique une rupture profonde dans le sol, dont fait probablement partie la haute vallée anticlinale du glacier de Kattwasser.

Sur les sommités qui dominant le cirque de Giebelalp, sur le Halsen à l'E., sur le Hillenhorn à l'O., et sur d'autres points encore, on remarque une calotte régulièrement superposée, dont la roche noire contraste avec la couleur très claire et presque blanche du gneiss, et l'examen des éboulis démontre que cette

roche n'est autre que le véritable flysch, ou schiste noir, tantôt talqueux ou micacé, tantôt calcaire, ne différant en rien de celui du Kienhorn et du Valais en général. Ici donc, on ne saurait en douter, le flysch est réellement superposé au gneiss, et quoiqu'il soit difficile de rendre raison des grandes anomalies de gisement que nous venons d'observer, il est probable que le même ordre de succession entre les deux terrains doit être admis pour tout le pays.

Ce ne fut pas sans traverser quelques mauvais pas que nous parvînmes sur la hauteur du passage, après avoir escaladé la paroi de gneiss et une forte pente de neige au fond du cirque. Mais toutes les difficultés furent oubliées à la vue du magnifique tableau qui se présenta devant nous au bord méridional du col. A nos pieds nous vîmes un cirque profond, ayant au moins trois fois les dimensions de celui de Giebelalp, presque entièrement fermé par des rochers abruptes ou en terrasse en partie couvertes de glaciers, dont les eaux ne s'écoulent que par une gorge étroite au pied du mont Leone. A peine nous fut-il possible de distinguer dans le fond de cet amphithéâtre, à 1,500 mètres peut-être au-dessous de notre poste, les chalets de Veglia et la chapelle de San-Giacomo.

Il faut une demi-heure environ pour traverser le col d'un versant de la chaîne à l'autre. Le sol, sans être uni, se présente comme une plaine, comparé aux inégalités colossales qui l'avoisinent. Les couches les plus supérieures que l'on atteint au passage sont encore de gneiss passant au micaschiste; en descendant la paroi escarpée, on trouve un gneiss, ne différant en rien de celui de Domo-d'Ossola, et qui se continue jusqu'à une terrasse de peu de largeur, à quelques centaines de mètres au-dessous du col. Comme on devait s'y attendre, cette interruption de la pente signale un changement dans la nature du sol. En effet, la roche dominante de cette terrasse est un calcaire gris, schisteux, passant à un marbre blanc ou jaune, entrelacé de feuillet de talc et de mica, et alternant avec des couches plus considérables de talcschiste et de micaschiste, renfermant des grenats et des nids de quartz. Les couches de cette masse calcaire s'inclinent, sous un angle assez faible, vers le N., et la même inclinaison s'observe sur tout le contour du cirque, tant à l'O. qu'à l'E. Vers l'intérieur du cirque, la terrasse est coupée à pic, et il faut la tourner par l'E. pour continuer la descente vers les premiers chalets. Ici, à 100 mètres environ au-dessous du bord supérieur de la terrasse, la roche est toujours le même mélange de calcaire et de micaschiste à grenats, et rien n'indique que la masse intermédiaire soit d'une composition différente. De ces chalets au fond du cirque, il y a une dernière descente d'environ une demi-heure de marche; mais la roche du sol est cachée par les pâturages et les éboulis. A l'issue enfin de la gorge par laquelle les eaux du cirque se précipitent en cascades vers la belle plaine de Campo, on ne voit, jusqu'à la base des escarpemens, que des dolomies blanches saccharoïdes, divisées en couches qui plongent faiblement au N., et la même roche continue tout autour de la plaine. La base du gneiss de la chaîne centrale est donc formée ici par une

masse colossale de calcaire et de dolomie; masse dont la puissance, estimée du haut de la terrasse jusqu'au fond de Campo, ne peut guère être au-dessous de 1,000 mètres. A la place des granites et des porphyres, ou d'autres roches éruptives, que nos théories nous faisaient supposer au fond de ce cirque, où la nature semble avoir mis à découvert par un puits gigantesque la véritable base de nos hautes Alpes, nous trouvons des roches distinctement stratifiées, auxquelles on est forcé d'attribuer une origine neptunienne!

L'examen des masses voisines de Veglia ne laisse d'ailleurs aucun doute sur la réalité de la superposition du gneiss au calcaire dans une très grande étendue du pays, et la faible inclinaison des couches dans toutes ces montagnes ne permet pas, comme sur l'autre versant de la chaîne, d'avoir recours à des accidens de surplomb ou de renversement, pour rendre raison d'un fait aussi général.

En contemplant, d'abord, depuis les chalets de Veglia l'ensemble des masses qui ferment le cirque vers l'O., on reconnaît facilement, sur le bord droit de la gorge d'écoulement, des escarpements de dolomie ou de calcaire qui s'élèvent à peu près à la hauteur de la terrasse du fond, et dont les couches, régulièrement inclinées au N., passeraient dans le corps même de cette terrasse. Sur ces couches calcaires on voit reposer les couches parallèles de gneiss qui constituent la masse supérieure du mont Leone et dont le prolongement répondrait au gneiss du passage de Levi. En montant le Campo par la pente droite de la vallée, à l'alpe de Valé, nous avons suivi ces couches de dolomie et de calcaire jusque sur les hauteurs qui dominent Trasquèras et Isella. Non loin de Valé on voit affleurer le même schiste micacé avec grenats que nous avons vu sur les hauteurs au-dessus de Veglia. Sur la crête même cependant, au-dessus d'Isella, le calcaire prend un aspect si peu cristallin que nous fûmes longtemps à y chercher des fossiles, mais sans succès. Et ce même calcaire est ici recouvert par un gneiss parfaitement caractérisé, en couches parallèles à celle du calcaire. Nous avons cependant à peine commencé à descendre vers la route du Simplon, que nous trouvâmes le gneiss à la base aussi du calcaire, s'inclinant comme lui, sous un très petit angle, au N. La masse de dolomie et calcaire, si puissante dans le cirque de Veglia, va donc presque se terminer en coin vers le midi, et il est assez probable que la couche de marbre d'Algaby, s'élevant vers l'E. avec le gneiss qui la renferme, rejoint cette masse affaiblie; elle paraîtrait former une seule couche subordonnée au gneiss, si l'on ne connaissait que ces affleurements dans le fond et sur les hauteurs du V. Vedro.

Les mêmes rapports entre les deux terrains s'observent quand on descend de Campo par le V. Vegero à Varzo. La plaine de Campo est un cirque imparfait, dont la paroi abrupte présente la tranche de couches horizontales de dolomie saccharoïde et de calcaire blanc grenu, alternant avec des couches de micaschiste noir et gris d'un éclat très brillant. Ces masses puissantes continuent dans la

paroi gauche de la vallée, en s'élevant peu à peu vers le midi, et paraissent composer en grande partie le mont Cistello, dans les éboulements duquel on remarque, comme à Campolongo, des cristaux de trémolithe renfermés dans la dolomie saccharoïde. Ces roches blanches se distinguent aisément sur les hauteurs latérales de la vallée jusqu'au-dessus de Varzo; mais sur la route, elles font place au gneiss et au micaschiste, dont les couches horizontales ou à peine inclinées au N. se montrent au jour lorsqu'on descend à Varzo.

En traversant les hauteurs qui séparent le cirque de Veglia des alpes de Dever, nous avons suivi le calcaire dans une troisième direction. Des chalets de Veglia on monte vers l'E., où le col de Valtener offre un passage conduisant à la vallée de Bondaler, latérale de celle de Croveo. Des deux côtés du col, le marbre blanc, en couches inclinées au N. et présentant, sur la gauche surtout, de hauts escarpements, est la roche dominante, et la direction du chemin étant à peu près parallèle à celle des couches, la même roche, toujours très abrupte, continue jusqu'à Bondaler. On y trouve des couches subordonnées de micaschiste très éclatant qui atteignent quelquefois une puissance de quelques toises. Dans plusieurs de ces couches, évidemment intercalées dans le calcaire sur la droite du col, on distingue facilement des paillettes de feldspath qui cependant ne sont pas assez fréquentes pour qu'on ose donner à la roche le nom de gneiss. Mais si, pour éviter la descente à Bondaler qui obligerait de remonter pour atteindre Dever, on monte sur la gauche du col au bord supérieur des escarpements, on ne peut plus conserver de doute sur la nature de la roche qui forme des couches puissantes intercalées dans le calcaire. C'est un gneiss aussi parfaitement caractérisé que celui qui forme les parois du V. Antigorio, ou la chaîne centrale elle-même qui sépare ce pays du Valais. Je dois insister particulièrement sur le fait que ces alternances de gneiss et de calcaire ne rappellent en aucune manière l'intrusion violente de roches pyrogènes dans une masse stratifiée sédimentaire. On ne remarque pas de contournements brusques ou un tissu plus cristallin dans le calcaire à l'approche du gneiss; ses couches ne sont pas coupées obliquement par celui-ci. Les deux roches alternent entre elles, comme le gneiss alterne avec le micaschiste, ou le calcaire avec le flysch. Au milieu même de ses masses les plus puissantes, le calcaire, comme un marbre cipolin, renferme des paillettes isolées ou des strates très minces de mica; sur d'autres points, ces paillettes sont si serrées qu'on distingue à peine les parties calcaires; sur d'autres encore, la roche possède entièrement l'aspect et les éléments d'un vrai micaschiste, et la présence de quelques grains de spath calcaire ne s'annonce que par les acides; le micaschiste enfin se développe et passe au gneiss.

Après une montée d'environ 200 mètres, nous nous trouvons dans la partie la plus élevée des alpes de Muscagne qui descendent vers Dever, en formant une large terrasse haute et escarpée du côté du midi. Un passage par la haute chaîne communique d'ici avec la Kriegalp, dont les eaux se réunissent au-dessous de

Ste-Croix avec la Binna. Une descente assez forte et des escarpements séparent la terrasse de Muscagne de la plaine de Dever. Cette plaine, élevée de 836 mètres au-dessus de Premia en Antigorio et de 1,639 mètres sur la mer, est encore une vallée-cirque, à fond plat à peu près circulaire en partie marécageuse, entourée d'escarpements qui laissent échapper les eaux par une fente étroite, d'où elles tombent en magnifiques cascades dans la vallée de Craveo pour se réunir à la Toccia près de Baceno. Le croisement avec la vallée longitudinale de Muscagne et son prolongement oriental du côté de l'Albrun, est cause cependant que la forme de cirque est moins frappante que celle du cirque de Veglia.

On peut passer directement de Binnen à Dever par un col nommé *la Rossa* en italien (le *Gaispfad* en allemand). Vis-à-vis d'Imfeld, on monte d'abord à la terrasse qui sépare la dolomie du gneiss, et, après l'avoir traversée, il faut escalader la paroi de gneiss, abrupte comme un mur, au fond de cette terrasse. A la moitié de la hauteur environ, le gneiss est recouvert par une puissante nappe de serpentine, et cette roche compose toute la partie supérieure de la montagne. C'est une serpentine, tantôt massive, tantôt schisteuse à feuillets contournés et ondulés; une variété de l'espèce schisteuse, à feuillets très minces, plans et translucides, a reçu le nom d'antigorite; l'espèce massive surtout renferme beaucoup de parties cristallines de diallage, d'actinote et de fer magnétique. Vers le N.-E., la masse de serpentine se termine brusquement contre des masses de gneiss qui font corps avec le gneiss inférieur, en s'élevant considérablement au-dessus du col. Vers le S.-O. elle finit avant d'atteindre le passage de Kriegalp, entre lequel et celui de la Rossa s'élève le grand Cermandon, la plus haute cime de la chaîne entre le col de Boccareccio et l'Albrun. D'après les indications d'un habitant de Binnen qui y était monté à la recherche de minéraux rares dont il fait un petit commerce, la cime du Cermandon serait de flysch, à l'instar des autres sommités de cette chaîne; au-dessous du flysch il y aurait un banc assez puissant de dolomie, puis un banc de gneiss ou micaschiste, au-dessous de celui-ci de la serpentine, et plus bas encore on trouverait la même grande masse de gneiss qui supporte la serpentine de la Rossa.

La largeur du passage est assez considérable, moins cependant que celle du col de Boccareccio. La serpentine y présente les formes moutonnées que l'on regarde comme un indice du séjour d'anciens glaciers, et plusieurs de ses rochers sont polis et striés comme ceux de Zermatt ou d'autres localités voisines des glaciers actuels. En descendant du côté méridional, on voit la serpentine passer à un schiste serpentiniteux ou talcschiste vert, et immédiatement sous ces schistes on a le même gneiss qui, du côté opposé, fait la base du passage. Les couches de ce gneiss, ainsi que celles de talcschiste, inclinent au N., sous un angle d'environ 15°, tandis que sur le versant septentrional l'inclinaison, toujours très faible, est vers le midi. La hauteur du col au-dessus de Dever est de 846 mètres, et la puissance de la serpentine pouvant être évaluée au quart de ce nombre, il

reste plus de 600 mètres pour celle de la masse de gneiss qui la supporte. De cette épaisseur il y a cependant environ 50 mètres à déduire pour la masse inférieure au gneiss, et dont nous allons nous occuper.

Au pied de la descente, les éboulements cachent la roche; mais on la trouve au jour, soit à droite, soit à gauche. A l'O., immédiatement sous le gneiss, il y a du micaschiste brunâtre dont les grains de quartz sont unis à des grains de spath calcaire et qui renferme beaucoup de grenats. A la base de l'escarpement, des roches qui font saillie consistent en calcaire blanc grenu. Le même ordre à peu près se répète sur la gauche. Sous la dernière couche de gneiss, on trouve, en contact avec elle, un calcaire blanc grenu, très chargé de mica, et environ 10 mètres plus bas, à la base de la pente abrupte, des escarpements de dolomie blanche, saccharoïde, de 20 mètres de hauteur. En avant du pied de la montagne sont les collines qui font le bord de la plaine du côté N.-E. D'après l'inclinaison générale vers le N., ces collines présentent des pentes fortes et souvent rocheuses vers l'issue de la vallée, et toutes celles que nous avons examinées sont composées de marbre blanc, alternant avec du flysch, du micaschiste et de véritable gneiss. Les mêmes roches composent encore la grande descente de Dever à la terrasse de Golio, où la vallée de Bondaler se croise avec celle de Croveo. Le flysch, ou un calcaire grenu tellement chargé de mica qu'il faut l'épreuve des acides pour en discerner la nature, et un micaschiste noir d'un éclat brillant, sont les roches} dominantes, et leurs couches plongent sous un assez petit angle sous le gneiss de la haute chaîne. Au-dessous de Golio, un micaschiste à grenats alterne avec du gneiss jusqu'au débouché de la vallée. L'église de Premia est construite sur un micaschiste grenatifère, et, en montant la vallée par S.-Rocco, on ne voit jusque sur la terrasse du V. Formazza que des couches de gneiss qui, d'après la faible inclinaison générale vers le N.-O., doivent être superposées au micaschiste de Premia, en séparant celui-ci du micaschiste de Golio.

Au lieu de faire ce détour, on peut se rendre directement de Dever à Formazza et traverser les hauteurs au-dessus des villages allemands d'Ager (Agero) et de Saley (Saleccio). Sur toute cette route, nous vîmes jusqu'à la pente qui descend vers Saley, les flysch calcaires de la gorge de Dever, passant tantôt à un schiste calcaire identique avec celui des montagnes de Brienz ou du Simenthal, tantôt à un quartzite pareil à ceux qui alternent avec le marbre de Veglia et de Bondaler. L'inclinaison est toujours au N.-O., le flysch recouvre donc ici le gneiss, de même que dans les vallées de Croveo et de Davedro. Ce flysch s'étend de même sur les montagnes à l'E. de la V. Antigario. Depuis les hauteurs au-dessus de Saley on distingue, dans les hautes cimes de la chaîne opposée, le schiste noir du terrain de flysch recouvrant le gneiss qui compose la masse de la chaîne, et, en passant de Formazza à Bosco j'ai rencontré sur le col un schiste amphibolique et un schiste argileux vert sale foncé, comme on en voit souvent parmi les schistes du

flysch. On trouve dans les voyages de de Saussure une description assez détaillée des roches de ce passage.

Avant de pousser plus loin nos recherches, il sera convenable de nous arrêter quelques instants, afin de fixer, s'il est possible, nos idées sur les faits exposés jusqu'ici, ne fût-ce que pour nous mettre en garde contre quelques conclusions séduisantes, dont peut-être on n'entrevoit pas d'abord toutes les difficultés.

En voyant des deux côtés de la haute chaîne, à la base du col de la Rossa, les couches de dolomie plonger vers l'axe de la chaîne, on pourrait facilement admettre que ces dolomies, identiques dans leurs caractères minéralogiques, traversent la montagne, en ne formant qu'une seule masse, qui supporterait le gneiss qui la recouvre comme un terrain en supporte un autre plus récent; et le gneiss lui-même étant recouvert de flysch, tandis que la masse supérieure de dolomie et calcaire repose sur le gneiss d'Antigario, il en résulterait une double alternance de gneiss et de calcaire sur une échelle colossale. Cette manière de voir n'aurait rien d'inadmissible. Ce ne sont point d'abord les dimensions qui doivent effrayer dans les Alpes, et des alternances de gneiss, de calcaire et de dolomie sont si ordinaires dans ces montagnes, les exemples de nids calcaires enclavés dans le gneiss et finissant en coin sont si rapprochés (à Algaby, à Crévolâ et ailleurs), qu'on sera assez disposé à croire qu'un lambeau du flysch et de la dolomie du Valais a pu s'étendre vers le midi jusque sur les hauteurs d'Antigario pour s'y terminer en coin. Il est vrai que la grande rupture que nous avons remarquée sur le versant valaisan de la haute chaîne ne permet pas de supposer une connexion immédiate des deux masses dolomitiques; cette rupture cependant, ayant eu lieu évidemment au milieu de la masse de gneiss, ne paraît pas indiquer une différence d'âge entre les terrains en stratification horizontale et ceux stratifiés verticalement; c'est, selon toute probabilité, un accident mécanique et postérieur à l'origine de deux terrains; et si l'on fait tourner les strates verticales de la vallée de Binnen jusqu'à ce qu'ils deviennent horizontaux, il est clair que la dolomie de cette vallée se trouvera à peu près de niveau et en contact avec celle de Dever. D'autre part, les gneiss supérieur et inférieur, soit sur la route du Simplon, soit dans la vallée Formazza, ne paraissent former qu'une seule et même masse, de manière qu'en admettant la connexion du flysch de Dever avec celui du Valais, il faudra supposer qu'un lambeau du flysch valaisan ait percé par le milieu de ce massif de gneiss, qui au-dessus formerait une espèce de pont, ce qui semble peu naturel. Rien d'ailleurs n'oblige à cette supposition, et l'isolement de tant d'autres masses de calcaire ou de flysch dans le gneiss étant hors de doute, on peut admettre sans inconvénient celui de la masse de Veglia et Dever. Cette masse, envisagée de cette manière, sera l'analogue des masses calcaires d'égale puissance, enclavées dans le gneiss des vallées de Lauterbrunnen, de Grindelwald, d'Urbach et de Guttannen; et il faut ajouter qu'en tirant par Viesch une perpendiculaire à la direction générale du Haut-Valais, cette droite va joindre

à peu près la Rossa d'une part et la Jungfrau de l'autre. Ces grands noyaux calcaires enveloppés par le gneiss se trouvent donc presque exactement vis-à-vis l'un de l'autre sur les deux versants du système alpin.

Une autre question, et ce n'est pas la moins difficile, se rapporte aux formes extérieures de ce groupe de montagnes. Des cirques aussi frappants par leur étendue, leur profondeur et la régularité de leur contour que ceux de Giebelalp, de Veglia et de Dever, doivent avoir une origine commune, et tous leurs caractères nous portent à admettre, pour expliquer cette origine, des effondrements partiels, analogues à ceux qui, dans les terrains meubles, donnent lieu aux entonnoirs du gypse. C'est par le même principe que les plus célèbres de nos géologues s'accordent à expliquer les grands cirques des pays volcaniques. Quant à la fréquence des cirques dans cette partie des Alpes, on en trouvera des raisons suffisantes dans le peu de solidité des roches qu'on trouve à la base du gneiss et dans l'horizontalité des couches. La dolomie saccharoïde, en effet, est souvent si peu cohérente qu'elle devient friable, et, sur beaucoup de points, elle est associée à des amas de gypse, roche plus destructible encore; et il est évident que des couches solides horizontales, quand elles ne sont plus supportées, doivent se rompre à plomb sur des espaces à peu près circulaires, tandis que, dans des systèmes de couches très inclinées, une partie des couches glissera sur les plans de stratification et fera naître des crevasses ou des vallées longitudinales. Cependant, si nous admettons pour nos cirques une origine pareille, nous devons nécessairement nous attendre à trouver dans leur intérieur, en partie du moins, et quoique rompues en grands fragments, les roches qui forment le bord supérieur de leurs parois, savoir, du gneiss dans celui de Veglia, de la serpentine dans celui de Dever; et à la base des escarpements, il faut supposer une faille continue qui sépare la roche du sol de celle des parois. Or, il suffit de regarder nos coupes pour se persuader qu'il en est tout autrement. Nous voyons le calcaire et le flysch sortir de dessous les parois de gneiss et s'avancer en faisant saillie l'un sous l'autre, vers l'intérieur du cirque, sans aucune apparence de faille, et ce n'est que dans la partie assez resserrée du fond, où celui-ci est parfaitement plan et couvert de pâturages, qu'on pourrait supposer qu'ont eu lieu une rupture du sol et un affaissement. L'ensemble des formes extérieures et de la disposition des masses porte plutôt à l'idée que ce sol a été mis à découvert par une destruction quelconque et par l'enlèvement des masses qui, à l'origine, devaient combler le vide actuel des cirques; il rappelle ces grands et nombreux cirques du Jura suisse, dans lesquels on trouve des terrains de plus en plus anciens à mesure que l'on avance de la circonférence vers le centre, et la théorie qui expliquera l'origine de ces derniers pourra probablement être appliquée aussi aux cirques qui viennent de nous occuper.

Nous terminerons ces réflexions par quelques mots sur la serpentine de la Rossa. Quelle est, demandera-t-on, l'origine de cette masse étrangère? Devons-

nous croire qu'un dyke de serpentine a percé le gneiss sur l'axe de la chaîne, pour s'épancher à sa surface, à l'instar des basaltes et des mélaphyres ? Je ne le pense pas.

Dans les Grisons, en Valais, en Piémont, en Toscane, dans ces pays classiques de la serpentine, je ne connais aucun fait qui pût être cité à l'appui d'une pareille hypothèse. Cette roche se présente d'ordinaire dans les terrains schisteux sous forme de grands amas dont les schistes suivent le contour; et lorsque l'on voit des ramifications partir de ces amas, elles forment des filons-couches, et ne coupent jamais les plans de stratification des roches traversées. Quelquefois aussi, la serpentine forme des couches d'une grande puissance, intercalées entre des couches de schistes ou de gneiss; ou bien elle devient schisteuse elle-même, et sa liaison avec les autres schistes est si intime qu'on ne saurait lui assigner une origine différente que la leur. Il me paraît résulter de là que l'on suivra de plus près les analogies de la nature, en envisageant la serpentine de la Rossa comme un membre subordonné, soit du terrain de gneiss, soit de flysch, mis à découvert par la destruction des masses superposées, dont peut-être nous voyons le dernier reste dans le Cermandon. On pourra alléguer en faveur de la connexion les masses de pierre ollaire subordonnées au gneiss vertical du Valais qu'on exploite près d'Aernen, dans la vallée d'Éginen et au midi d'Oberwald. En admettant que le flysch de Binnen corresponde à celui de Dever, le gneiss vertical, en remettant ces masses dans la position horizontale, se trouvera juxtaposé au gneiss de la Rossa, et la pierre ollaire prendra la place de la serpentine, qui a à peu près la même composition chimique. D'autres raisons, presque aussi fortes, parlent plutôt en faveur de la réunion de la serpentine avec le flysch. C'est d'abord la roche à laquelle la serpentine se trouve ordinairement subordonnée dans les Alpes et dans tout le midi de l'Europe; et nous en avons vu un exemple peu éloigné au midi de Visp, à l'entrée de la vallée de St-Nicolas. Donc, puisque nous savons que le flysch couvre la plupart des sommités aux environs de la Rossa, on concevra que sur quelques points ce terrain de flysch puisse être représenté par un de ses membres subordonnés, et que, de même que sur d'autres points nous voyons la dolomie ou le calcaire prendre la place du flysch, ce soit la serpentine qui représente ce terrain sur la Rossa.

Val Formazza et sources de la Maggia.

La succession des terrains dans la partie supérieure du val d'Antigario dans celui de Formazza est assez connue, et je ne l'indiquerai que sommairement. On sait que de Soppiano, qui est sur un gneiss faiblement incliné au N.-O., on monte par un gradin abrupte à la terrasse de Formazza, qui ferme le fond de cette longue vallée méridienne que parcourt la Toccia. Sur la hauteur de la Cima Rossa, que l'on laisse à sa droite en sortant du passage de l'Albrun par Lebendu, on remar-

que, à plusieurs centaines de mètres au-dessus de la vallée, et composant toute la partie supérieure de la montagne, une puissante masse de flysch, et avant d'atteindre Frutval, le flysch se montre sur plusieurs bandes parallèles dans la vallée même. Ce flysch paraît plonger sous le gneiss granitique qui constitue les rochers par lesquels se précipite la belle cascade de la Toccia, et c'est à peu près là que passerait la direction prolongée du massif de gneiss du Simplon. Au haut de la chute, le gneiss se cache sous des micaschistes qui alternent avec des dolomies, tantôt saccharoïdes, tantôt cavernueuses (cargneules), et qu'on ne saurait séparer du véritable flysch. En effet, soit que l'on s'avance vers le passage du Gries, soit que l'on prenne à droite par la longue plaine de Valdesch ou de S. Giacomo, on n'a bientôt des deux côtés de la vallée que des montagnes à schistes bruns et noirs; et les éboulements ne contiennent que du flysch micacé, du schiste noir noduleux, pareil à celui de la Nufenen, et soit à la séparation des deux vallées soit à l'approche des deux cols du Gries et de S. Giacomo, des dolomies, des marbres blancs et du gypse. L'inclinaison au N. se soutient dans la vallée qui conduit au Gries, en devenant de plus en plus forte à mesure que l'on s'élève vers le col; elle est verticale sur le col même. Dans la vallée de San Giacomo, au contraire, l'inclinaison de la chaîne orientale est constamment au S. 28° E., et à la séparation des deux vallées. Aux environs de Marasc, on voit aussi à l'O. de la vallée, au milieu des montagnes d'une inclinaison opposée, un groupe de montagnes inclinées au S., dont fait partie le Thalihorn.

Pour reconnaître ces rapports remarquables entre les schistes feldspathiques et le flysch jusqu'à la grande vallée Levantina, il nous restait à traverser le groupe de hauteurs presque inconnues, dans lequel les trois vallées de Bavona, de Peccia et de Fuzio se joignent au midi d'Airolo par des cols très voisins, mais assez sauvages et peu fréquentés. Ce n'est même que depuis peu qu'on a distingué la vallée de Bavona de celle de Bosco, que les meilleures cartes jusqu'ici avaient réunies en une seule vallée.

Après avoir passé le pont de Tessin, au-dessous d'Airolo, nous prîmes la route de Fontana pour monter aux hauteurs au-dessus du val Cristallina. Avant d'atteindre le premier village, notre attention se porta sur plusieurs blocs de calcaire noir, rendu miroitant par des paillettes presque imperceptibles de talc ou de mica, mais se dissolvant en grande partie et avec une forte effervescence dans les acides. Ces blocs renferment des Bélemnites pareilles à celles de la Nufenen. L'éloignement cependant des deux localités et les différences de la roche font présumer que l'origine des blocs de Fontana doit être cherchée dans les ravins derrière ce village, où un calcaire semblable se trouve en place. Ce serait donc un troisième point dans les limites de notre carte où l'on aurait découvert des restes organiques dans le terrain de flysch, et je pense qu'en prenant plus de temps que nous ne l'avons fait pour ces recherches, on parviendra à multiplier davantage encore ces localités.

Au-dessus de l'alpe de *Cristallina*, située dans une ouverture de la haute chaîne de flysch qui limite vers le midi la vallée du Tessin, on se voit en face d'un beau groupe de montagnes, en partie couvertes de glaciers, dont le versant méridional descend dans le fond du val Peccia. Ce groupe se joint vers l'E. à la chaîne que l'on vient de passer par le col de Narret qui conduit à l'alpe très étendue de Campo-la-Forba et à Fuzio; à la droite, un col ou une espèce de plateau conduit au val Bavona. Ayant décidé de commencer notre exploration par cette dernière vallée, nous eûmes d'abord à gravir une longue pente de neige qui conduit au col, ayant à notre droite des escarpements de marbre blanc très chargé de mica, dont les couches plongent au S. sous un très grand angle. Sur le col, une vue très imposante, mais rien moins que pittoresque, se déploya devant nous. A nos pieds, nous voyions un vaste et profond entonnoir, dont le fond est occupé par un lac sans issue visible, et presque entièrement gelé, quoique nous fussions à la fin de l'été; au N. et du côté opposé au col, des sommités abruptes et déchirées; vers le S.-O., par-dessus le bord méridional de l'entonnoir, le majestueux massif du grand Pasādan, couvert de glaciers et de neiges. Les éboulements que nous traversâmes pour gagner ce second col ne contenaient que des fragments de gneiss; mais là où la roche perce à travers les éboulements, c'est toujours du flysch noir ou brun micacé, pareil à la roche dominante de la chaîne que nous venions de passer à *Cristallina*; et ce n'est qu'après avoir atteint le col que nous marchâmes sur le gneiss en place; c'est, en effet, le gneiss qui compose le col et la continuation de ses rochers vers le midi. La direction des couches subit ici une inflexion qui, nous le verrons plus loin, est d'un haut intérêt. L'inclinaison, au lieu d'être vers le S. 28° E., comme dans la chaîne de flysch et dans les terrains de la plaine de S. Giacomo, tourne à l'E. ou vers le S. 80° E.; et, si l'œil ne nous a pas trompé, ce sont les mêmes couches, d'abord inclinées au midi, qui, en se couchant, prennent cette nouvelle inclinaison vers l'E.

La descente de ce col dans les alpes les plus reculées du val Bavona est rapide et très longue. A la base d'une première marche d'à peu près 300 mètres de hauteur verticale, on se trouva dans une gorge très étroite qui remonte vers le N. et le N.-O., en communiquant avec des creux ou des cirques déserts et rocheux, en partie occupés par de petits lacs, et dont les pentes moins abruptes sont couvertes de glaciers et de champs de neige. La roche inférieure au gneiss est un schiste amphibolique qui lui-même recouvre une puissante masse de dolomie saccharoïde, ces deux roches plongeant vers l'E. comme le gneiss qui leur est superposé. Le torrent a creusé son lit dans la dolomie, et le tournoiement des cailloux produit par l'impulsion de l'eau y a creusé et y creuse encore de nombreuses caves de toute grandeur. Il se pourrait que cette dolomie fût la continuation de la masse du marbre blanc qui au N. borde le premier col; peut-être aussi traverse-t-elle la chaîne vers l'O., en faisant corps avec celle qui

affleure dans la vallée de S. Giacomo, et, dans ce dernier cas, on pourra l'envisager comme le prolongement de la dolomie que nous avons vue plonger sous le gneiss de la Rossa dans la vallée de Binn.

A l'issue de la gorge dolomitique, on se trouve sur le bord supérieur d'un nouveau précipice, égal en profondeur à celui que l'on vient de descendre. Le fond de cette vallée inférieure est resserré entre de hautes parois de rochers noirs, en partie bombés et sans stratification apparente, rappelant l'aspect extérieur de roches éruptives. En examinant le pied de ces sombres rochers, nous leur trouvâmes une composition assez singulière. A la première vue on croirait voir un gneiss très chargé de petites paillettes de mica noir et renfermant des nœuds, souvent assez considérables, de quartz grenu et d'autres d'amphibole noire chatoyante; mais, en essayant l'effet des acides, cette roche fait une vive effervescence dans presque toutes ses parties, et on reconnaît bientôt à la simple vue que les paillettes blanches dispersées dans toute la masse, et principalement dans ces nœuds de quartz, paillettes que l'on prenait pour du feldspath, sont en réalité du spath calcaire. On ne peut douter que cette roche, d'une puissance de plusieurs centaines de mètres, n'appartienne essentiellement au même système calcaire et dolomitique que la dolomie qu'elle supporte, et on y reconnaît encore une de ces transitions remarquables entre les roches calcaires sédimentaires, et celles réputées primordiales qui se sont offertes sur une si large échelle dans les alentours de Veglia et de Dever.

En sortant de la gorge on se trouve auprès des chalets de Campo, et après une nouvelle descente on atteint la chapelle de S. Carlo. C'est bien du vrai gneiss qui compose ici tous les rochers; mais, son extérieur présentant le même aspect que la roche calcaire derrière Campo, il nous fut impossible de déterminer la limite entre les deux terrains. Dans toute la vallée inférieure, jusqu'à sa réunion avec la vallée de la Maggia près de Caveragno, le gneiss domine seul. On se trouve de nouveau dans le système de gneiss à couches peu inclinées qui occupe de si grandes surfaces dans les vallées d'Antigorio, d'Osernone et de Maggia. Aux environs de Cevio, l'inclinaison de ce gneiss est au S. sous un angle de 15 à 20°; et à une lieue environ au-dessus du village, sur la belle route qui s'élève en nombreux zigzags jusqu'à Cerentino, ce gneiss enveloppe une couche de marbre blanc.

Mais si l'on monte dans la vallée principale de Bignasco à Broglio et à Peccia, on voit, dès le premier de ces villages, ces faibles inclinaisons et la direction des couches qui étaient suivant le système des Alpes remplacées par des directions qui oscillent entre la 9^{me} et la 3^{me} heure de la boussole, et par de fortes inclinaisons vers l'est; et cela, sans qu'on puisse apercevoir une transition entre les deux directions par une courbure des couches. De même que dans le val Formazza, à l'ouest de Marasc, les massifs diversement stratifiés sont enchâssés les uns dans les autres comme des cristaux d'un clivage différent qu'on aurait forcés au contact par une pression latérale. Ce système de couches inclinées vers l'E-

acquiert une grande extension dans la partie septentrionale du canton du Tessin, et il a déjà été indiqué par M. Escher et moi, sous le nom de *système de l'Adula*, dans notre Description géologique des Grisons. Le col de S. Giacomo peut être regardé comme la limite occidentale de ce système; à l'E. il s'étend pour le moins jusqu'au Bernina, et il importe de remarquer que son étendue du N. au S., en suivant la direction des couches, n'est à peu près que le quart de celle qui est parallèle au système principal des Alpes.

Dans le val Peccia, le gneiss et le micaschiste, inclinés à l'E., ou plus exactement vers le N. 40° E., sont les roches dominantes jusque dans le fond très élevé où la vallée touche au Campo-la-Torba. Sur l'alpe de Suena, à une grande hauteur au-dessus du bord droit de la vallée, on exploite une puissante couche de pierre ollaire, subordonnée au gneiss. Cette couche traverse la montagne et s'exploite aussi dans le val Bavona. C'est à Suena principalement qu'autrefois les collecteurs de minéraux trouvaient les beaux cristaux d'apatite, de sphène, de rutil, etc. Vers le fond de la vallée, on traverse une masse de marbre blanc et de flysch de près de 100 mètres de puissance qui, peut-être, est contiguë à celle de Campo dans le fond du V. Bavona; la direction anormale des couches cependant jette une grande incertitude sur ces rapprochements. On pourrait même hasarder une combinaison beaucoup plus frappante entre la pierre ollaire de Suena et celle du Haut-Valais. En effet, si l'on admettait que la superposition apparente du gneiss au terrain de flysch fût réelle, le gneiss du val Peccia serait la branche descendante de la grande voûte de gneiss, dont le faite formerait les couches horizontales de la chaîne centrale qui sépare Veglia et Dever du Haut-Valais, et les couches de pierre ollaire, tant à Peccia qu'en Valais, conjointement avec la serpentine de la Rossa, seraient alors des membres détachés d'une même couche talqueuse, subordonnée à cette voûte.

La haute vallée de Fusio est séparée de la vallée inférieure par un gradin assez rapide, analogue à celui qui sépare Formazza d'Antigorio. La belle route, praticable pour les voitures, qui, de Peccia, s'élevait en serpentant jusqu'à Fusio, a été détruite par les inondations de 1834, et le village de Peccia lui-même, au pied de ces éboulis, est voué à une ruine presque certaine par la chute des roches qui, depuis ce désastre et en suite du déboisement progressif des montagnes, ne cessent de se détacher des hauteurs du côté gauche de la vallée. Les blocs de ces éboulis sont de gneiss, et, en montant vers Fusio, on ne voit dans les escarpements du côté droit ou occidental que des gneiss et des schistes amphiboliques fortement inclinés vers le N. 70° E. Les mêmes roches dominant de ce côté de la vallée jusqu'au Campo-la-Torba, et si, à une lieue au nord de Fusio, on franchit la chaîne gauche par la crête de Sassello, on ne sort du gneiss qu'après être descendu d'environ 300 mètres sur le versant oriental de la chaîne. A cette hauteur, les escarpements du gneiss se terminent à une terrasse de collines à pâturages et en partie boisées, occupée par les alpes de Prato et de Ruvina, et on se retrouve

dans le flysch de Cristallina et de Fontana. La stratification de ce flysch est verticale, dans la direction de h. 8 de la boussole; avec les schistes noirs ordinaires alternent des couches de calcaire gris grenu, et, plus en avant, près de Nante, ce flysch renferme des masses puissantes de dolomie qui, dans la paroi droite de la vallée du Tessin, forment des escarpements jusqu'aux environs de Dazio-Grande.

Au midi de la crête de Sassello, la chaîne de gneiss subit un abaissement très considérable, qui donne lieu à un passage facile et fréquenté entre Fusio et le val Leventina par l'alpe de Campo-Longo. Cet abaissement annonce un changement dans la nature de la roche, et l'on sait en effet que ce col était connu dès le siècle passé par ses belles dolomies saccharoïdes et les cristaux de trémolithe, de corindon, de tourmaline verte et blanche et d'autres minéraux qu'elles renferment. La dolomie est amplement développée sur le faite même du col; sa largeur doit être de près d'une demi-lieue, et elle s'étend assez loin sur les deux versants de la montagne. On la voit affleurer jusqu'à l'approche de Fusio. Sur le col elle repose, en couches inclinées au midi, sur le gneiss de Sassello, et, d'après les blocs descendus des hauteurs méridionales, elle est recouverte par du mica-schiste grenatifère et du quarzite qui, peut-être, ne sont que des roches subordonnées dans ce terrain de dolomie et de flysch dont l'étendue vers le midi paraît être très considérable. En effet, si l'on va de Fusio à Mogno, on voit le pied de la montagne composé de flysch dont les couches participent à l'inclinaison vers l'E. des roches de Fusio et de Peccia, et derrière Mogno on exploite du calcaire blanc grenu comme pierre à chaux. Sur le versant opposé, on trouve de même des carrières à chaux dans la commune de Dalpe, au midi de Dazio. Cependant le terrain dolomitique ne descend pas de ce côté jusqu'au fond de la vallée; car, près de Dazio, à l'entrée de la gorge de Faido, on a du gneiss, et, entre Piota et Madrano, un mica-schiste qui fait également passage au gneiss, compose les rochers dernièrement percés par des galeries et traverse la vallée, en formant une saillie abrupte sur la rive droite du Tessin.

Le gneiss de Sassello, entouré de trois côtés par le flysch et la dolomie, termine vers l'E. le grand massif de gneiss du Simplon, dont nous avons suivi les limites pas à pas depuis la route du Simplon jusqu'ici. Ce massif, qui, dans sa partie occidentale et moyenne, suit la direction du Haut-Valais, subit une inflexion à son entrée dans le système de l'Adula, et s'éloigne davantage du méridien pour suivre la direction de la vallée de Ronco. Sa largeur avait paru déjà très restreinte au passage de la Rossa, et quoique, plus à l'E., sa limite méridionale soit difficile à déterminer et plus difficile encore à tracer avec exactitude sur nos mauvaises cartes, elle ne paraît plus augmenter en s'avancant, et, sur les hauteurs au-dessus de Fusio, la vue embrasse facilement le terrain du flysch de Campo-la-Torba d'une part, les dolomies de Campo-Longo de l'autre, et, entre eux, le gneiss de Sassello.

Réflexions générales.

Si nous essayons de tirer des faits exposés quelques conséquences sur l'origine et le mode de formation de ce groupe de montagnes, nous nous trouvons arrêtés dès l'abord par la même question fondamentale qui déjà, dans le siècle passé, a divisé les géologues entre les opinions de Pini et celles de de Saussure, et que nous ne voyons pas encore irrévocablement résolue de nos jours ; je veux parler de la question sur la cause primitive et la vraie signification de la structure stratifiée des gneiss et des micaschistes. Doit-on regarder ces couches souvent verticales des roches cristallines comme ayant été successivement déposées sur un sol horizontal, puis redressées en leur position actuelle, ou bien sont-elles dues aux effets d'une action moléculaire ou de retrait, et analogues aux divisions tabulaires et prismatiques des roches d'origine ignée ; ou enfin, est-ce l'étirement d'une masse visqueuse en mouvement qui a fait naître cette stratification, comme nous voyons de nos jours cette cause produire un effet pareil dans les glaciers et dans les courants de laves ?

On ne peut méconnaître qu'en adoptant une de ces dernières manières de voir, on débarrasserait le problème à résoudre de ses plus grandes difficultés, puisqu'il serait permis de négliger à peu près toutes les considérations qui se rapportent aux différences de stratification, et que les faits les plus obscurs s'expliqueraient assez facilement par les théories reçues. On supposerait, avant l'origine de nos alpes, un terrain de flysch et de calcaire largement développé en couches horizontales ; puis, par la pression des agents souterrains, ce sol aurait été rompu sur plusieurs lignes parallèles, et les fluides de l'intérieur se seraient répandus à la surface par-dessus les calcaires, comme à Veglia et dans l'Oberland bernois ; ils auraient enveloppé des fragments de couches brisées, comme à Algaby, Crevola et Cevio ; ou les auraient portés à de grandes hauteurs, comme aux sommités du Cermandon et d'autres pics de la chaîne centrale ; des filons-couches auraient percé les schistes, peu résistants dans le sens de leur stratification ; par suite de la chaleur et des vapeurs minérales, les roches traversées auraient été modifiées et en partie imprégnées des substances épanchées ; la pression latérale exercée par la masse poussée en dehors aurait redressé les couches horizontales, et, par son retrait lors de son refroidissement, les couches les plus voisines auraient été entraînées vers l'axe des dykes. En un mot, le gneiss et le micaschiste de nos Alpes centrales auraient joué le rôle du porphyre pyroxénique du Tyrol méridional, et l'on n'aurait qu'à leur appliquer la théorie admirée à si juste titre qui a donné un nouvel essor à la géologie moderne.

Le classement des schistes cristallins parmi les roches d'épanchement pourrait être soutenu par des arguments qui ne manquent pas de force. Le fait seul que pour chaque roche massive on peut citer une roche schisteuse composée des

mêmes éléments minéralogiques et que ces deux espèces de roches passent souvent de l'une à l'autre, semble démontrer que leur origine ne doit pas être très différente. En effet, au Saint-Gothard, au Grimsel, et dans tous les massifs des Alpes en général, l'union entre le granite, le gneiss et le micaschiste est si parfaite que, malgré la grande divergence de leurs théories, Pini, de Saussure et M. Lardy se trouvent d'accord sur l'impossibilité de séparer ces roches quant au mode de leur formation; M. Escher et moi nous sommes arrivés à la même conclusion, soit pour la serpentine massive et schisteuse, soit pour le gabbro massif et le schiste diallagique, dans le cours de notre exploration géologique des Grisons. En voyant d'ailleurs les schistes cristallins, au contact avec les rochers sédimentaires, exercer des influences analogues à celles des roches pyrogènes, par le développement d'un état plus cristallin et de divers minéraux, comme le grenat, l'amphibole, la pyrite et d'autres, on en conclut naturellement que les conditions dans lesquelles ces roches ont agi au contact doivent avoir été les mêmes. D'autre part, l'examen des roches schisteuses qui font partie des terrains neptuniens et disposés par couches nous prouve qu'en bien des cas la structure schisteuse est en discordance avec la division des couches, et que la règle de de Saussure, qui jugeait de cette dernière d'après la position des paillettes de mica, se trouve quelquefois en défaut. De ce fait il résulte nécessairement que l'état schisteux n'est pas un effet de la pesanteur comme la stratification par couches, et que l'on commettrait une erreur très grave, si l'on admettait que partout où il y a des schistes obliques ou verticaux, il y ait eu un redressement. Il paraîtrait que, même pour les terrains sédimentaires, l'on risque de se tromper sur le sens de la véritable stratification par couches. Dans la paroi de l'Eiger qui fait face au glacier de Grindelwald, on aperçoit dans le calcaire stratifié horizontalement un grand nombre de divisions à peu près verticales, parallèles au plan de contact avec le gneiss, tandis que les séparations des couches sont presque effacées, et si, à une plus grande distance du gneiss, la véritable stratification n'était pas évidente, on ne douterait pas que ce calcaire n'ait été redressé dans une position verticale. Supposons donc qu'une autre masse de gneiss soit venue se placer en contact avec l'escarpement septentrional de l'Eiger et qu'elle y ait produit le même effet; il en serait résulté une bande de calcaire stratifiée verticalement, intercalée entre deux masses de gneiss, et pareille à la bande de flysch dans le Haut-Valais. L'on sait enfin par les profils des montagnes de l'Oberland bernois publiés par M. Escher dans le vol. III des *Mém. de la soc. helv.*, que, jusqu'à une distance de plusieurs centaines de mètres du contact, le gneiss qui recouvre le calcaire ne possède aucune stratification distincte; que, le feldspath y étant peu développé, la roche est plutôt un quartzite et renferme des blocs de calcaire alignés parallèlement à la ligne du contact, et qu'à une assez grande distance seulement, dans le véritable gneiss auquel le quartzite fait passage, l'on reconnaît cette stratification verticale qui divise la masse du gneiss en grandes tables de plus de 1,000

mètres de hauteur. Mais, par sa régularité même, cette stratification du gneiss contraste fortement avec celle des chaînes calcaires les plus voisines. Ces strates cristallins, toujours plans et droits, suivent la même direction à des journées de distance, tandis que les couches calcaires offrent les contournements les plus bizarres, et cependant on aurait dû s'attendre à voir augmenter les indices des actions mécaniques et le désordre dans la position des strates à mesure que l'on s'avancerait vers le centre des grands massifs cristallins, dans lesquels probablement ces actions ont pris naissance.

Des raisons non moins fortes cependant ont de tout temps déterminé les géologues qui ont fait des schistes cristallins leur étude particulière, à regarder les strates du gneiss et des roches analogues comme de véritables couches produites par la pesanteur, quoique déposées à l'origine peut-être sous des formes différentes de celles que nous leur trouvons aujourd'hui. D'abord on n'a pas réussi jusqu'ici à découvrir dans ces roches les caractères les plus ordinaires des roches d'épanchement : on ne les a pas vues en véritables filons, limités par des salbandes, traverser les strates d'autres terrains ; je ne connais même pas de filons de quartzite ou de granite qui, à quelque distance du contact, donnent passage à une roche schisteuse ; jamais encore ces roches ne se sont montrées divisées en prismes ; leur structure schisteuse est trop régulière et uniforme pour qu'on puisse la comparer à cet état schisteux sous lequel on voit quelquefois, mais toujours sur des espaces très limités, les roches massives et même les laves récentes, et qui paraît, en effet, résulter d'un étirement ou mouvement intérieur. Mais ce sont principalement les alternances des couches du gneiss avec des couches d'autres roches qui paraissent s'opposer à sa réunion avec les roches d'épanchement ; en effet, on ne doit pas oublier que ces roches intercalées ne sont pas seulement des amphibolithes, des micaschistes, des serpentines schisteuses ou ollaires, des quartzites, des feldspaths compactes et des roches analogues d'une origine également problématique, mais parfois aussi des grès et des conglomérats, comme en Tarentaise et à Valarsine, des calcaires et des dolomies, comme dans le pays qui vient de nous occuper. Il faut convenir qu'en voyant sur de grands espaces les assises de gneiss régulièrement parallèles à ces couches étrangères et partageant toutes leurs inflexions, on ne peut leur refuser le nom de véritables couches, sans risque de mettre en doute les bases mêmes de notre science. Et encore pourrait-on peut-être, dans l'espoir d'échapper à d'autres difficultés majeures, se résoudre à ne voir dans ces roches subordonnées que des fragments de couches étrangères enveloppées par le fluide igné, si la roche enveloppante était toujours du gneiss ou une autre roche feldspathique. Nous savons qu'il n'en est pas ainsi. Les mêmes raisons qui nous feraient accepter le gneiss comme une roche éruptive parleraient avec non moins de force pour le micaschiste, le talcschiste, le schiste chlorité, le schiste argileux ; non seulement toutes ces roches et bien d'autres encore alternent entre elles, mais elles passent l'une à l'autre par des nuances insensibles, et ces

masses d'un caractère mixte atteignent souvent des puissances immenses. Le résultat le plus précis auquel M. Lardy, dans sa description du Saint-Gothard, ait cru devoir s'arrêter, c'est que toutes les roches de ce groupe, depuis le gneiss granitique de la hauteur du passage jusqu'au schiste de la Nufenen, devaient être regardées comme des membres d'un seul terrain et des produits de même formation. Or tous les géologues qui ont eu l'occasion de comparer les roches du Saint-Gothard à celles des vallées entre ce groupe et celui du Mont-Blanc conviendront avec nous que, dans cette partie des Alpes, la séparation du gneiss, comme roche éruptive, des autres schistes, même calcaires, qu'on regarderait comme des roches de sédiment, ne pourrait être admise sans faire violence à la nature en faveur d'une idée préconçue. De même donc qu'en partant des terrains neptuniens le mieux caractérisés, on s'est vu conduit successivement au milieu des terrains cristallins et feldspathiques sans trouver où fixer une limite entre les uns et les autres; de même, en suivant la marche opposée, on se verrait dans la nécessité de ranger dans les terrains d'épanchement des roches dans lesquelles on court à chaque pas le risque de trouver des fossiles.

L'impossibilité de séparer le gneiss et le micaschiste des roches dont l'origine neptunienne est évidente, a presque généralement fait adopter la théorie qui considère les schistes cristallins, les marbres, les dolomies et les gypses comme des roches neptuniennes modifiées postérieurement à leur déposition, et l'on sait que c'est en particulier dans les Alpes que ce principe, déjà entrevu par de Saussure et les géologues de son temps, a trouvé la base la plus large et les applications les plus évidentes.

Je n'hésiterais pas à désigner par le mot de métamorphisme ces altérations des roches, si je n'avais à craindre qu'on attachât à ce terme un sens trop précis, et qu'on ne me supposât la présomption de croire avoir expliqué, en me servant de ce mot, des choses qui, à mon avis, sont inexplicables dans l'état actuel de la physique et de la chimie. En effet, un grand nombre de géologues me paraissent restreindre le terme de métamorphisme aux épigénies produites par une masse ignée, telles que nous les observons au contact des filons ou des nappes de roches pyrogènes; et, en partant de ces faits, on se croit obligé, chaque fois qu'il est question d'une roche transformée, de supposer la présence d'une masse de granite ou de porphyre, par laquelle ces effets aient été produits. Mais n'est-ce pas dépasser les bornes de toute analogie que d'étendre les effets minimes observés au contact des roches à l'ensemble du plus puissant système de montagnes de notre continent? Ne doit-on pas admettre que l'action par laquelle des masses de 2 à 3,000 mètres de puissance ont dû être changées en gneiss, et en micaschiste, est très différente de tout ce que nous connaissons des effets de la chaleur la plus intense et des affinités les plus énergiques? Et où donc irons-nous chercher la roche qui doit être le centre de cette action dans un pays dépourvu de toute roche non stratifiée? Disons-nous qu'elle reste cachée sous le sol, lorsque

nous voyons les terrains transformés occuper les sommités et le faite des chaînes, recouvrant de puissantes assises de terrains non altérés? Ce ne sera qu'autant qu'il me sera permis de signaler par le mot de métamorphisme le fait seul qui résulte de l'observation, savoir, qu'une roche ne possède plus son état primitif, et en éliminant tout ce qui se rapporte aux forces physiques ou chimiques par lesquelles sa transmutation peut avoir été produite, que j'en ferai usage dans le cas présent. La métamorphose, dans cette acception du mot, aura à peu près en géologie la même signification que le mot analogue de pseudomorphose en minéralogie, et, de même que le minéralogiste qui désigne un cristal comme pseudomorphique, ne prétend pas expliquer par ce terme le mode de sa formation, de même le géologue n'aura plus à craindre les objections souvent fondées de la chimie, quand celle-ci enfin se sera convaincue que le métamorphisme n'est pas l'expression d'une théorie, mais la description d'un fait. La connexion intime d'ailleurs que nous voyons établie entre les schistes cristallins et les roches massives de même composition nous fera un jour peut-être envisager ces dernières comme l'extrême des altérations éprouvées par les premiers au lieu d'y voir leur cause. Le gneiss schisteux qui, par les intermédiaires de granite veiné et de gneiss granitique ou granite stratifié, passe au granite massif, rappelle les passages analogues du calcaire stratifié au marbre et à la dolomie. La métamorphose, en gagnant graduellement d'intensité, finit par effacer toute trace de stratification, et cet effet, ne pouvant avoir lieu sans un déplacement intérieur des molécules, prélude à la fluidité complète, signalée par les épanchements et les filons formés par ces roches.

Malgré l'obscurité dont ces transmutations des roches alpines sont enveloppées dans l'état actuel de la science, nous sommes, je crois, en état de reconnaître, dans les montagnes décrites ci-dessus, un fait d'une haute importance pour l'histoire du système alpin, savoir, l'indépendance mutuelle entre la structure du sol ou la stratification et la nature des roches; un fait duquel il suit évidemment que la métamorphose et cette structure ne sont pas entre elles dans le rapport de la cause à son effet. Cette indépendance nous est signalée par la grande diversité des directions et des inclinaisons qu'affectent les couches des schistes cristallins, et par le fait que ces variations de la structure ne s'accordent nullement avec celles de la composition des roches. Dans le Valais, la stratification du gneiss est verticale, et sa direction vers le N. 62° E.; dans le groupe entre le Mont-Leone et l'Albrun, cette direction domine encore, mais la stratification est presque horizontale; l'inclinaison du versant septentrional est au S., celle du versant opposé au N.; et nous avons fait remarquer que de l'hospice du Simplon jusqu'au fond de la vallée de Binnen, la stratification verticale passe à l'horizontale par une espèce de coude ou de ligne anticlinale; dans les ramifications supérieures enfin du val Maggia, les inclinaisons sont de nouveau assez fortes, mais elles sont tournées vers l'E., et la direction fait presque un angle droit avec la précédente;

et dans tous ces systèmes de directions et d'inclinaisons si diverses, la roche reste la même. D'autre part, toutes les particularités de la stratification du gneiss se retrouvent dans le flysch, le calcaire et la dolomie; la stratification verticale se voit dans le flysch et la dolomie du Valais, la stratification horizontale dans le flysch et le calcaire des environs de Veglia, l'inclinaison à l'E. dans la dolomie du val Bavona et de Fusio, et la structure en éventail, qu'on aurait pu croire caractéristique pour les massifs de gneiss, tels que ceux du Mont-Blanc ou du Saint-Gothard, est développée sur une grande échelle dans le flysch du passage du Gries, dans le même flysch qui, un peu à l'E., renferme les Bélemnites de la Nufenen.

En considérant dans leur ensemble tous ces enchevêtrements de flysch, de calcaire, de dolomie, de gneiss et de micaschiste, on croit voir un terrain unique très puissant, composé d'alternances de marnes et de calcaires, et qui, sur plusieurs lignes parallèles et à différentes hauteurs, aurait été métamorphosé avec plus ou moins d'énergie, soit en gneiss et en micaschiste, soit en schiste argileux, soit en marbre et en dolomie, et il semble que ces transmutations étaient terminées, lorsqu'une nouvelle action mécanique est survenue, par laquelle le gneiss et le flysch ont été disloqués de la même manière. L'effet principal de cette action doit avoir été un soulèvement général, dans la direction du système alpin, entre la plaine de la Lombardie et la partie basse de la Suisse; mais les détails de la structure nous laissent encore discerner une grande pression latérale, par laquelle les couches ont été forcées dans une position verticale sur un espace plus petit en largeur que celui qu'elles devaient occuper avant le redressement. Cette pression, dans le pays qui nous occupe, paraît avoir agi du N.-O. au S. E., et les fortes inclinaisons dans le Haut-Valais et au Saint-Gothard, ainsi que la rupture sur le versant septentrional de la chaîne du Cermandon, trouveront leur explication dans une telle pression. Quant à la cause qui l'aurait produite, je ne me permettrai d'énoncer aucune hypothèse à cet égard; mais il faut cependant rappeler que les effets d'une pression analogue, quoique agissant en sens inverse (du S.-E. au N.-O.), se font remarquer, sur le bord septentrional du système alpin, dans les Alpes calcaires de la Suisse, qui, par elle, ont été refoulées sur le terrain de la molasse. La pression semble donc avoir pris son origine dans le massif de gneiss de Linsterarhorn, et signaler une grande dilatation du sol, probablement contemporaine de son soulèvement, sur l'axe de ce système; mais ces grandes commotions étaient, selon toute apparence, elles-mêmes un effet de la métamorphose de ce massif, laquelle donc a dû être postérieure à celle qui a agi sur le sol des régions méridionales.

Il est d'ailleurs peu nécessaire de faire remarquer qu'un soulèvement unique n'éclaircirait qu'en partie les divers accidents de structure que nous avons fait connaître. Les inclinaisons à l'E., par exemple, à Peccia et à Fusio, exigent de nouveaux incidents dans les bouleversements de l'ancien sol alpin; l'on admettra

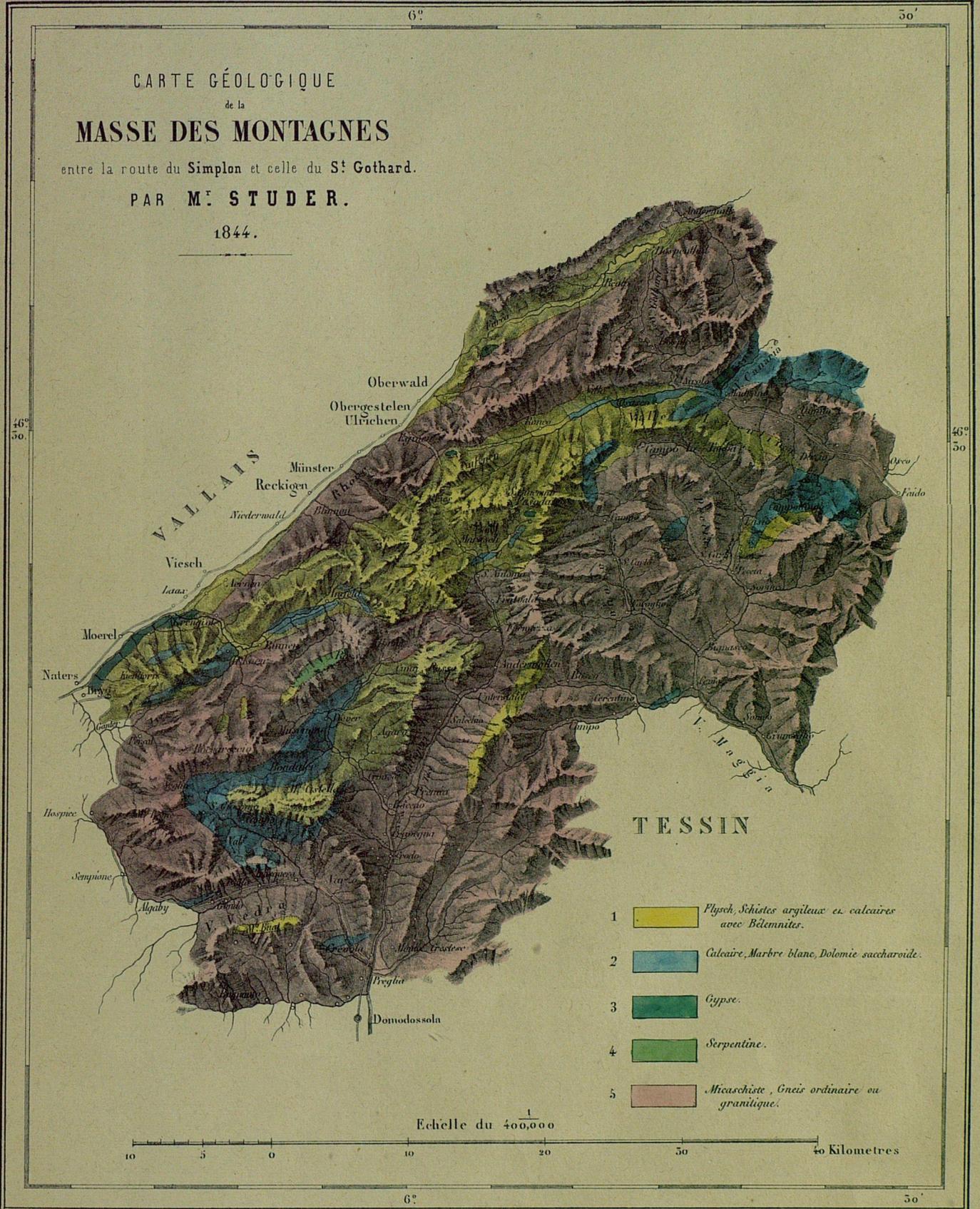
peut-être que cette inclinaison soit antérieure au soulèvement qui a eu lieu dans le sens des Alpes, et que tout ce groupe du système de l'Adula, caractérisé par la direction méridienne de ses couches, ait fait partie d'une série de chaînes qui s'étendaient du N. au S.; et cette explication paraîtra d'autant mieux fondée qu'elle découle directement des principes posés par M. Élie de Beaumont. — Quant aux fortes inclinaisons du gneiss sur la ligne qui passe par Crevola et Maggia, elles dépendent probablement du soulèvement général dans le sens des Alpes, la direction des couches lui étant parallèle.

Ces divers mouvements cependant ne suffiront pas encore, si l'on se propose de remonter à l'origine de la configuration actuelle du sol; car l'inspection la plus superficielle du pays nous apprend que l'alignement des hauteurs et le cours des vallées ne dépendent immédiatement ni de la stratification seule, ni de la distribution des roches. Si l'on ne peut méconnaître que les grands massifs de gneiss aient eu leur part dans le relief de ce pays qu'ils entourent, il est évident que l'action directe du soulèvement y a largement contribué par la formation de grandes ruptures, telles que la vallée de Formazza et d'Antigorio, et les vallées supérieures du V. Maggia, et peut-être aussi par des failles et des dislocations partielles. L'érosion enfin aura élargi les fentes en vallées par le délaïement et l'entraînement des masses qui lui offraient moins de résistance, et la coïncidence de plusieurs des vallées mentionnées, du Haut-Valais et du val Bedretto, par exemple, avec l'alignement du flysch, n'est sans doute pas fortuite.

Cette partie des Alpes présente trois directions principales, dont l'influence sur les élévations et les dépressions du sol peut être imaginée d'avance. La première, qui est celle du massif du Mont-Blanc, coupe le méridien terrestre en N. 35° E., et se retrouve dans la direction de la chaîne du Niesen, et peut-être dans celle des lacs Majeur et de Côme; mais, dans le pays intermédiaire, je ne connais aucune chaîne ou vallée qu'on puisse, avec quelque raison, rattacher à ce système de parallélismes. La seconde de ces directions est celle déjà mentionnée, dont l'azimut est N. 52° E., et qui est parallèle au massif de Linsataarhorn. Nous la retrouvons dans le cours du Rhône, d'Oberwald à Bryg, et dans la chaîne du Cermandon, depuis le point culminant du Simplon jusqu'au passage du Gries. La troisième, enfin, est celle du massif du Saint-Gothard, et se trouve parallèle au Valais de Martigny à Bryg, à la dépression de la vallée d'Urseren, au val Bedretto et à celui du Rhin antérieur; mais, au midi de ces vallées, elle ne paraît pas avoir affecté sensiblement la forme extérieure du sol. L'azimut de cette direction est N. 62° E., où elle coïncide par conséquent avec celle qui domine dans la stratification. A l'O. du Simplon, la même influence se fait sentir dans la direction des couches jusque dans les vallées supérieures d'Erin, tandis que, dans la vallée limítrophe de Bagne, la stratification est dirigée vers le N. 18° E., et se rapproche de celle du système des Alpes occidentales. Il paraîtrait donc que l'influence du massif du Linsataarhorn sur la stratification

devient à peu près nulle dans les Alpes, au midi du Rhône. Cependant, en examinant plus en détail les directions des couches mesurées sur les lieux à la boussole, on s'aperçoit bientôt que cette conclusion serait une erreur; en effet, la direction N. 52° E. est assez fréquente dans le Haut-Valais, dans la vallée de Binnen, et dans celle de la Toccia; la stratification passe souvent du N. 52° E. au N. 62° E., et même, quoique plus rarement, au N. 70° E., ne se fixant pas plus qu'ailleurs à un seul azimut avec une rigueur mathématique. Mais l'indécision dans laquelle nous laisse la stratification disparaît si l'on se tient à la distribution des roches et à la direction des massifs de gneiss; on ne peut guère douter alors que la différence de 10° entre les directions des massifs du Saint-Gothard et du Lins-taarhorn, qui assigne à ce dernier une position intermédiaire entre le Saint-Gothard et le Mont-Blanc, n'existe réellement. Le flysch de la Tarentaise, en traversant les deux Saint-Bernard et le col de la Fenêtre, suit sans interruption la direction N. 52° E. jusqu'au col de la Furca, où il se courbe pour s'aligner suivant le massif du Saint-Gothard; de même les roches feldspathiques qui, à l'E. de la vallée d'Erin, composent le massif du Simplon, commencent à se faire jour dès l'issue du val Pellina, au-dessus d'Aosta, et vont joindre, aux environs du col d'Erin, les gneiss du Weisshorn et du Simplon, en s'alignant suivant cette même direction N. 52° E.; nous retrouvons enfin ce parallélisme dans le flysch méridional du val Tournanche, jusqu'au val Formazza. Donc, en résumé, l'influence du massif du Mont-Blanc sur le pays décrit n'apparaît nulle part, ni dans ses formes ni dans sa structure; celle des deux autres massifs se balance dans la stratification; mais l'influence du massif des Alpes bernoises domine dans la distribution des roches et dans l'alignement des chaînes voisines du Haut-Valais; les principaux traits enfin de la configuration extérieure paraissent dus aux ruptures du sol, provoquées par le soulèvement général, et à l'action de l'érosion.





Gravé sur pierre par les frères Avril rue des Noyers 33 Paris.

d'après le Lavis de M^r H. May.

Lith. Kappelin Q. Voltaire 15.

Nota: Par suite d'accident, cette planche n'est qu'un décalque de la Gravure de M^r Avril.



Fig. 1



Fig. 2

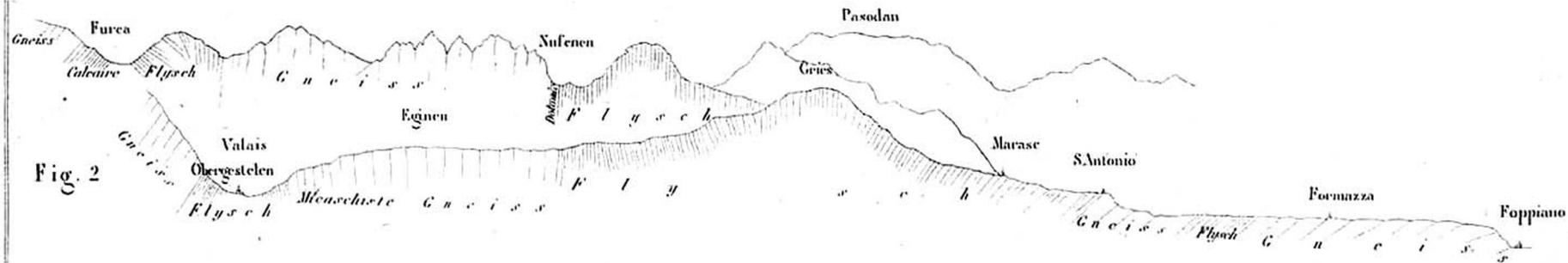


Fig. 5

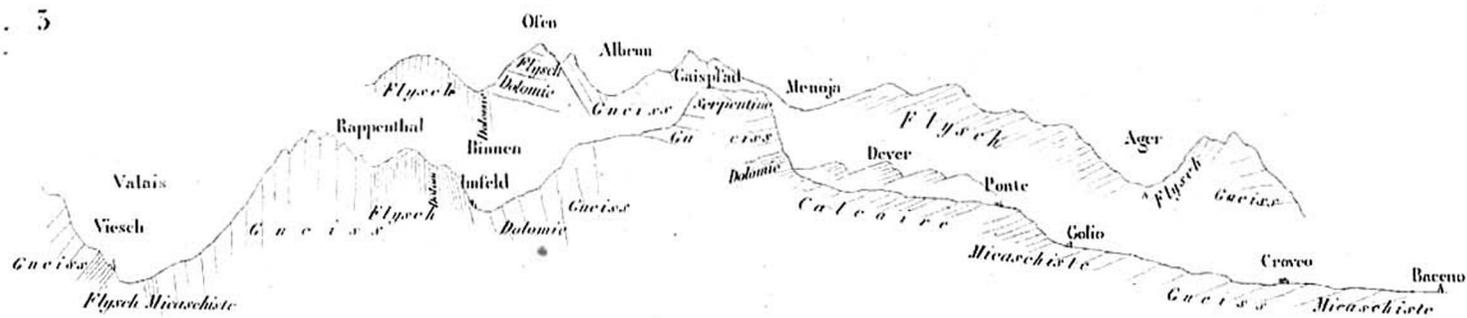


Fig. 4



Gravé sur pierre par les frères Avril

Lith. Kueppelin Q. Valtaire & Co