

14672

Hommage de M. de ...

LES
NAPPES DES ALPES ORIENTALES
ET LA
SYNTHÈSE DES ALPES

PAR
PIERRE TERMIER

EXTRAIT DU BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE
4^e série, tome III, page 711, année 1903
(Pl. XXII-XXIII).

PARIS
AU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE
28, Rue Serpente, VI

1904



Geol.B.-A. Wien



0 000001 830002

20. 2. 05. Prof. ...

LES NAPPES DES ALPES ORIENTALES
ET LA SYNTHÈSE DES ALPES

par M. Pierre TERMIER.

(PLANCHES XXII et XXIII).

AVANT-PROPOS

Ceux d'entre mes confrères qui ont eu, comme moi, la bonne fortune d'entendre M. Maurice Lugeon, le jour où il a présenté à la Société géologique de France sa brillante synthèse des Alpes suisses, se sont demandé, sans doute, comme je me le suis à moi-même demandé, de quelle manière et dans quelle mesure cette conception grandiose allait s'étendre aux Alpes orientales. Du côté de l'occident, aucune objection de principe n'était à craindre. Nous savions tous, et depuis quelques années déjà, que les *charriages* ont joué un grand rôle dans le façonnement des Alpes françaises; et nous ne discussions guère que sur l'ampleur qu'il convenait d'attribuer à ces charriages, ou encore sur les mouvements relatifs des diverses zones, ou enfin sur l'origine de tel ou tel lambeau charrié. Et, en effet, lorsque, quelques mois après la communication de M. Lugeon, j'ai proposé, ici même, une synthèse des Alpes franco-italiennes fondée sur le cheminement, par-dessus toutes les montagnes que nous voyons aujourd'hui, d'un lourd paquet de terrains d'origine piémontaise, je n'ai pas été trop vivement combattu. Mais que viendrait-il de l'orient, pour la nouvelle théorie : démenti formel, ou confirmation éclatante ? J'avoue que, depuis ce moment, aucune question ne m'a paru présenter, ni un intérêt aussi vif, ni une semblable « actualité ».

C'est pour essayer, non pas de résoudre le problème — j'étais loin de m'attendre à ce que la solution en fût aussi aisée —, mais de me faire une opinion personnelle sur la structure des Alpes orientales, que j'ai voulu suivre, après le Congrès géologique international de Vienne, l'excursion que M. le Professeur F. Becke devait diriger dans les montagnes du Zillertal, par le travers de la région occidentale des Hohe Tauern. Cette excursion, admirablement conduite, et favorisée par un temps absolument pur, a



tenu, et bien au delà, toutes ses promesses. Chaque jour, la récolte de documents minéralogiques et pétrographiques était extraordinairement abondante. Chaque jour aussi, je m'affermis dans la double conviction que cette région des Hohe Tauern renferme la clef de la structure de toute la *Zentralzone* des Alpes orientales, et que, si les coupes de MM. Becke et Löwl sont minutieusement exactes en tant qu'indications pétrographiques, elles n'ont pas encore reçu, en matière tectonique, leur exacte interprétation.

Dans les pages qui vont suivre, je décrirai d'abord ce que j'ai vu, sans entrer, bien entendu, dans aucun détail pétrographique ; puis je dirai quelle me paraît être la conséquence de mes observations, d'abord en ce qui concerne la structure des Hohe Tauern, ensuite pour la théorie générale des Alpes orientales. Je terminerai par quelques considérations synthétiques sur l'ensemble de la chaîne des Alpes. J'ai résumé tout cela, en novembre dernier, dans trois notes présentées à l'Académie des Sciences ¹.

C'est au grand savoir et à l'inlassable bienveillance de M. Becke que je dois d'avoir pu, en si peu de jours, voir tant de choses et aborder de si hauts problèmes. Je n'oublierai jamais, ni l'aménité, ni la modestie, ni les rares qualités d'esprit de ce maître ; et ma gratitude à son égard dépasse ce que je puis exprimer. Il retrouvera dans ces pages le développement des idées que je lui ai exposées au sommet de l'Amthorspitze — par quelle radieuse journée et devant quel admirable panorama ! Je n'ai pas eu, à ce moment-là, la joie de le convaincre ; mais j'ai eu la satisfaction d'avoir ébranlé, dans son esprit, une doctrine que je crois incomplète. Si j'arrivais aujourd'hui à entraîner son adhésion entière, je serais désormais tranquille, et je ne craindrais plus de m'être trompé.

I

OBSERVATIONS DANS LES ALPES DU ZILLERTAL

Les Alpes du Zillertal correspondent à la terminaison, du côté de l'ouest, du massif principal des Hohe Tauern. Leurs plus hauts sommets (Löffler, Möselé, Schwarzenstein, Hochfeiler, Riffler, Olperer) sont formés de roches granitiques ou gneissiques appartenant au massif de *Zentralgneis*, long de 70 kilomètres, et large,

1. P. TERMIER : Sur quelques analogies de faciès géologiques entre la zone centrale des Alpes orientales et la zone interne des Alpes occidentales. *CR. Ac. Sc.*, t. CXXXVII, p. 807 : 16 novembre 1903. — Sur la structure des Hohe Tauern, *id.*, p. 875 : 23 novembre. — Sur la synthèse géologique des Alpes orientales, *id.*, p. 939, 30 novembre 1903.

en moyenne, de 17 kilomètres, qui s'étend à l'est jusqu'au Gross-Venediger ¹.

Ce massif granito-gneissique du Gross-Venediger est entouré de tout côté par une couverture schisteuse, faite elle-même de terrains métamorphiques dont les strates sont en absolue concordance avec les gneiss. C'est la *Schieferhülle*, des géologues autrichiens. Tout autour du massif, les gneiss plongent sous la *Schieferhülle*, avec une inclinaison variable, presque toujours très raide le long des bords nord et sud, assez douce, au contraire, aux extrémités ouest et est. A l'ouest de la vallée de la Floite, la voûte de *Zentralgneis* se divise en deux voûtes secondaires, de sorte que le massif granito-gneissique devient double. On a donné le nom de Tuxer Kern (ou Tuxer Kamm) à la branche septentrionale, qui comprend l'Olperer et le Riffler ; et l'on appelle Zillertaler Kern (ou Zillertaler Kamm) la branche méridionale, que recouvrent les vastes glaciers du Löffler, du Schwarzenstein, du Möselé et du Hochfeiler. Les deux branches sont séparées par une avancée, ou un golfe, de la *Schieferhülle*. Les micaschistes et les amphibolites qui remplissent le fond de ce golfe, entre le Pfitscher Joch et le Floital, sont compris sous le nom global de *Greiner Scholle*. L'ennoyage vers l'ouest des deux voûtes granito-gneissiques est inégal : le Tuxer Kamm se prolonge jusqu'au Wolfendorn, à quelques kilomètres seulement du Brenner ; tandis que le Zillertaler Kamm, à l'ouest du Hochfeiler, s'enfonce rapidement sous les schistes.

Des *Zentralgneis* eux-mêmes, je ne dirai rien, parce qu'ils doivent être prochainement décrits par M. Becke. Ils présentent souvent, dans le Zillertal, des formes porphyroïdes, et ils sont alors identiques aux gneiss de la Levanna et du Grand-Paradis. Dans l'ensemble, ils sont remarquablement homogènes et granitoïdes, avec une composition un peu variable (*granitgneis*, dans le Tuxer Kern ; *tonalitgneis*, dans le Zillertaler Kern).

J'insisterai seulement sur deux faits. Le premier, c'est l'absolue concordance des gneiss et de la *Schieferhülle*. Le deuxième, c'est l'imprécision de la limite des gneiss et de la *Schieferhülle*, partout où la base de celle-ci n'est formée, ni de calcaire, ni de calcschiste, ni de serpentine. Cette imprécision m'a paru très grande dans les environs de la Berliner Hütte, sur le bord sud de la *Greiner*

1. Consulter, pour tout ce qui va suivre, le *Livret-guide des excursions en Autriche du 9^e Congrès géologique international* : Exkursionen im westlichen und mittleren Abschnitt der Hohen Tauern, par MM. F. BECKE et F. LÖWL.

Scholle ; on la retrouve au Rosskar, sur le bord nord du golfe de micaschistes, et M. Becke signale lui-même, dans le Livret-guide (page 27 de l'excursion VIII), une zone douteuse entre les micaschistes de la *Greiner Scholle* et les gneiss du Tuxer Kern (Ingentgneis).

Lorsque la base de la *Schieferhülle* est formée de calcaire, comme au Hochsteg, près de Mairhofen, ce calcaire est un marbre, plus ou moins phylliteux, qui est généralement séparé des gneiss par une assise de schiste à séricite. M. Becke a signalé dans cette assise schisteuse intermédiaire la présence du chloritoïde. Les contacts de cette sorte présentent de grandes analogies avec les contacts de marbres du Trias et de gneiss de la Levanna, dans la Haute-Maurienne, décrits jadis par M. Marcel Bertrand.

Lorsque la base de la *Schieferhülle* est formée de serpentine, comme c'est fréquemment le cas sur le bord nord de la *Greiner Scholle*, la serpentine est accompagnée d'un cortège de schistes verts, où apparaissent l'actinote, le talc, la stéatite, la chlorite, la magnétite, la breunnérite. Ces roches magnésiennes et ferreuses se séparent aisément des gneiss. Elles sont d'ailleurs identiques à celles que l'on observe, à diverses hauteurs, dans l'étage supérieur de la *Schieferhülle*.

A l'Ochsner, près du Rosskar, M. Becke m'a montré, sur le bord nord de la *Greiner Scholle*, deux amas de serpentine : l'un qui touche au massif granito-gneissique du Tuxer Kern, l'autre qui est séparé du premier amas par une intercalation de gneiss porphyroïde (Livret-guide, excursion VIII, page 27 et fig. 4). Pour M. Becke, le gneiss porphyroïde formerait ici une intrusion dans la serpentine. Mais les raisons sur lesquelles se fonde cette interprétation m'ont semblé fragiles ; et les apparences que reproduit la figure 4 du Livret-guide peuvent tout aussi bien s'expliquer par le plissement que par l'intrusion. Les gneiss porphyroïdes en question sont, pour moi, les gneiss du Tuxer Kern ramenés, par un repli, dans la *Greiner Scholle* : de même que les gneiss porphyroïdes de la Griesscharte, décrits par M. Futterer, me paraissent être des gneiss du Zillertaler Kern ramenés, par un repli semblable, entre les calcaires et les micaschistes de la même *Greiner Scholle*. Je reviendrai plus loin sur ce dernier point, qui a une grande importance.

C'est sur la structure de la *Schieferhülle* que j'ai, tout particulièrement, porté mon attention ; et c'est de quoi je vais maintenant parler.

La *Schieferhülle* comprend deux termes, ou étages, fort distincts,

qui semblent, de prime abord, régulièrement superposés dans l'ordre de la sédimentation.

« L'étage inférieur », dit M. Becke¹, « se compose de roches silicatées pauvres en chaux, ou même exemptes de chaux, dans lesquelles, à l'occasion, s'intercalent des amas plus gros de calcaires presque purs. L'étage supérieur consiste en une alternance plusieurs fois répétée de roches schisteuses pauvres en chaux et d'autres riches en chaux : dans ces dernières, la chaux et le sédiment argileux originel sont intimement mélangés, comme dans les marnes sédimentaires.

« Dans les deux étages, mais surtout dans le plus élevé, apparaissent des dérivés métamorphiques de roches éruptives basiques, sous la forme d'amas et de lentilles de schistes verts, amphibolites, péridotites, serpentine, avec leur cortège de schistes talqueux et chloriteux.

« On connaît aussi, mais seulement dans l'étage inférieur, des sédiments plus grossiers, qui sont des schistes conglomératiques fortement transformés. Les éléments élastiques de ces Konglomeratschiefer ne sont nulle part semblables au Zentralgneis : ils sont d'ailleurs de nature variée.

« La série pétrographique des roches de la *Schieferhülle* est variable et comprend tous les degrés, depuis les phyllites semblables aux schistes argileux, les grauwackes, les phyllites calcaireuses, les calcaires à grain fin et les schistes verts, jusqu'aux micaschistes et aux gneiss schisteux de haute cristallinité, aux micaschistes calcareux, aux marbres à gros grain et aux amphibolites ».

En d'autres termes, et en employant la terminologie française, la *Schieferhülle* comprend deux étages : à la base, un étage où alternent les marbres phylliteux, les quartzites phylliteux, les poudingues métamorphiques, les micaschistes, les gneiss schisteux et les amphibolites ; au sommet, un étage qui est, pétrographiquement, *identique à nos Schistes lustrés des Alpes occidentales*, et qui se compose d'une alternance de calcschistes à séricite, de micaschistes, et de *roches vertes*.

Les deux étages sont d'épaisseur extrêmement variable. D'une façon générale, c'est l'étage supérieur, celui des Schistes lustrés, qui est le plus épais, et c'est aussi celui qui, dans sa composition pétrographique, est le plus homogène et le plus constant.

1. Livret-guide du 9^e Congrès géologique international : excursion VIII, p. 7.

L'identité pétrographique de ces Schistes lustrés des Hohe Tauern et des Schistes lustrés mésozoïques (et peut-être en partie néozoïques) des Alpes occidentales est vraiment parfaite. M. Becke m'a raconté que Charles Lory, traversant, il y a quelque trente ans, les montagnes du Zillertal sous la conduite de M. Tschermak, fut vivement frappé par la ressemblance des calcschistes de la *Schieferhülle* et des *schistes calcaréo-talqueux*, ou *schistes lustrés*, de la Maurienne et de la Tarentaise, et qu'il proposa aussitôt à son compagnon de classer dans le Trias supérieur les calcschistes de la *Schieferhülle*. Cette proposition ne trouva pas d'écho. Longtemps après, en 1890, M. Édouard Suess exprima, devant l'Académie des Sciences de Vienne¹, un avis analogue à celui de Lory : les *Kalkphyllite* des Hohe Tauern étaient, à ses yeux, des sédiments triasiques transformés par le dynamométamorphisme. Mais, à la même époque, M. Geyer² signalait des fossiles dévoniens dans des calcschistes, à Murau, à l'est des Hohe Tauern. Ce fut là, pour la plupart des géologues autrichiens et allemands, une raison de vieillir tous les calcschistes des Alpes orientales : on assimila les calcschistes de la *Schieferhülle* à ceux de Murau, bien qu'il n'y ait, entre les uns et les autres, aucune continuité ; et l'on tint dès lors la *Schieferhülle* tout entière pour une série sédimentaire paléozoïque.

Les *Schistes lustrés* (Kalkphyllite ou Kalkglimmerschiefer de MM. Becke et Löwl), avec leur cortège habituel de *roches vertes*, entourent à peu près complètement le massif granito-gneissique du Gross-Venediger. Au sud de ce massif, entre Sterzing et le Gross-Glockner, ils forment une bande continue, large, en moyenne, de six kilomètres. A cette bande appartiennent les montagnes qui dominent la rive gauche du Pfitschtal (massif de la Wilde Kreuzspitze), les montagnes qui entourent Prägraten, et enfin le sommet même du Gross-Glockner. Au sud du Hochfeiler, du Löffler et de la Wilde Gerlos, sur une longueur totale de plus de 30 kilomètres, les Schistes lustrés viennent directement au contact du *Zentralgneis*, par suppression ou écrasement de l'étage inférieur de la *Schieferhülle*³.

La bande de *Schistes lustrés*, toujours continue, fait le tour du

1. E. SUSS. *Anzeiger der k. Akad. d. Wissensch. Wien*; XXVII, 1890, p. 245.

2. G. GEYER. *Verh. d. geol. Reichsanstalt*; 1890, p. 199-205; 1891, p. 352-362; 1893, p. 405-415.

3. Consulter, pour toute cette description, la carte d'ensemble à 1/500000^e de la région occidentale des Hohe Tauern, par MM. BECKE et LÖWL (*Livret-guide du 9^e Congrès géologique international*, excursions VIII et IX).

massif granito-gneissique par l'ouest, passe au col même du Brenner, puis se rétrécit peu à peu, jusqu'à n'avoir plus, à Mairhofen, que quelques centaines de mètres de largeur. Au delà de Mairhofen, elle s'élargit de nouveau, et on la suit jusqu'à cinq ou six kilomètres à l'est de Krimml. Là, elle semble s'écraser entre les micaschistes (étage inférieur de la *Schieferhülle*) et les *phyllites du Pinzgau*. Sur près de 30 kilomètres de longueur, dans le Pinzgau, les Schistes lustrés paraissent manquer. Ils renaissent ensuite, au sud de Zell-am-See, formant couverture par-dessus les micaschistes ; et ils se relient alors, par le Hoher Tenn et le Bärenkopf, aux Schistes lustrés du Gross-Glockner.

Au sud du massif granito-gneissique du Gross-Venediger, M. Löwl a séparé des Schistes lustrés (Kalkglimmerschiefer), sous le nom de *Matreier Schieferzug*, une étroite bande de terrains schisteux, qui passe à Windisch-Matrei et à Kals, et qui, sur une longueur de 40 ou 45 kilomètres, s'intercale entre la bande des Schistes lustrés et les *vieux gneiss* du Lasörling et du Rotenkogel. Ces terrains schisteux, que M. Löwl est tenté de rapporter au Trias, sont concordants avec les Schistes lustrés. Ils comprennent des schistes brillants, parfois graphitiques, des calcschistes, des quartzites sériciteux, *de nombreux amas de serpentine*, *quelques couches de dolomie et quelques amas de gypse*. Je n'ai pas visité cette bande schisteuse de Windisch-Matrei. Il est probable, d'après la description et la coupe qu'en donne M. Löwl¹, qu'elle est *complexe*, et qu'elle renferme, avec des termes indubitablement triasiques (dolomies, gypses et quartzites), d'autres qui appartiennent aux Schistes lustrés (amas de serpentine), et d'autres enfin qui sont plus anciens que le Trias (phyllades graphitiques).

Il est impossible de ne pas attacher une très grande importance à l'identité pétrographique des Schistes lustrés des Hohe Tauern et des Schistes lustrés des Alpes franco-italiennes, lorsque l'on songe que ces derniers se relient, sans aucun hiatus, aux *Bündner Schiefer* des Grisons, et que, d'autre part, les *Bündner Schiefer* ne diffèrent point des *Kalktonphylliten* de la Basse-Engadine². De Sterzing, où affleurent les Schistes lustrés des Hohe Tauern, à la région de la Basse Engadine où apparaissent les Kalktonphyllite, il n'y a que 60 kilomètres. Et le véritable hiatus entre les Schistes lustrés des Hohe Tauern et ceux de la Basse-Engadine est

1. *Livret-guide du 9^e Congrès géolog. international* : excursion IX, p. 8, 20 et 21, et fig. 5.

2. G. STEINMANN. *Das Alter der Bündner Schiefer* (*Ber. d. Naturforsch. Gesellsch. zu Freiburg i. B.*, X, Heft 2).

probablement bien moindre, car tout le bord sud du massif cristallin de l'Ötztal est constitué par les roches du *Kalkphyllitgruppe* (F. Teller). D'après les descriptions des géologues autrichiens¹, il me semble évident que ce *Kalkphyllitgruppe* est complexe; qu'il renferme du Trias, des Schistes lustrés, et des micaschistes et amphibolites plus anciens que le Trias, et plus ou moins analogues à ceux de la *Greiner Scholle*.

Dans la large bande qui va de Sterzing au Gross-Glockner, les Schistes lustrés ont une très grande épaisseur, dépassant à coup sûr 1000 mètres, et atteignant peut-être plusieurs milliers de mètres. L'aspect des montagnes qui, de la base au sommet, sont formées de ces schistes, rappelle de façon saisissante les *paysages de Schistes lustrés* des Alpes franco-italiennes. Les escarpements de la Grabspitze, au-dessus de St-Jakob-im-Pfitschtal, montrent plusieurs alternances de calcschistes brunâtres et de *roches vertes* d'un vert foncé: avec un peu plus de hauteur, ils seraient identiques à ceux de la Grivola, qui dominent Val-Savaranche. Les sommets monotones et désolés qui entourent la Wilde Kreuzspitze me faisaient invinciblement songer aux montagnes du Grand-Roc-Noir, au nord-ouest de Lans-le-Bourg. Ces énormes masses de calcschistes s'avancent jusqu'au Hochferner, dans le golfe que forme la *Schieferhülle* entre le Tuxer Kern et le Zillertaler Kern: là elles s'écrasent, ayant sur leur bord sud les gneiss tonalitiques du Hochfeiler, et, sur leur bord nord, les gneiss porphyroïdes de la Griesscharte, qui les séparent de la *Greiner Scholle*.

L'étage inférieur de la *Schieferhülle* est profondément distinct des Schistes lustrés. Sa composition est d'ailleurs très variable. A Mairhofen, il comprend, de bas en haut: des marbres (Hochstegenkalk), parfois un peu phylliteux, parfois dolomitiques; des schistes à séricite; des gneiss schisteux (grauwackengneiss); un deuxième niveau de marbres, qui sont en tout semblables aux premiers et qui supportent les Schistes lustrés. Dans la *Greiner Scholle*, qui est un synclinal de la *Schieferhülle* entre le Tuxer Kern et le Zillertaler Kern, les marbres ont disparu: au contact des gneiss, sur le bord sud du synclinal, on voit des micaschistes alternant avec des amphibolites; sur le bord nord, ce sont des amas de serpentine, ou des amphibolites, ou des micaschistes; et ce qui domine, dans l'intérieur du synclinal, ce sont les amphibolites à grosses gerbes d'amphibole (garbenamphibolite), fréquem-

1. Résumées par M. DIENER à la page 425 de *Bau und Bild (Österreichs)* (Wien, 1903).

ment grenatifères, dont on trouve des échantillons dans toutes les collections. Au Pfitscher Joch, la base de la *Schieferhülle*, tout contre le bord des gneiss du Tuxer Kern, est faite d'un conglomérat; puis viennent des micaschistes, avec biotite et ankérite; ensuite, un gros banc de granite gneissique à tourmaline, que M. Becke regarde comme intrusif, mais qui semble, plutôt, régulièrement intercalé dans la série; plus loin, ce sont des schistes à séricite, avec quelques lits d'amphibolites; plus loin encore, des schistes quartzeux et pyriteux, et de véritables quartzites; enfin une bande de micaschistes noirâtres, *graphitifères*, confinant, vers la Griesscharte, aux gneiss porphyroïdes. Ceux-ci ne forment ici qu'une intercalation peu épaisse. Au delà, il y a un banc de marbres; puis viennent les Schistes lustrés.

Au Wolfendorn, qui n'est qu'à quelques kilomètres à l'ouest du Pfitscher Joch, la coupe de l'étage inférieur de la *Schieferhülle* est encore tout autre. Entre les gneiss de la Landshuter Hütte (Tuxer Kern), et les Schistes lustrés qui apparaissent au Schlüssel Joch, on traverse successivement: des quartzites blancs; des marbres phylliteux; de nouveaux quartzites, associés à des schistes quartzeux noirs; de nouveaux marbres phylliteux, surmontés de calcaires blancs; de nouveaux schistes quartzeux noirs, parfois disthénifères; un puissant étage de micaschistes, fort analogues aux micaschistes de la *Greiner Scholle*; encore des quartzites et des schistes quartzeux noirs; enfin, un dernier niveau de marbres phylliteux, sur lequel viennent les Schistes lustrés.

A Krimml, d'après M. Löwl¹, l'étage inférieur de la *Schieferhülle* comprend, de bas en haut: des marbres, assimilés au Hochstegenkalk de Mairhofen; des quartzites sériciteux et des grau-wackes; des schistes brillants, plissotés, parfois graphitifères; enfin des schistes verts. Tout cet ensemble est qualifié paléozoïque, parce qu'il repose immédiatement sur le Hochstegenkalk, et que, dit M. Löwl, « l'âge paléozoïque de ce dernier est indubitable d'après ses rapports de gisement dans le Zillertal ». Nous verrons plus loin que cette raison n'a aucune valeur.

Enfin, d'après MM. Becke et Löwl, au nord, à l'est et au sud du Gross-Venediger, l'étage inférieur de la *Schieferhülle* ne comprend plus, bien qu'il soit très épais, que des micaschistes et des amphibolites. Cet étage est percé par le dôme granito-gneissique de la Granatspitze.

Au sud de la Wilde Gerlos, ce même étage disparaît, et, comme

1. *Livret-guide du 9^e Congrès géolog. international*: excursion IX, p. 11 et 12, et fig. 2.

je l'ai déjà dit, les Schistes lustrés, sur une longueur d'environ 30 kilomètres, viennent au contact des gneiss du Zillertaler Kern.

Telle est la *Schieferhülle* : épais manteau jeté sur le *Zentralgneis*, et laissant apercevoir ce *Zentralgneis* au travers de ses déchirures; et manteau composé de deux *étoffes* superposées, dont la plus extérieure, la plus constante, et la plus épaisse, est faite de Schistes lustrés.

Après ces généralités sur la *Schieferhülle* des Alpes du Zillertal, je viens à l'exposé de quelques faits qui, pour la plupart, me semblent nouveaux, et sur la réalité desquels je n'ai conservé aucun doute.

A. — La *Schieferhülle* n'est pas, comme le croient MM. Becke et Löwl, une série sédimentaire continue, tout entière paléozoïque. C'est une série *complexe*, où s'intercalent des *lames* de Trias.

B. — L'étage des Kalkphyllite, ou Kalkglimmerschiefer, ou Schistes lustrés, c'est-à-dire l'étage supérieur de la *Schieferhülle*, est plus jeune que le Trias à *Diplopores*. Il est mésozoïque. Peut-être même sa partie haute est-elle néozoïque.

C. — La *Schieferhülle*, généralement recouverte d'une lame parfaitement concordante de Trias, s'enfonce, au nord comme au sud du Zillertal, sous des terrains paléozoïques.

D. — Le contact nord entre la *Schieferhülle* et les terrains paléozoïques est parfois *chevauché* par des lambeaux de recouvrement où dominent les assises triasiques, souvent chargées d'assises plus anciennes.

Je vais établir, successivement, ces quatre propositions.

A. — LA SCHIEFERHÜLLE EST UNE SÉRIE COMPLEXE OÙ S'INTERCALENT DES LAMES DE TRIAS.

Le long du bord nord des Alpes du Zillertal, on voit, en divers points, la *Schieferhülle* recouverte *en concordance* par du Trias incontestable. Tel est le cas de la Gschösswand, près de Mairhofen, dont on trouvera plus loin la coupe (fig. 1). Outre ce Trias concordant, qui semble faire partie intégrante de la *Schieferhülle*, il y a aussi, sur ce bord nord, des lambeaux de Trias qui paraissent *transgressifs*, comme le lambeau calcaire de la Rettelwand. Je dirai plus loin (paragraphe D) que ces lambeaux transgressifs sont très différents, en tant qu'éléments tectoniques, de la lame concordante de Trias. C'est parce qu'on n'a pas eu, jusqu'ici, l'idée de séparer le Trias concordant du Trias transgressif, que l'on a

méconnu la véritable nature de la *Schieferhülle* et la véritable structure des Hohe Tauern.

Pour le moment, je ne veux considérer que le Trias concordant, vraiment lié à la *Schieferhülle*, et dont le type est à la Gschösswand.

Ce Trias concordant ne se rencontre pas exclusivement sur le bord nord des Alpes du Zillertal. M. Becke m'en a montré deux lambeaux, près de Sterzing, en plein pays de Schistes lustrés. L'un de ces lambeaux forme le sommet dit Weissespitze, au sud de l'Amthorspitze. L'autre, beaucoup plus petit, est sur le prolongement méridional de la même arête. L'un et l'autre sont composés de marbres phylliteux, sensiblement horizontaux, reposant, *en concordance*, sur les Schistes lustrés.

Là où cette lame de Trias a une assez grande épaisseur, elle montre généralement trois termes, pétrographiquement distincts, qui sont, de bas en haut : des quartzites, des marbres phylliteux, des calcaires massifs, parfois dolomitiques. Ces derniers sont identiques à ceux où M. Diener¹ a trouvé, près de Krimml, des *Diplopores*; de sorte qu'il ne peut rester aucun doute sur l'âge triasique. Les calcaires en question sont encore identiques à ceux de Mauls, où l'on a recueilli des *Dactylopores*, et qui sont accompagnés, eux aussi, de marbres phylliteux.

C'est une chose bien remarquable que la similitude — allant jusqu'à l'*identité* — de ce faciès du Trias dans la zone centrale des Alpes orientales, et du faciès du même Trias dans la zone interne des Alpes occidentales. Le Trias de la Gschösswand, près Mairhofen, ne diffère *en rien* du Trias de la Vanoise. Ce sont les mêmes quartzites, presque toujours très blancs, parfois séricitiques et albitiques; les mêmes marbres phylliteux; les mêmes dolomies et les mêmes calcaires, renfermant (quand ils en renferment) *les mêmes cristaux d'albite*. J'ai dit ailleurs² que ce faciès du Trias se poursuit, à l'est, jusqu'au Semmering, où j'ai pu voir, au cours de l'excursion du Congrès géologique, les mêmes quartzites encore, et les mêmes marbres phylliteux, et les mêmes calcaires (calcaires à *Gyroporelles*, de M. Toula).

Eh bien, le même Trias, soit sous la forme *quartzites*, soit sous la forme *marbres phylliteux*, soit sous la forme *calcaires francs*, se retrouve dans l'intérieur même de la *Schieferhülle*, à diverses hauteurs; et parfois ces intercalations triasiques se répètent dans la même coupe.

1. C. DIENER. Einige Bemerkungen über die stratigraphische Stellung der Krimmler Schichten. *Jahrb. d. k. k. geol. Reichsanstalt*; 1900, p. 383.

2. *Loc. cit.*: *CR. Ac. Sc.*, t. CXXXVII, p. 807, 16 novembre 1903.

La comparaison des trois coupes de la *Schieferhülle*, à Mairhofen, au Wolfendorn et au Pfitscher Joch, est, à cet égard, entièrement démonstrative.

La figure 1 représente la coupe de la *Schieferhülle* sous la Gschösswand, près de Mairhofen. Elle est la reproduction de l'un des deux profils de la figure 1 (page 15) du Livret-guide de l'excursion VIII du 9^e Congrès géologique international. J'ai pu vérifier sur le terrain la parfaite exactitude du dessin et de la description de M. Becke.

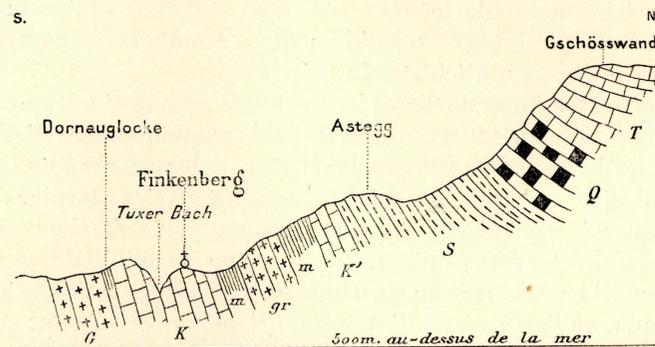


Fig. 1. — Coupe de la *Schieferhülle*, près de Mairhofen.

G, Gneiss du Tuxer Kern, cataclastique et schisteux sur le bord; K, Hochstegenkalk; m, Micascistes à séricite; gr, Grauwackengneis; K', deuxième niveau de Hochstegenkalk; S, Schistes lustrés; Q, Quartzites du Trias; T, Calcaires du Trias.

Le Hochstegenkalk, dans son niveau inférieur (K), a 200 mètres environ d'épaisseur. C'est un marbre, souvent zoné, se débitant fréquemment en plaquettes. La couleur est grise ou blanche. Il y a des zones et des lentilles, assez irrégulières, de dolomie jaunâtre ou grise. Le niveau supérieur (K') est formé des mêmes marbres et des mêmes dolomies; mais sa puissance ne dépasse pas 100 mètres. On y observe quelques intercalations de calcschistes.

Les Grauwackengneis sont des micascistes à mica blanc renfermant, en plus ou moins grande quantité, des noyaux feldspathiques, et passant ainsi, par places, à une sorte de gneiss porphyroïde. M. Becke pense que ces noyaux feldspathiques sont des galets; et il assimile les Grauwackengneis aux Konglomeratgneis que l'on observe en divers points de la *Schieferhülle*, et que nous verrons, au Pfitscher Joch, passer aux quartzites du Trias.

Sous Astegg commencent les Schistes lustrés, qui ont ici leurs caractères ordinaires. Ils offrent une alternance de calcschistes

noirâtres et de micascistes. Je n'y ai pas vu de roches vertes. A Astegg, leur épaisseur est faible (200 mètres tout au plus); mais ils augmentent rapidement de puissance vers l'est, et la combe boisée qui descend d'Astegg vers la Ziller, en longeant le pied de la Sauwand, est tout entière creusée dans les calcschistes.

Les quartzites de la Gschösswand sont identiques à nos quartzites triasiques de la Vanoise et du Briançonnais. Leur épaisseur est variable (de 100 à 200 mètres). Ils sont souvent séricitiques; parfois même, d'après M. Becke, riches en cristaux d'albite.

Les calcaires de la Gschösswand débutent, à la base, par des marbres sériciteux, alternant avec des schistes mous, à séricite. Puis viennent des calcaires très blancs et très cristallins, avec d'assez nombreux bancs de *brèche calcaire*. Les traces d'organismes ne sont pas très rares. L'épaisseur totale de cette formation calcaire est d'environ 300 mètres. A peu près à mi-hauteur de l'escarpement, directement au-dessus d'Astegg, j'ai, en compagnie de M. le docteur Romberg, de Berlin, trouvé, dans des calcaires francs, de très nombreux cristaux d'albite, ayant jusqu'à trois centimètres de plus grande dimension. La forme de ces cristaux est analogue à celle des cristaux du Bourget, près Modane, mais un peu plus simple. Quelques échantillons présentent l'accolement dit *mâcle du Roc-Tourné*.

Au-dessus de cette série triasique, dont la puissance atteint 500 mètres, j'ai observé, tout en haut de la montagne, un retour des quartzites, non signalé dans le Livret-guide. Ces quartzites du sommet sont associés à des schistes sériciteux blancs ou verts, très brillants, où j'ai trouvé des cristaux de chloritoïde. Ils supportent à leur tour d'autres calcaires triasiques, dont les assises, horizontales en grand, sont, dans le détail, violemment contournées. Parmi ces assises, il y a beaucoup de bancs de *brèche calcaire*, à patine jaune ou brune, renfermant parfois, outre les galets calcaires, quelques galets de quartzites. Ce retour du Trias, par-dessus la série triasique concordante avec le *Schieferhülle*, est analogue à celui que l'on observe au sommet de la Rettelwand. Je reviendrai plus loin sur ces lambeaux de recouvrement triasiques. Pour l'instant je ne veux m'occuper que de la lame de Trias qui repose directement sur les Schistes lustrés.

Rien, dans cette coupe de la Gschösswand, ne prouve d'une façon péremptoire la complexité de la *Schieferhülle*. Le Hochstegenkalk ne ressemble pas beaucoup aux calcaires triasiques. Il y a, il est vrai, les *Schistes lustrés* d'Astegg; mais leur présence ne constitue pas un argument suffisant. On s'explique donc que cette

coupe, très anciennement connue, ait toujours été interprétée comme celle d'une série sédimentaire continue, plus ou moins métamorphique, et que l'on ait toujours, jusqu'ici, regardé le Hochstegenkalk comme un calcaire paléozoïque.

Mais si l'on suit vers l'ouest ces diverses bandes de la *Schieferhülle*, on voit la coupe se transformer peu à peu. Les Schistes lustrés, si réduits à Astegg, deviennent bientôt très épais. Le Hochstegenkalk change fréquemment d'aspect, et il passe souvent à des calcaires dont l'apparence triasique est frappante : de plus il s'associe à des quartzites, qui ont également le faciès triasique. Enfin, le nombre des niveaux du Hochstegenkalk varie d'un point à l'autre : tantôt il n'y en a qu'un ; tantôt on en observe deux ou trois. Ce sont des lentilles très allongées, plutôt que des niveaux véritables. Seuls, les Schistes lustrés sont absolument continus.

On arrive ainsi à l'extrémité occidentale du Tuxer Kern, c'est-à-dire à l'arête du Wolfendorn. Là, j'ai pu relever, pas à pas, la coupe suivante (fig. 2), que le lecteur voudra bien comparer à celle de la Gschösswand, donnée plus haut.

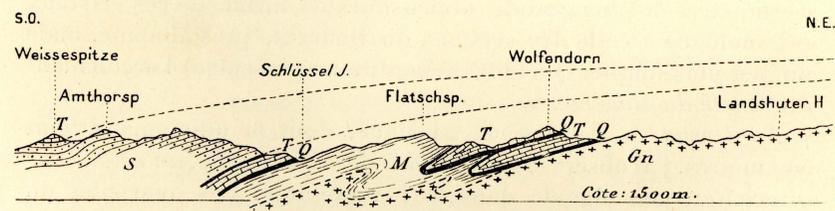


Fig. 2. — Coupe de la *Schieferhülle* entre la Landshuter Hütte et la Weissespitze, suivant l'arête.

Gn, Gneiss du Tuxer Kern; M, Micaschistes; Q, Quartzites du Trias; T, Calcaires du Trias; S, Schistes lustrés.

En écrivant la légende de cette coupe, j'ai supposé la démonstration faite et le problème résolu, et j'ai rapporté au Trias les calcaires et les quartzites qui apparaissent, à plusieurs niveaux, entre les Schistes lustrés et les gneiss. En réalité, ces quartzites et ces calcaires correspondent au Hochstegenkalk et aux Grauwackengneiss de la coupe de la Gschösswand. Je répète qu'il y a continuité absolue, sans aucun hiatus, entre les Schistes lustrés d'Astegg (fig. 1) et ceux de l'Amthorspitze (fig. 2). Quant aux calcaires de la Weissespitze, qui sont concordants avec les Schistes lustrés, ils sont, pour M. Becke comme pour moi, du Trias incontestable, et ils correspondent aux quartzites et aux calcaires de la Gschösswand.

Or, il est impossible — et M. Becke m'a paru être d'accord avec moi sur ce point — de voir la moindre différence entre les calcaires de la Weissespitze et ceux du Schlüssel Joch. Ce sont les mêmes marbres phylliteux, identiques d'ailleurs aux marbres phylliteux de la Vanoise, et encore les mêmes marbres francs, peu phylliteux (ou même pas du tout), très blancs ou d'un jaune clair. Au contact des marbres de la Weissespitze, comme au contact des marbres du Schlüssel Joch, les Schistes lustrés ne sont presque plus calcaires et ne montrent guère que des micaschistes plus ou moins quartzeux. Aussi M. Becke me semblait-il très disposé à admettre que les marbres du Schlüssel Joch sont triasiques, et que les Schistes lustrés de l'Amthorspitze (épais de 600 ou 700 mètres) forment ici un pli couché, entre Trias et Trias.

Mais si l'on admet cette première conclusion, tout le reste en découle nécessairement, et c'est toute la *Schieferhülle* qui devient une série de plis couchés superposés.

Dans la figure 2, qui est à très petite échelle, j'ai représenté, au Schlüssel Joch, des quartzites et des calcaires. Le lambeau triasique qui affleure là, est en réalité, plus complexe. Au col même, on a des marbres phylliteux, reposant directement sur les micaschistes de la Flatschspitze. Sur ces marbres peu épais viennent des quartzites, auxquels s'associent des micaschistes de couleur sombre, et qui ont, au total 50 mètres environ de puissance. Puis on voit reparaitre les marbres phylliteux, formant le sommet de la butte appelée Kalkstangewand. Au-dessus de ces marbres, on trouve de nouveaux micaschistes, puis encore des marbres, au-dessus desquels affleurent les micaschistes quartzeux qui commencent la série des Schistes lustrés.

La Flatschspitze est formée de micaschistes à séricite et à biotite, souvent grenatifères, très analogues à ceux de la Greiner Scholle. Ils alternent parfois avec des schistes plissotés très brillants, et avec des lits de gneiss fin. Cet ensemble repose sur les calcaires et quartzites du Wolfendorn, en parfaite concordance.

Les calcaires et quartzites du Wolfendorn sont identiques à ceux du Schlüssel Joch, sauf que l'on y observe, en plus, des calcaires francs et des dolomies qui manquent au Schlüssel Joch et à la Weissespitze, mais qui sont entièrement semblables à ceux de la Gschösswand. Ces calcaires francs et ces dolomies forment le sommet même du Wolfendorn. Ils reposent sur des marbres phylliteux, qui reposent eux-mêmes sur des quartzites et des schistes quartzeux noirs, souvent disthénifères (*Rhäticischiefer*). C'est l'intercalation que j'ai représentée dans la figure 2.

Au-dessous de ce niveau supérieur de quartzites et de schistes noirs vient un nouvel étage de calcaires et de marbres, reposant lui-même sur un autre niveau de schistes noirs quartzeux, disthénifères, de marbres noirs et de quartzites. La figure 2 montre ce deuxième niveau de roches quartzieuses posé directement sur les gneiss. En réalité, les roches quartzieuses en question sont séparées des gneiss par un troisième niveau de marbres phylliteux, épais de quelques mètres seulement, sous lequel on observe, sporadiquement, de minces lits de quartzites. De sorte que le Wolfendorn est, en réalité, composé de trois séries, quartzites — marbres phylliteux — calcaires, posées les unes sur les autres.

Au nord de l'arête, dans les ravins qui descendent vers le Brenner, on voit les deux séries inférieures finir en coin, et la série supérieure (celle du sommet du Wolfendorn) venir au contact des gneiss. En allant du Wolfendorn à la Flatschspitze, les contournements et étirements des quartzites sont nettement visibles. Les trois séries du Wolfendorn sont trois replis superposés du terrain triasique dans son substratum de micaschistes ou de gneiss.

Je dis « du terrain triasique ». La chose, en effet, n'est plus douteuse. L'identité pétrographique est complète, d'une part entre les marbres phylliteux de la Weissespitze (certainement triasiques) et ceux du Schlüssel Joch, d'autre part entre les marbres phylliteux et quartzites du Schlüssel Joch et ceux du Wolfendorn, et encore entre les calcaires francs et les quartzites blancs du Wolfendorn et ceux (certainement triasiques) de la Gschösswand.

Entre le Tuxer Kern et la Weissespitze, la *Schieferhülle* est un paquet de plis couchés superposés, ramenant plusieurs fois le Trias sur lui-même, et intercalant entre Trias et Trias une puissante nappe de Schistes lustrés.

Mais, encore une fois, la coupe de la *Schieferhülle* à Mairhofen (fig. 1) et la coupe au Wolfendorn (fig. 2) ne sont point indépendantes l'une de l'autre. Car, de l'une à l'autre, il y a continuité du substratum gneissique et continuité de l'étage supérieur (Schistes lustrés). La *Schieferhülle*, à Mairhofen, est donc une série de plis couchés; et le Hochstegenkalk est un marbre triasique. Les deux niveaux du Hochstegenkalk séparés par l'étage des Grauwackengneiss correspondent aux replis triasiques du Wolfendorn, et les Grauwackengneiss eux-mêmes sont, soit un équivalent local des quartzites, soit plutôt l'équivalent des micaschistes et gneiss de la Flatschspitze.

Voyons maintenant la coupe de la *Schieferhülle* entre le Tuxer Kern et le Zillertaler Kern, par le Pfitscher Joch et la Griesscharte. C'est le dessin de la fig. 3.

Dans cette coupe, les courbes en pointillé doivent être considérées comme purement schématiques. Les Schistes lustrés du Hochferner, sur la droite de la figure, correspondent à ceux de l'Amthorspitze (fig. 2) et à ceux d'Astegg (fig. 1). Les calcaires de la Griesscharte correspondent, de la façon la plus évidente, à ceux du Schlüssel Joch.

Au Pfitscher Joch, j'ai observé, sous la conduite de M. Becke,

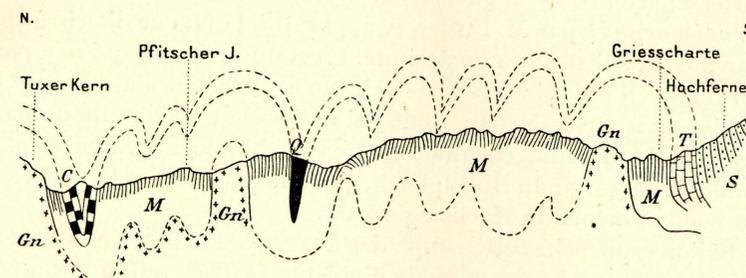


Fig. 3. — Coupe de la *Schieferhülle* par le Pfitscher Joch.

Gn, Gneiss, allant, par dessous les terrains de la coupe, du Tuxer Kern, à gauche, au Zillertaler Kern, à droite; M, Micaschistes et phyllades; C, Conglomérats; Q, Quartzites, avec, çà et là, quelques lambeaux de calcaire; T, Calcaires du Trias; S, Schistes lustrés.

de curieux conglomérats (C) qui reposent à peu près immédiatement sur les gneiss du Tuxer Kern. Je crois, comme M. Becke, que ces conglomérats sont un équivalent local des quartzites du Wolfendorn. Les quartzites apparaissent, en effet, un peu à l'ouest du col, sur le prolongement des bancs de conglomérats, et ils sont dès lors, comme au Wolfendorn, flanqués de calcaires à faciès triasique.

Les micaschistes et phyllades (M) sont de nature variée. Au col même (Pfitscher Joch), ce sont des micaschistes tendres à séricite, biotite et ankérite. Un peu plus au sud, entre l'affleurement des gneiss et celui des quartzites, il y a des lits d'amphibolite. Au sud du synclinal de quartzites, viennent des micaschistes noirâtres, riches en biotite et en grenat, et contenant parfois des intercalations graphitiques. Cette série schisteuse n'est autre que la Greiner Scholle.

L'affleurement quartzieux (Q) est représenté, sur l'arête même du col, par des schistes quartzieux riches en pyrite, épais de 30 à 40 mètres, et formant une bande rouillée, qui se voit de très loin sur le fond sombre des micaschistes. Cette bande quartzieuse est conti-

nue sur plusieurs kilomètres de longueur. D'après M. Becke, elle est, sur plusieurs points, flanquée de calcaire ou de dolomie. C'est pourquoi je la regarde comme triasique.

Le gneiss qui apparaît entre la bande quartzeuse et le Pfitscher Joch est décrit par M. Becke comme un amas intrusif. Mais rien n'indique l'intrusion, et je crois, pour mon compte, qu'il y a là un simple retour anticlinal des gneiss sous-jacents. De même, à la Griesscharte, le beau gneiss porphyroïde décrit sous le nom de *granitporphyr* par M. Futterer, apparaît à la faveur d'un brusque sursaut du substratum gneissique. C'est du moins ce qui m'a paru fort clair en regardant la Griesscharte à distance. J'ajoute que ce gneiss de la Griesscharte, dont j'ai ramassé des échantillons dans les éboulis du Schlageisental, est très semblable au gneiss porphyroïde de la gorge du Stillupbach, près de Mairhofen, lequel vient au contact même du Hochstegenkalk.

Si l'on rapproche cette coupe des deux précédentes, on est amené à conclure que le manteau de Schistes lustrés qui a recouvert jadis la Greiner Scholle et le Tuxer Kern était partout, ou presque partout, séparé des micaschistes ou des gneiss par une *lame* de Trias. Les calcaires de la Griesscharte, les quartzites, schistes quartzo-pyriteux, calcaires et dolomies de la bande rouillée (Fahlband, de M. Becke), enfin les conglomérats du Pfitscher Joch, sont des témoins discontinus de cette lame. On les voit, ces mêmes témoins, se prolonger à l'ouest du Pfitscher Joch, dans les pentes boisées et les ravins qui dominent la rive droite du Pfitschtal, et se rattacher aux replis de terrains triasiques du Wolfendorn et du Schlüssel Joch. Ils sont, par conséquent, les équivalents du Hochstegenkalk. Les trois coupes se complètent et s'expliquent mutuellement.

A peu de distance à l'est du Pfitscher Joch, sur le chemin qui vient de la Dominicus Hütte, M. Becke m'a montré un petit amas de serpentine, qui semble posé sur les micaschistes de la Greiner Scholle, non loin de leur contact avec les gneiss du Tuxer Kern. J'interprète cette serpentine comme un témoin d'un repli synclinal de la nappe des Schistes lustrés.

A l'est du Schlageisental, dans l'arête des pics de Greiner et du Schönbichlerhorn, la *Schieferhülle* (Greiner Scholle) ne montre plus de Trias. Il en est de même à l'aval de la Berliner Hütte, dans la gorge du Zemmbach ; de même encore dans le cirque du Schwarzsee et du Rosskar. On n'y voit, en général, que des micaschistes et des amphibolites. Mais fréquemment, sur le bord nord de la Scholle, tout contre les gneiss du Tuxer Kern, on observe des

amas de serpentine (Totenköpfchen, Ochsner), avec schistes verts associés. Ces amas de serpentine jouent évidemment le même rôle que l'amas dont je viens de parler à propos du Pfitscher Joch. Je les regarde aussi comme des témoins d'un synclinal de la nappe de Schistes lustrés, synclinal qui correspondrait à celui qui contient, sur le bord nord du Pfitscher Joch (fig. 3), les conglomérats triasiques. Ces serpentines et les schistes verts, à talc et à actinote, qui les accompagnent, ressemblent trop aux *roches vertes* des Schistes lustrés pour que leur rattachement aux Schistes lustrés ne me paraisse pas, non seulement légitime, mais presque nécessaire. J'ai dit plus haut que les apparences intrusives du Tuxergneiss dans la serpentine de l'Ochsner m'ont semblé pouvoir s'expliquer par des reploiements postérieurs à la formation de ce gneiss.

Quoiqu'il en soit de ces serpentines de l'Ochsner, du Totenköpfchen et du Pfitscher Joch, la complexité de la *Schieferhülle* est désormais certaine. Entre les deux étages principaux dont elle se compose, l'étage des micaschistes et des amphibolites (Greiner Scholle) à la base, et l'étage des Schistes lustrés (Kalkglimmerschiefer) au sommet, s'insinue, soit une lame de Trias, soit un système de deux (ou même trois) lames de Trias. Là où l'étage des micaschistes et des amphibolites manque — et c'est le cas à Mairhofen — la lame inférieure de Trias forme la base de la *Schieferhülle*, sous le nom de Hochstegenkalk.

B. — LES SCHISTES LUSTRÉS DE LA SCHIEFERHÜLLE SONT PLUS JEUNES QUE LE TRIAS À DIPLOPORES.

Je viens d'établir que les Schistes lustrés (Kalkphyllite, Kalkglimmerschiefer) du Zillertal sont, à l'Amthorspitze comme à Astegg, compris entre deux étages, ou plutôt deux lames de Trias. Le Trias de ces deux lames est d'ailleurs le même, sans qu'on en puisse douter : et l'étage calcaire de la lame supérieure a été rapporté au Trias à *Diplopores* par tous les géologues qui se sont occupés du Zillertal, tant est parfaite son identité avec les calcaires à *Diplopores* de Krimml, et avec les calcaires à *Dactylopores* de Mauls. Les calcaires de la Gschösswand sont d'ailleurs, par endroits, riches en organismes, et je ne doute pas que l'on n'y trouve un jour les mêmes algues qu'à Mauls ou à Krimml.

Sous le Trias qui forme le mur des Schistes lustrés, il y a généralement des micaschistes, et, sous ces micaschistes, un autre retour du Trias : et ce Trias, enfin, qui est plus bas que tous les

autres, repose sur les micaschistes, les amphibolites ou les gneiss. Voilà ce que nous savons.

Jamais les Schistes lustrés n'apparaissent *sous* le Hochstegenkalk, je veux dire sous la plus basse des lames triasiques. Quand ils viennent en contact immédiat avec les micaschistes, ou les amphibolites, ou le Zentralgneis, on voit, manifestement, que le contact est anormal; et, en suivant ce contact, on y retrouve, tôt ou tard, des lambeaux lenticulaires, des témoins écrasés, de Hochstegenkalk.

Il y a là une présomption très forte en faveur de la postériorité des Schistes lustrés au Hochstegenkalk. Et, en effet, je ne crois pas qu'aucun auteur ait jamais douté de cette postériorité. MM. Becke et Löwl sont, sur ce point, très affirmatifs. Pour eux, les Schistes lustrés sont plus jeunes que le Hochstegenkalk.

Et comme nous savons, maintenant, que le Hochstegenkalk est du Trias, il y a une présomption très forte en faveur de la postériorité des Schistes lustrés au Trias à *Diplopores*.

Mais cette présomption très forte se change en certitude si l'on examine les faciès.

J'ai dit que les Schistes lustrés du Zillertal sont, pétrographiquement, *identiques* aux Schistes lustrés des Alpes occidentales, lesquels se prolongent, comme on sait, sous le nom de *Bündner Schiefer*, et avec un faciès constant, jusqu'au Prättigau, et reparaisent encore, plus à l'est, sous le nom de *Kalktonphyllite de la Basse Engadine*. Cette identité est tellement saisissante que, dès ma première course en Zillertal — la course à Astegg et à la Gschösswand — j'ai prévu tout ce qui viendrait ensuite, et prédit la complexité de la *Schieferhülle*.

Ces Schistes lustrés, identiques aux nôtres, et contenant les mêmes roches vertes, s'associent à un Trias fort cristallin, qui est *identique* au Trias de la *zone des Schistes lustrés* dans les Alpes occidentales: mêmes quartzites, mêmes marbres phylliteux, mêmes calcaires et mêmes dolomies; et, sur tout cela, même métamorphisme.

Et, de même que chez nous — je veux dire dans les Alpes Cottiennes, Grées et Pennines — les Schistes lustrés sont séparés du Permo-Houiller métamorphique par ce Trias cristallin, de même, en Zillertal, un Trias identique, et tout aussi cristallin, sépare les Schistes lustrés, identiques aux nôtres, de gneiss, micaschistes et amphibolites, qui rappellent, par tous leurs caractères, notre Permo-Houiller métamorphique.

Le grand caractère du Permo-Houiller métamorphique, dans

les Alpes occidentales, c'est son intime liaison avec le Trias. M. Marcel Bertrand a décrit, jadis, des sortes de passages des gneiss de la Levanna aux marbres micacés triasiques qui les surmontent. En Zillertal, la liaison est la même entre le Trias et les micaschistes ou les gneiss. Comme en Piémont, on a l'impression d'une série cristallophyllienne continue englobant les gneiss, le Trias et les Schistes lustrés¹.

Je sais très bien qu'il ne faut pas abuser des arguments tirés des analogies pétrographiques. Mais ici les analogies vont jusqu'à l'identité et s'étendent à des milliers de mètres d'épaisseur d'assises: et l'on sait que ces analogies ne sont pas trompeuses pour la région moyenne de l'énorme série, puisque cette région moyenne, en Zillertal comme en Piémont, est triasique. Il est donc infiniment probable qu'elles ne sont pas trompeuses non plus, pour les étages, concordants d'ailleurs avec le Trias, qui forment le toit et le mur de ce terrain.

Si l'on ajoute cette probabilité très grande à la très forte présomption dont je parlais tout à l'heure, et qui était tirée d'observations d'un ordre entièrement différent, on demeurera convaincu, avec moi, de l'exacte correspondance des Schistes lustrés du Zillertal aux Schistes lustrés des Alpes franco-italiennes, et de l'exacte correspondance des *Zentralgneis* des Hohe Tauern aux gneiss permo-houillers de la Vanoise, de la Levanna et du Grand-Paradis.

Laissons de côté, pour le moment, cette dernière conclusion relative aux *Zentralgneis*, et retenons seulement la conclusion qui regarde les Schistes lustrés.

Les Schistes lustrés du Zillertal sont contemporains des Schistes lustrés franco-italiens et suisses; ils appartiennent à une *série compréhensive*, postérieure au Trias à *Diplopores*. La plus grande partie de cette série est certainement mésozoïque; il est probable que la partie haute est éocène.

C. — LA SCHIEFERHÜLLE, GÉNÉRALEMENT RECOUVERTE D'UNE LAME CONCORDANTE DE TRIAS, S'ENFONCE, AU NORD COMME AU SUD DU ZILLERTAL, SOUS DES TERRAINS PALÉOZOÏQUES.

Le fait que je viens d'énoncer en écrivant le titre de ce paragraphe n'est pas nouveau en ce qui concerne le bord sud du massif du Zillertal et du Gross-Venediger. Pour le bord nord, il semble que les géologues autrichiens soient restés dans le doute. En tout

1. Je renvoie, pour ce qui est des Alpes occidentales, à ma conférence du Congrès de Vienne. Pour les relations des gneiss, des micaschistes et du Hochstegenkalk dans les Hohe Tauern, je renvoie aux travaux de MM. BECKE et LÖWL, et, tout spécialement, au *Livret-guide des excursions* VIII et IX du même Congrès.

cas, s'ils ont cru à la plongée générale, sous le Paléozoïque, de la *Schieferhülle* et du Trias *concordant* qui la recouvre, ils n'ont pas tiré de leurs observations les conséquences tectoniques, très importantes, qui y étaient contenues.

Au sud du Zillertal, et le long d'une bande qui, de Sterzing, s'étend jusqu'au delà du Gross-Glockner, on voit partout les Schistes lustrés (Kalkphyllite ou Kalkglimmerschiefer des géologues autrichiens) s'enfoncer sous des gneiss, le contact entre les deux formations plongeant, toujours au sud, sous un angle très raide. J'ai vu moi même un point de ce contact, au confluent du Pfitschbach et de l'Eisack, près de Sterzing. Les gneiss sous lesquels s'enfoncent les Schistes lustrés ne ressemblent point au Zentralgneis. Ce sont d'ailleurs, plutôt que des gneiss, des micaschistes et des amphibolites, avec veines nombreuses d'aplite et de pegmatite. M. Becke les regarde comme précambriens. En tout cas, ils sont antérieurs au Houiller : car cette bande de vieux terrains cristallophylliens se prolonge vers l'est, comme je l'ai déjà dit, jusqu'au massif de la Stang-Alpe, et on la voit alors surmontée, en discordance, par du Houiller incontestable.

Le Trias de la Weissespitze ne descend point jusqu'au Pfitschbach : et il semble que ce même Trias manque, de même, à peu près partout, dans le contact des Schistes lustrés et des vieux gneiss. C'est du moins ce qui ressort de la lecture de la carte à 1/500.000 jointe au Livret-guide du Congrès de 1903. Mais dans la bande appelée par M. Löwl *Windisch-Matreier Schieferzug*, il y a certainement du Trias, si même toutes les assises ne sont pas triasiques. Ce Trias de Windisch-Matrei et de Kals correspond donc à celui de la Weissespitze. Et il est dès lors évident que la disparition de ce Trias, dans la plus grande partie du contact des Schistes lustrés et des vieux gneiss, n'est imputable qu'à l'éirement.

Voyons maintenant le bord nord de la *Schieferhülle* du Zillertal.

Au-delà de ce bord nord s'étend la région monotone des *Phyllites du Pinzgau*. Il est certain que ces phyllites sont paléozoïques. Dans le détail, on connaît mal leur âge. On sait seulement qu'à Dienten, non loin du bord méridional des Alpes calcaires du nord, on y a trouvé des fossiles du Silurien supérieur. A l'est de Matrei, entre les vallées de la Sill et du Tuxerbach, la région des phyllites débute par une bande de terrain houiller. Il y a également du Houiller au Steinacher Joch¹, au nord-est des Tribulaun. La plu-

1. C'est PICHLER (Beiträge zur Geognosie Tirols, *Zeitschr. des Ferdinandeums*, 1859) qui a découvert, au Nösslacher Joch, près du Steinacher Joch, des empreintes végétales, que Stur a assimilées à celles des couches d'Ottweiler.

part des géologues autrichiens et allemands donnent à ces schistes, plus ou moins métamorphiques, le nom de *Quarzphyllit*. M. Becke y a signalé la fréquence de l'albite.

Le contact des phyllites du Pinzgau et de la *Schieferhülle* correspond, dans la topographie, à une ligne très marquée de dépressions, vallées et cols : ligne qui, près du Zillertal, est dirigée vers l'est-nord-est. Le Gerlostal, dont le débouché dans le Zillertal est à quelques kilomètres à l'aval de Mairhofen, est ouvert sur ce contact même, ou à très faible distance.

Cette ligne de dépressions est considérée par les géologues autrichiens comme l'affleurement d'une longue faille (*Längstörung, Grabenbruch*). Parfois, dans cette même dépression — c'est le cas de la haute vallée de Gerlos —, on voit apparaître des témoins de Trias, d'allure chaotique, qui semblent tombés et chavirés dans la cassure. Cette interprétation rappelle la manière de voir de Charles Lory sur les bords de zones des Alpes occidentales.

Entre Mairhofen et Zell-am-Ziller, où aboutit le Gerlostal, la vallée de la Ziller est dirigée vers le nord, à peu près normale, par conséquent, au bord de la *Schieferhülle*. Cette vallée de la Ziller est dominée, à l'est par la Rettelwand, à l'ouest par la Gschösswand (et la Grubenwand) : et ces deux montagnes, qui se font face sur les deux rives de la Ziller, arrivent à la même altitude (environ 2000 m.) et ont des coupes très comparables. Dans l'une comme dans l'autre on voit la *Schieferhülle*, recouverte, en concordance, d'une lame de quartzites et de calcaires triasiques, plonger au nord sous les *phyllades paléozoïques*. Les bancs triasiques sont visibles depuis les deux sommets jusqu'aux deux bords de la plaine alluviale. Sur la rive gauche (Gschösswand), les calcaires triasiques sont continus, du haut en bas de la coupe ; sur la rive droite, ils n'apparaissent que de loin en loin, au milieu des bois, entre les quartzites, continus, et les phyllades également continues. Dans l'une et l'autre coupe, enfin, un *lambeau de recouvrement*, fait de terrains triasiques, chevauche l'ensemble et constitue le sommet de la montagne (fig. 4).

Je place ici deux coupes allant du Zentralgneis aux phyllites du Pinzgau à travers la *Schieferhülle*. Ces deux coupes sont *schématiques*, et je n'ai pas la prétention de représenter les détails de la structure : mais je crois bien que, dans l'ensemble, les positions relatives de la *Schieferhülle*, du Trias, et des phyllites du Pinzgau, sont celles que j'indique.

La coupe inférieure est menée à travers la Gschösswand, c'est à-dire à travers la montagne qui domine la rive gauche de la

Ziller. Sur la droite, on reconnaît la coupe déjà donnée dans la fig. 1, avec cette seule différence qu'ici je marque en calcaire triasique (*T*) les deux étages du Hochstegenkalk. Dans le haut de la montagne, j'ai figuré le retour, dont j'ai déjà parlé, des terrains triasiques. Que ce retour soit dû à l'existence d'un lambeau de recouvrement, c'est ce dont on ne peut pas douter lorsque, du haut de la Gschösswand, on regarde le plateau environnant. Mais l'existence d'un pareil lambeau, témoin d'une véritable *nappe chevauchante*, est encore beaucoup plus évidente lorsque l'on considère la Rettelwand.

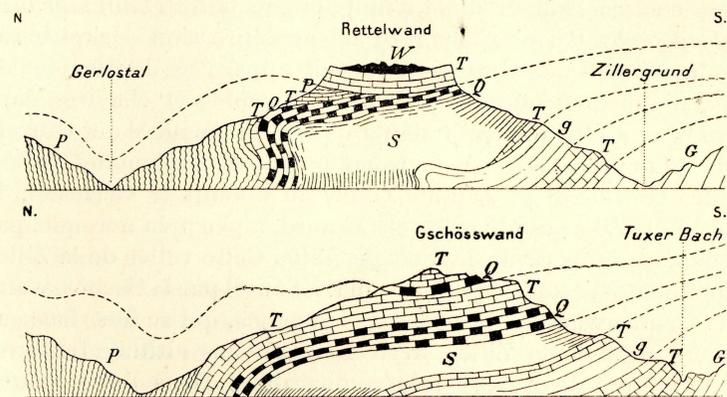


Fig. 4. — Coupes de la Schieferhülle sur les deux rives de la Ziller, à l'aval de Mairhofen.

G, Zentralgneis; P, Phyllites paléozoïques du Pinzgau; g, Grauwackengneis et micaschistes; Q, Quartzites du Trias; T, Calcaires du Trias; S, Schistes lustrés; W, Schistes de Werfen (?) fortement sériciteux.

La coupe supérieure de la fig. 4 est menée à travers la Rettelwand : c'est, avec une interprétation différente, et quelques divergences de détail, la reproduction d'un croquis dessiné, sur mon propre carnet de notes, par M. Becke. Les quelques corrections que j'ai cru devoir apporter au croquis de M. Becke proviennent des observations que j'ai faites du haut de la Gschösswand, en regardant très attentivement les escarpements d'en face.

Sur la Schieferhülle, dont les Schistes lustrés forment la partie haute, viennent les quartzites, prolongement évident, par-dessous la vallée de la Ziller, des quartzites de la Gschösswand. Ces quartzites, très redressés, et même parfois renversés dans le bas de la montagne, se raplanissent vers le haut et viennent finir en coin sous la table calcaire. Dans l'ensemble, ils plongent indubi-

tablement sous les phyllades paléozoïques, qui montent très haut au-dessus du Gerlostal. Entre les phyllades et les quartzites, il y a des lambeaux calcaires, qui paraissent, à M. Becke, des fragments de la table supérieure descendus par des failles, mais qui m'ont bien paru suivre le mouvement des quartzites et appartenir, par conséquent, à la lame de Trias liée à la Schieferhülle. Ce point est d'ailleurs sans importance, puisque, en tout état de cause, il y a les quartzites, qui, pour M. Becke comme pour moi, s'intercalent indubitablement entre la Schieferhülle et les phyllades.

Quant à la table supérieure, elle est incontestablement *transgressive*, ou plutôt *chevauchante*. Elle correspond au lambeau supérieur de la Gschösswand. Composée surtout de calcaires triasiques, légèrement ployés en cuvette, elle supporte, d'après M. Becke, un témoin de phyllades sériciteux et argileux. Ces phyllades sont différents des phyllades du Gerlostal. Ils sont certainement plus anciens que les calcaires triasiques qui les supportent. Le sommet de la Rettelwand est donc formé d'un lambeau de recouvrement, avec témoins d'une série renversée ou d'une autre nappe. Je reviendrai, au paragraphe suivant, sur ce fait, qui a, comme bien on pense, une valeur considérable.

Ce qui importe en ce moment, et ce que les deux coupes de la fig. 4 établissent d'une façon très nette, c'est que la Schieferhülle, recouverte d'une lame concordante de Trias, s'enfonce sous les phyllades paléozoïques.

Ce phénomène semble général sur le bord nord des Hohe Tauern. Comme la surface de contact des phyllades et de la Schieferhülle est partout très redressée, il y a des points où la plongée est vers le sud; ailleurs, la surface est verticale; un peu plus loin, elle plonge au nord. Mais la plongée nord paraît être la règle. Les coupes données par M. Frech¹ pour les Radstädter Tauern, par M. Löwl² pour Krimml, par M. F.-E. Suess³ pour le vallon de Navis et les Tarntaler Köpfe, ne me laissent pas de doutes à cet égard. Dans toutes ces coupes, la partie haute de la Schieferhülle est formée des Schistes lustrés. La lame de Trias concordante avec les Schistes lustrés semble manquer à Navis, aux Tarntaler Köpfe, et dans les Radstädter Tauern; mais elle existe très probablement à Krimml, entre les Schistes lustrés du Plattenkogel et les calcaires de la Nesslingerwand.

1. F. FRECH. Geologie der Radstädter Tauern; *Geolog. und palæontolog. Abhandl. von Koken*, Iéna, 1901.

2. F. LÖWL. *Livret guide de l'excursion IX du 9^e Congrès géolog. internat.*, Vienne, 1903; page 11, fig. 2.

3. F.-E. SUSS. Das Gebiet der Triasfalten im Nordosten der Brennerlinie; *Jahrb. der k. k. geolog. Reichsanstalt*, XLIV Bd, 1894.

D. — LE CONTACT NORD ENTRE LA SCHIEFERHÜLLE ET LES TERRAINS PALÉOZOÏQUES EST PARFOIS CHEVAUCHÉ PAR DES LAMBEAUX DE RECOUVREMENT OÙ DOMINENT LES ASSISES TRIASIQUES, SOUVENT CHARGÉES D'ASSISES PLUS ANCIENNES.

Voilà déjà longtemps que les géologues allemands et autrichiens (MM. Becke, Frech, Löwl, Rothpletz, F.-E. Suess) ont décrit des lambeaux *transgressifs* de Trias, reposant indifféremment sur la *Schieferhülle* et sur les phyllites du Pinzgau (ou les Quarzphyllite). Ces lambeaux sont nombreux au nord-est du Brenner, entre Matri et Mairhofen; près de Mairhofen, il y a ceux, dont j'ai déjà parlé, de la Gschösswand et de la Rettelwand; plus à l'est, dans le haut Gerlostal, on observe une longue traînée de Trias; la Nesslingerwand, près de Krimml, est un lambeau tout semblable. Entre Krimml et les Radstädter Tauern, sur une longueur d'environ 70 kilomètres, il n'y a pas de Trias; mais les Radstädter Tauern sont formées d'un grand lambeau transgressif, le plus grand de tous, et qui paraît fort analogue à ceux de Matri et de Mairhofen.

C'est, me semble-t-il, pour avoir méconnu la véritable nature de ces lambeaux que les géologues, bien habiles cependant, et bien consciencieux, dont je viens de rappeler les noms, n'ont pas pu nous donner une claire idée de la *Zentralzone*. Tout en voyant des preuves péremptoires de chevauchement (séries renversées des Tarntaler Köpfe et de la Rettelwand), ils n'ont pas osé conclure que le Trias de ces lambeaux est, *tout entier, d'origine lointaine*: et alors leurs études sont restées, dans leur ensemble, difficilement intelligibles; et personne, par exemple, ne pourrait croire, sans avoir vu le pays, que le massif des Tribulaun, très bien décrit par M. Frech, fût tout à côté de la région du Trias *transgressif*, non moins exactement décrite par M. F.-E. Suess.

En faveur de ma thèse, les coupes de la Rettelwand et de la Gschösswand (fig. 4) sont des arguments bien forts. A la Gschösswand, j'ai observé le retour du Trias sur le Trias; et, quoique, dans l'ensemble, les faciès soient les mêmes dans la lame triasique de dessous et dans le lambeau triasique supérieur, il y a cependant de petites différences de faciès qui m'ont vivement frappé. A la Rettelwand, non seulement il y a superposition des calcaires triasiques du sommet aux quartzites et aux calcaires, également triasiques, des pentes; mais il y a superposition avec discordance angulaire, et par conséquent, *apparence de transgressivité*, c'est-à-dire *chevauchement*, puisqu'il s'agit de forma-

tions du même âge. De plus, les calcaires de la Rettelwand supportent, d'après M. Becke, des phyllades semi-métamorphiques. Quel que soit l'âge exact de ces phyllades, schistes de Werfen, ou schistes paléozoïques, elles sont, indubitablement, plus anciennes que leur substratum. Dans le *lambeau de recouvrement* de la Rettelwand, il y a donc des témoins d'une *série renversée*, ou d'une autre *nappe*.

D'après les indications que m'a données M. Becke, il est certain que le grand lambeau triasique du haut Gerlostal appartient à cette *nappe* de la Rettelwand. C'est un témoin, conservé dans un repli synclinal de la nappe et de son substratum. Le lambeau de Krimml, la Nesslingerwand, où M. Diener a trouvé des *Diploporés*, est probablement un témoin tout semblable de la même nappe. Il semble compris entre deux failles, à la façon d'un vousoir enfoncé: il est, en réalité, pincé dans un synclinal. La longue dépression (*Tauerngraben*) qui sépare la région des phyllites du Pinzgau et la région de la *Schieferhülle* n'est pas une faille, une *Längstörung*, un *Grabenbruch*: c'est un synclinal récent, postérieur à la mise en place de la nappe, et par lequel quelques témoins de la nappe sont conservés. J'ai figuré, schématiquement, ce synclinal de la nappe, dans les deux coupes de la fig. 4.

Les coupes de la région comprise entre Matri et Mairhofen — coupes publiées par M. F.-E. Suess¹ — deviennent alors parfaitement claires, et correspondent, presque trait pour trait, à celles de la fig. 4. La seule différence, c'est que la lame inférieure de Trias, celle qui, à Mairhofen, est liée à la *Schieferhülle* et forme le toit des Schistes lustrés, semble ici manquer. Les *Schistes lustrés* (*Kalkphyllite des Brenner*) supportent directement, et en concordance, les phyllades houillers (*Quarzphyllite der Steinkohlenformation*): et, indifféremment sur les uns et les autres, ou même *chevauchant sur leur contact*, s'étend la *nappe* triasique, elle-même *fortement plissée*. Les lambeaux de Matri, de Navis, du Mieskopf, etc., appartiennent à cette nappe. Dans le plus grand de ces lambeaux, celui des Tarntaler Köpfe et du Reckner, on voit, sur les calcaires triasiques, reposer des schistes quartzeux certainement plus anciens. C'est le même phénomène qu'à la Rettelwand. Ce phénomène a bien été interprété par M. F.-E. Suess comme un renversement; mais M. F.-E. Suess n'a pas songé à en déduire *l'origine lointaine* de tous les lambeaux triasiques de la région. Malgré les étirements dont toutes ses coupes donnent

1. F.-E. SUSS, *loc. cit.*

des preuves et qu'on lit en vingt endroits de sa carte, malgré l'allure *lenticulaire* des quartzites triasiques (qu'il rapporte au Permien), il ne doute pas que le Trias du Mielskopf, de la Hippoldspitze et des Tarntaler Köpfe, ne soit *en place*.

Sur les schistes quartzeux des Tarntaler Köpfe, tout en haut du lambeau de recouvrement, repose la serpentine du Reckner. On trouve des serpentines analogues, associées à des schistes quartzochloriteux, sous Matrei et au Mieslkopf. C'est probablement, comme le pense M. F.-E. Suess, un faciès du Trias inférieur.

Il est facile, maintenant, de comprendre l'étonnante différence de structure de cette région des Tarntaler Köpfe et de la région des Tribulaun. Dans les Tribulaun¹, ce n'est plus à la *nappe* de la Rettelwand que l'on a affaire : c'est à la *Schieferhülle* elle-même, et aux *lames* de Trias qu'elle renferme. L'une de ces lames, ici, atteint 1000 mètres d'épaisseur (Grosser Tribulaun). A l'est, cette lame principale, graduellement amincie, s'enfonce sous les Schistes lustrés (Brennerphyllite de M. Frech). Au nord, l'ensemble de la *Schieferhülle*, avec les lames triasiques, s'enfonce sous les phyllades houillers du Steinacher Joch. Les phyllades houillers du Steinacher Joch sont l'équivalent tectonique de ceux de Matrei. De même que ceux de Matrei, ils ont une allure lenticulaire. Un brusque étirement, correspondant à un brusque ressaut du paquet de nappes le long du Silltal, les fait disparaître entre Matrei et le Steinacher Joch.

Au nord du massif des Tribulaun, la *Schieferhülle*, avec ses *lames* de Trias, ses micaschistes et ses Schistes lustrés, *plonge vers le nord sous les phyllades de Stubai*, prolongement de ceux du Pinzgau. Le grand lambeau triasique de la Serlesspitze, près d'Innsbruck, est un témoin indubitable de la *nappe* de la Rettelwand, posé sur ces phyllades de Stubai. Et, frappante analogie : sur ce témoin triasique, comme sur ceux de la Rettelwand et des Tarntaler Köpfe, il y a des restes d'assises *plus anciennes*, quartzeuses et micacées².

Le massif mésozoïque des Radstädter Tauern, dont M. Frech nous a donné une si belle monographie, correspond exactement aux lambeaux triasiques de la région des Tarntaler Köpfe. Au sud, s'étendent les Schistes lustrés, qui se relie, sans discontinuité, à ceux du Zillertal : c'est la partie haute de la *Schieferhülle*. Ils plongent, au nord, sous des Quarzphyllite, qui ne sont

1. F. FRECH. Die Tribulaungruppe am Brenner in ihrer Bedeutung für den Gebirgsbau ; *Richthofen-Festschrift*, Berlin, 1893.

2. F. FRECH. *Id.*, p. 8, note.

autres que les phyllites du Pinzgau. Indifféremment sur les Schistes lustrés et sur les phyllades paléozoïques, et chevauchant sur leur contact mutuel, s'étend le Mésozoïque : son allure, en grand, est donc transgressive ; dans le détail, il est sensiblement concordant avec les assises, quelles qu'elles soient, de son substratum.

Cette *nappe* de terrains mésozoïques est d'ailleurs *très fortement plissée*, plus fortement que dans la région de Matrei. Les plis sont est-ouest dans le centre des Radstädter Tauern ; à l'est du massif, les plus méridionaux de ces plis prennent la direction sud-est ; au nord, dans la vallée de l'Enns, le pli septentrional se dirige vers l'E.-N.-E. et s'en va se souder aux Alpes calcaires. Le déversement des plis est capricieux, tantôt vers le nord, tantôt vers le sud. Les complications de détail sont souvent très grandes. Le lambeau de micaschistes de la Lungauer Kalkspitze, posé sur les calcaires triasiques à 2400 mètres d'altitude, est un témoin d'une *série renversée*, ou d'une *autre nappe*, analogue aux témoins schisteux de la Rettelwand, des Tarntaler Köpfe et de la Serlesspitze.

Il y a donc, sur le bord nord des Hohe Tauern, de nombreux témoins d'une immense *nappe*, témoins où dominent les assises triasiques. Cette *nappe* est plissée, et ses plis sont parallèles au bord nord des Hohe Tauern. Elle chevauche, à la fois, la *Schieferhülle* et les phyllades paléozoïques sous lesquels cette *Schieferhülle* s'enfonce. *Sur cette nappe, il y avait autre chose* : car on observe fréquemment, tout au sommet des témoins, quelques restes d'assises plus anciennes que le Trias, *débris d'une série renversée ou d'une autre nappe*.

Et comme les phyllades paléozoïques s'enfoncent, au nord, sous les Alpes calcaires, et que le pli mésozoïque de Radstadt se soude, au nord-est, à ces Alpes calcaires, *il est d'ores et déjà certain que les Alpes calcaires elles-mêmes, tout entières, ne sont qu'un témoin, immense celui-là, de la même nappe et des nappes posées sur elle*.

II

STRUCTURE DES HOHE TAUERN

Les observations que je viens d'exposer ne sont pas bien nombreuses. Elles tiennent en quelques pages, et sont le fruit d'une course de quelques jours. Je n'ai pas eu grand mérite à les faire ; et n'importe quel géologue, accoutumé comme moi à la structure des *pays de nappes*, les eût certainement faites à ma

place, et tout aussi bien. Mais ces observations, encore que peu nombreuses et très simples, ont une importance capitale. Parce qu'elles arrivent à leur heure, et qu'elles sont le couronnement d'une longue série de travaux analytiques, elles sont décisives, et, comme je l'ai dit ailleurs, elles changent grandement toutes nos conceptions sur la structure des Hohe Tauern, de la Zentralzone, et de toutes les Alpes orientales.

Voyons d'abord les Hohe Tauern, c'est-à-dire le massif cristallin, long d'environ 160 kilomètres, qui va de Sterzing au Katschberg.

Il résulte des travaux des géologues autrichiens¹ que ce massif cristallin est formé d'une seule et même *Schieferhülle* — celle que j'ai visitée en Zillertal — laissant affleurer, dans cinq déchirures, cinq coupoles granito-gneissiques, qui sont, de l'ouest à l'est :

Le Venediger Kern, partagé vers l'ouest entre un Tuxer Kern et un Zillertaler Kern; le Granatspitzkern; le Sonnblickkern; le Rathauskern; le Hochalmkern.

Les Schistes lustrés, dont j'ai établi l'âge mésozoïque (et peut-être, *pro parte minima*, néozoïque), forment, d'un bout à l'autre des Hohe Tauern, le terme supérieur et le terme le plus constant de la *Schieferhülle*. Ce sont eux qui constituent le sommet du Gross-Glockner; eux encore qui, au nord du Hochalmkern, plongent sous les Quarzphyllite des Radstädter Tauern; eux aussi, qui, entre le Lungau et le Liesertal, plongent à l'est sous les micaschistes et les gneiss de la Bundschuhmasse.

Tout ce que j'ai dit du Venediger Kern peut se dire des quatre autres coupoles de Zentralgneis. Le Zentralgneis, dont la nature pétrographique varie d'ailleurs un peu d'un massif à l'autre, a pour caractère constant sa liaison intime avec le Trias. Je tiens les micaschistes et les amphibolites qui surmontent le Zentralgneis, et aussi le Zentralgneis lui-même, pour une *série cristallophyllienne permo-houillère*, ou pour une *série compréhensive dont la partie haute est permo-houillère*. L'âge permo-houiller est très probable, par analogie avec les Alpes occidentales. Rien, jusqu'ici, dans les Hohe Tauern, ne permet de fixer directement l'âge des micaschistes et du Zentralgneis.

Les Schistes lustrés s'enfoncent au nord, à l'est, et au sud des Hohe Tauern, sous des phyllades paléozoïques ou sous de vieux micaschistes et gneiss. Ils forment donc une longue voûte, aujour-

1. Voir le résumé de ces travaux dans C. DIENER, *Bau und Bild der Ostalpen und des Kartsgebietes* (Sonderabdruck de « Bau und Bild Oesterreichs », Vienne, 1903). En particulier, voir la coupe des Hohe Tauern, par M. LÖWL, *ibid.*, planche III, p. 454.

d'hui largement trouée, qui était autrefois continue, et qui même était enfouie sous une couverture de phyllades paléozoïques, couverture enfouie, à son tour, sous la *nappe mésozoïque* de la Rettelwand et des Radstädter Tauern.

Sous la voûte de Schistes lustrés, il y a, d'autre part, des lames de Trias, alternant avec des micaschistes.

Les Schistes lustrés des Hohe Tauern ne sont donc point *en place*. Ils appartiennent à une *nappe*, dont la base est formée de micaschistes permo-houillers. Sous cette *nappe*, il y en a une autre, dont la partie haute est du Trias (*Hochstegenkalk*) et qui comprend une épaisseur probablement très grande de Zentralgneis. Entre ces deux nappes, il y a, çà et là, des replis de la nappe inférieure qui, localement, la doublent ou la triplent : peut-être même y a-t-il une nappe intermédiaire, très écrasée.

Sur la nappe de Schistes lustrés vient une lame, fort discontinue, de Trias, qui est le seul témoin d'une troisième *nappe*. Au-dessus de cette troisième *nappe*, s'étend une quatrième *nappe*, dont la base est formée de phyllades, et le sommet, de Trias et de Lias : c'est la nappe de la Rettelwand, des Tarntaler Köpfe, de la Serlesspitze et des Radstädter Tauern; c'est aussi, suivant toute vraisemblance, la nappe la plus basse des Alpes calcaires septentrionales. J'ai dit que l'empilement ne s'arrêtait point là, et que, par-dessus la nappe de la Rettelwand, il y avait eu *au moins une autre nappe*, qui serait ainsi la cinquième, en commençant toujours le numérotage à la nappe de Zentralgneis, et en ne comptant pas la nappe intermédiaire, hypothétique, de la *Schieferhülle*.

Mais, dans les Hohe Tauern proprement dites, il n'existe plus de lambeaux de cette cinquième *nappe*, ni même de la quatrième. Les lambeaux de la troisième sont rares (*Weissespitze*). C'est de la deuxième *nappe* (*Schistes lustrés*), et de la première (*Zentralgneis*) que les Hohe Tauern, aujourd'hui, sont faites.

La ligne Sterzing-Brenner limite à l'ouest les Hohe Tauern. Cette ligne est bien, comme le pense M. Diener¹, une sorte d'*accident transversal*, dont le prolongement nord passe, encore très visible, à Matrei, le long du Silltal². L'accident consiste dans un brusque relèvement du système des nappes, par lequel les lames profondes des Tribulaun, qui appartiennent à la première *nappe*, sont remontées au jour, et mises au même niveau que les Schistes lustrés de l'Amthorspitze (deuxième *nappe*). A l'ouest de la ligne

1. C. DIENER, *loc. cit.*, p. 429.

2. F.-E. SUSS, *loc. cit.*, *passim*, et carte géologique.

Sterzing-Brenner, la voûte des Schistes lustrés ne se reforme plus nulle part au-dessus de la voûte des micaschistes permo-houillers. Il semble même, d'après ce que m'a dit M. Becke, et d'après ce que j'ai lu dans les mémoires originaux, que les Schistes lustrés eux-mêmes vont s'écrasant très rapidement vers le sud-ouest, au nord comme au sud de la voûte de micaschistes et gneiss permo-houillers, surtout au sud. Le système des *Kalkphyllite*¹, qui s'enfonce au nord sous les gneiss de l'Ötztalermassiv, comprend peut-être, à son sommet, un étage de Schistes lustrés; mais il est surtout formé de roches à grenat et hornblende, avec lames subordonnées de marbres phylliteux (Hochwildspitze, Hochweisse, etc....); et il a été assimilé par M. Becke² à la Greiner Scholle, c'est-à-dire à la partie profonde de la *Schieferhülle*. C'est donc, sans aucun doute, la voûte de la première nappe qui est à découvert, à l'ouest de la ligne Sterzing-Brenner, jusqu'à une limite que je ne saurais préciser aujourd'hui, mais qui ne peut être très loin de l'Ortlergruppe: et là, cette voûte doit disparaître sous le paquet des nappes supérieures. Quant au bord sud de cette même voûte de la première nappe, il doit être jalonné, au moins sporadiquement, par une bande de Schistes lustrés. Les notes de MM. Teller et Grubenmann³ ne sont point assez explicites pour que je puisse, avec précision, tracer ce bord. Il passe probablement au sud du petit massif gneissique de la Tschigatspitze. Mais qu'est-ce que le massif gneissique de Saint-Léonard? Appartient-il déjà aux *vieux gneiss* situés au sud des Schistes lustrés? Est-ce encore un gneiss permo-houiller? Ce sont là questions de détail, que quelques jours de courses suffiront à résoudre, maintenant que l'on tient, dans ce labyrinthe de terrains cristallophylliens, le fil conducteur.

Quoi qu'il en soit de ce prolongement plus ou moins lointain, au delà de Sterzing, de la voûte de la première nappe, la structure des Hohe Tauern, qui s'arrêtent à Sterzing, est, désormais, parfaitement claire. Les Hohe Tauern sont faites de nappes superposées, ployées en voûte. Les cinq massifs granito-gneissiques apparaissent à travers cinq *fenêtres* de la nappe de Schistes lustrés. La voûte de Schistes lustrés se cache, à l'est de la ligne Lungau-Katschberg, sous une nappe supérieure, faite de micaschistes et de gneiss.

1. F. TELLER. *Verh. d. geolog. Reichsanstalt*; 1877 et 1878.

2. F. BECKE. *Anzeiger der Akad. d. Wissensch. Wien*; 1899, p. 8.

3. U. GRUBENMANN. *Id.*; 1896, II, p. 21; 1897, II-III, p. 11; 1898, III, p. 16.

Où sont les racines de ces nappes? Je réponds sans hésiter: au sud.

La région située au sud des Hohe Tauern a, en effet, les caractères d'une *zone de racines*; tandis que toute la région située au nord, y compris les Alpes calcaires, a les caractères d'un *paquet de nappes*. Au sud, jusqu'à la ligne de failles définie en 1892 par M. Frech, on ne voit que des plis verticaux, ou faiblement déversés, incroyablement serrés et multipliés; au nord, sont les lambeaux *transgressifs* de la Rettelwand, des Tarntaler Köpfe, des Radstädter Tauern, et les Alpes calcaires avec leur structure en plateaux. Le contraste est absolu, et le doute n'est pas permis.

Les Schistes lustrés s'enracinent donc au sud des Hohe Tauern. Sur le versant sud du massif, ils sont à l'état de *plis couchés*; et ce n'est que dans la région de la clef de voûte (Gross-Glockner), et surtout sur le versant nord, qu'ils forment vraiment une nappe¹. Les gneiss et micaschistes permo-houillers, et le Trias de la première nappe, s'enracinent un peu plus au nord, c'est-à-dire que, dans toute la moitié méridionale du massif, ces gneiss et ces micaschistes sont à peu près *sur leurs racines*, à peu près *autochtones* (M. Lugeon). Mais dans la moitié nord, ils sont en nappe, et même ployée bien au-delà de l'horizontale. Si l'on faisait un sondage vertical dans la Greiner Scholle, ou dans le Tuxer Kern, ce sondage, au-dessous du Zentralgneis et du granite, trouverait du Mésozoïque.

Je prie le lecteur de vouloir bien remarquer que cette conception nouvelle des Hohe Tauern ne touche en rien aux résultats des beaux travaux pétrographiques de MM. Becke et Löwl. Je ne suis pas, pour ma part, très convaincu que le Zentralgneis soit un granite intrusif, mais c'est pour des raisons absolument indépendantes de ce qu'on vient de lire. Et le Zentralgneis serait vraiment un granite intrusif, comme le veulent MM. Becke et Löwl, que

1. Un *pli couché* devient une *nappe* lorsque, dans son déversement, il atteint ou dépasse l'horizontale. Ceci ne veut pas dire que toute nappe provienne du coucher d'un pli: mais il est certain que, *tout au moins dans les Alpes, la plupart des nappes ont un pli à leur origine*. Nous avons longtemps, M. Marcel Bertrand, M. H. Sehardt, M. Lugeon et moi, cru le contraire: à savoir que la plupart des nappes étaient des *écailles arrachées*, animées d'un mouvement de translation. Les travaux de MM. Marcel Bertrand et Ritter sur les environs du Mont-Blanc nous ont montré la transformation des plis couchés en nappes; et M. Kilian, après une longue controverse, m'a convaincu que les *écailles briançonnaises*, sauf peut-être la plus haute, sont des plis couchés. Je crois que M. Kilian a eu, à ce même sujet, une grande influence, et tout analogue, sur l'évolution des idées de M. Lugeon.

cela ne changerait rien à ma manière de voir touchant la tectonique des Hohe Tauern.

Ce qui est certain, c'est que le métamorphisme des terrains des Hohe Tauern, quelle qu'en soit la cause, est antérieur à la formation des nappes. On peut discuter, et nous discuterons une autre fois, sur la cause de ce métamorphisme et sur la vraie nature du Zentralgneis. Mais de cela il ne s'agit point pour l'instant : et la tectonique des Hohe Tauern, que je crois désormais élucidée, est indépendante de nos théories sur le *métamorphisme régional*.

III

L'ENSEMBLE DES ALPES ORIENTALES

Si les Hohe Tauern sont ce que j'ai dit — et c'est pour moi, aujourd'hui, l'évidence même —, tout change, dans les Alpes orientales; la *Zentralzone*, qui n'était qu'un chaos, devient claire : c'est comme si, sur la chaîne entière, le brouillard se dissipait tout-à-coup.

Au sud des Hohe Tauern s'étend le pays de plis, verticaux ou faiblement déversés, où les nappes ont leur origine. C'est là que les nappes *s'enracinent*; sauf, bien entendu, la première, qui a ses racines dans les Tauern mêmes.

Au nord des Hohe Tauern, et jusqu'au bord septentrional des Alpes calcaires, *rien n'est en place : il n'y a que des nappes*.

A l'est des Hohe Tauern, les nappes des Hohe Tauern s'enfoncent comme dans un tunnel, formé par la nappe immédiatement supérieure. Les Niedere Tauern ne montrent donc qu'une carapace de nappe, d'ailleurs ployée et plissée; et il en est de même des Alpes de Styrie. Les nappes calcaires s'en vont jusqu'aux portes de Vienne. Ces nappes calcaires voisines de Vienne ont leurs racines en Carinthie, et la *fenêtre*, le hiatus, qui les sépare de leurs racines, atteint une largeur de 100 kilomètres.

A l'ouest des Hohe Tauern, enfin, l'axe du pli qui a donné naissance à la nappe profonde de Zentralgneis (première nappe), cet axe, dis-je, se prolonge au sud-ouest, probablement par la Tschigatspitze, vers l'Ortler. Au nord de cet axe, il n'y a que des nappes; au sud, il n'y a que des plis autochtones.

Je ne crois pas que l'on puisse échapper à une seule de ces conséquences, si l'on admet comme démontrées les quatre propositions que j'ai cherché, plus haut (Chapitre I), à établir.

Considérons maintenant de plus près cette structure, et tâchons d'en préciser les détails.

ZONE DES RACINES AU SUD DES HOHE TAUERN. — Quelle est, au sud, la limite de la zone des racines? Ou, ce qui est la même question, quels sont les plis extrêmes, au midi, qui, par leur coucher vers le nord, ont donné les nappes les plus hautes?

M. Frech, en 1892, et M. Haug, en 1896, ont répondu, par avance, à cette question, sans savoir cependant toute la portée de leurs remarques, et sans se douter que la zone qu'ils définissaient ainsi avec précision fût une zone d'origine de nappes.

M. Frech¹, s'appuyant sur les observations de M. Teller dans la région de Bruneck et sur ses propres observations dans le massif entre Drave et Gail, a établi fortement l'existence d'une longue ligne tectonique, courant le long du Gailtal, puis le long du Pustertal, puis formant le bord nord du massif tonalitique de l'Iffinger, et rejoignant enfin, près de Meran, la *faille giudicarienne*. Cette ligne tectonique sépare les Alpes septentrionales des Alpes méridionales; elle coïncide avec le changement brusque des faciès du Permien et du Mésozoïque. Elle correspond, pour M. Frech, à un ancien pli, qui, par endroits, s'est exagéré jusqu'à une véritable fracture. La longueur de ce grand accident, du lac d'Idro aux environs de Villach, est de 330 kilomètres.

M. Haug², cherchant à définir les lignes directrices de la chaîne des Alpes, a publié en 1896 une carte d'ensemble où l'on voit la *zone du Gailtal* — c'est-à-dire la région de plis du Mésozoïque comprise entre Drave et Gail — prolongée, vers l'ouest, par les plis d'Inner-Villgratten et de Bruneck, puis par le Penser Joch, jusqu'au voisinage de Meran. A Meran, la zone quitte la ligne giudicarienne; puis elle se bifurque, de part et d'autre du massif de l'Ortler, considéré comme un « massif central ». La branche du nord va rejoindre le Rhätikon; la branche du sud passe entre l'Ortler et l'Adamello, et s'en va, jalonnée par une série de lambeaux calcaires (*cipolins* des anciennes cartes géologiques), se souder à la zone des roches basiques d'Ivrée. Il n'y a rien à changer, aujourd'hui, au tracé de la branche sud. C'est bien une

1. F. FRECH. Die Tribulaungruppe am Brenner in ihrer Bedeutung für den Gebirgsbau; *Richthofen-Festschr.*, Berlin, 1893. — C'est le grand mérite de M. Frech de ne jamais publier aucune observation personnelle sans se hausser jusqu'à la vision des conséquences générales que cette observation entraîne.

2. ÉM. HAUG. Contribution à l'étude des lignes directrices de la chaîne des Alpes; *Annales de géographie*, V, 1896, p. 167-178, et pl. V.

zone continue de plis, et c'est la plus méridionale qui contienne encore du Mésozoïque à faciès nordalpin. Quant à la branche nord, celle qui rattache le Rhätikon au Gailtal, elle existe réellement, mais non pas avec la signification que lui attribuait M. Haug. Le Rhätikon se rattache à la zone du Gailtal, parce que le Rhätikon est une nappe, et que la racine de cette nappe est dans la zone du Gailtal.

Je reviendrai plus loin sur cette question du Rhätikon, qui est celle des Alpes calcaires du nord tout entières. Pour le moment, je rappelle seulement que les racines les plus méridionales de mon système de nappes doivent être cherchées dans la zone Ivree-Gailtal, esquissée, de Meran à Villach, par M. Frech, séparée ensuite, avec beaucoup de raison, de la faille giudicarienne, et prolongée jusqu'à Ivree, par M. Haug.

Cette zone du Gailtal, c'est la *nördliche Zone des Drauzuges*, de la carte de M. Diener¹. Elle se prolonge, au-delà de Villach, par les Karawanken du nord, où le Mésozoïque a encore le faciès nordalpin; puis elle se serre entre le Bacher, au nord, et le Weitensteiner-Gebirge, prolongement de la chaîne carnique, au sud. Les derniers affleurements visibles de Mésozoïque nordalpin, dans cette zone, sont ceux d'Ober-Dollitsch, qui flanquent au sud-ouest le massif du Bacher. Plus loin vers l'est, la zone est cachée sous les plaines².

J'ai traversé moi-même la zone des racines entre Sterzing et Mauls, en suivant la profonde coupure de l'Eisack, sous la conduite de M. Becke. On ne rencontre, au-delà des Schistes lustrés de Sterzing et jusqu'au Trias de Mauls, que de *vieux terrains cristallophylliens*: micaschistes et amphibolites, avec veines d'aplite et de pegmatite. A Mauls (Welfenstein), se trouve un pli de Trias pincé dans les micaschistes, qui se poursuit, sur l'autre rive de l'Eisack, vers la Weissewand et le Zinseler. Du côté de l'est, le pli se serre, en forme de coin, à moins de deux kilomètres de la rivière. Le faciès du Trias est celui de la Vanoise: quartzites blancs et schistes micacés verdâtres, à la base; marbres phylliteux et schistes sériciteux, dans la partie moyenne; calcaires francs, grisâtres, épais de 100 ou 150 mètres, à *Dactylopores*, au sommet. Du côté nord, le calcaire touche les micaschistes; au

1. DIENER. Uebersichts Karte der Structurlinien der Ostalpen, taf. VI de *Bau und Bild Oesterreichs*; Vienne, 1903.

2. Voir, pour les montagnes du Gailtal et pour les Karawanken, les travaux de MM. Geyer et Teller. Il y a un résumé de ces travaux dans ED. SUSS, *La face de la Terre*, t. III, p. 452-453, Paris, 1902. Voir aussi C. DIENER, *loc. cit.*, chap. IV, Der Drauzug, *passim*.

sud, les quartzites reposent sur un Verrucano, rappelant le Permien semi-métamorphique de Modane et du col de Chavière. Ce Verrucano repose lui-même, en concordance, sur les micaschistes. Tous les bancs sont ondulés. La plongée générale est vers le nord, très forte presque toujours. Dans la carrière de marbre, elle n'est cependant que de 30°, vers le nord-est.

A quelques centaines de mètres au sud de ce synclinal, dès que l'on a dépassé le ravin de Mauls, on traverse une zone de roches broyées, épaisse de 150 ou 200 mètres. C'est le passage du grand accident qui borde au nord le massif tonalitique de l'Iffinger. Au-delà de cet accident vient la tonalite, d'abord écrasée et laminée, puis bientôt intacte (carrières de Grasstein). Cette tonalite de l'Iffinger est inséparable de la *südlliche Kalkzone* (C. Diener), c'est-à-dire des Dinarides (E. Suess). La zone de roches broyées de Mauls correspond au *Gailbruch* de M. Frech. C'est la limite sud des Alpes.

La largeur de la zone des racines, le long de la ligne Brenner-Eisack, ne dépasse pas 15 kilomètres. Au nord des Alpes du Gailtal, entre le *Gailbruch* de M. Frech et l'axe des Hohe Tauern, la largeur de cette même zone peut atteindre 40 kilomètres. Par le travers du Penser Joch, elle tombe peut-être à 10 kilomètres. A l'est du confluent de la Gail et de la Drave, comme à l'ouest du Penser Joch, je n'ai pas de renseignements qui me permettent d'évaluer avec précision cette largeur: mais je crois volontiers qu'elle est partout comprise entre les extrêmes que l'on vient de lire, c'est-à-dire entre 10 et 40 kilomètres.

Telle est, quant à son emplacement et quant à sa largeur, la zone des plis, extraordinairement multipliés et serrés, qui sont les racines des nappes des Alpes orientales. A cette bande de plis appartiennent les phyllades de la vallée de l'Adige (*Quarzphyllite du Vintschgau*); les micaschistes et gneiss des Sarntaler Alpen, des montagnes de Pfunders, des Deferegger, du Schobergruppe, du Kreuzeckgruppe; le massif granitique d'Antholz, le massif tonalitique des Rieserferner; les micaschistes des montagnes au nord de Klagenfurt, ceux du Bacher et du Bosruck; le massif tonalitique du Bacher; les Alpes calcaires du Gailtal et des Nord-Karawanken; enfin tout le versant sud des Hohe Tauern.

Au nord de cette bande de plis, large de 10 à 40 kilomètres, il n'y a plus, jusqu'au bord septentrional de la chaîne, que des nappes, provenant du coucher et de l'empilement de ces mêmes plis.

LES NAPPES DE LA ZENTRALZONE. — Je ne dirai rien des nappes des Hohe Tauern (première, deuxième et troisième nappe), ni de

leur prolongement occidental vers l'Ortler ; car je n'ai rien à ajouter à l'étude que j'en ai faite dans le chapitre II. Je ferai seulement remarquer que les *Kalktonphyllite* de la Basse-Engadine, qui, de tout côté, s'enfoncent sous les gneiss et micaschistes de l'Ötztalermassiv et de la Silvretta, et qui ne sont autres que nos Schistes lustrés, appartiennent évidemment à la deuxième nappe, Ils apparaissent dans une longue *fenêtre* de la quatrième nappe, et portent quelques lambeaux de Trias, témoins de la troisième nappe¹.

J'ai appelé *quatrième nappe* la nappe dont la base est formée, soit de phyllades houillers (Brenner), soit de phyllades plus anciens (phyllites du Pinzgau ou de Stubai), et dont la partie haute est faite du Mésozoïque de la Rettelwand, des Radstädter Tauern, des Tarntaler Köpfe, de la Serlesspitze. Comme cette partie haute s'en va se souder, près de Radstadt, aux Alpes calcaires du nord, et comme, d'autre part, la *fenêtre* de la Basse-Engadine nous montre l'extension des Schistes lustrés, par dessous ladite quatrième nappe, jusqu'à quelques kilomètres de ces mêmes Alpes calcaires, il est certain que cette quatrième nappe comprend toute la *Schieferzone* du Pinzgau, tous les vieux terrains de Dienten et de Kitzbühl, et tout le massif de l'Ötztal, et tout le massif de la Silvretta.

Je crois que, si l'on pouvait descendre dans l'intérieur de cette quatrième nappe, on la verrait se compliquer de plus en plus, au fur et à mesure que, tout en descendant, on avancerait vers le nord. On y rencontrerait, de plus en plus nombreuses, et de plus en plus épaisses, des lames de Trias, montant au jour, vers le sud, à la façon d'*anticlinaux*. Ce que j'appelle quatrième nappe n'apparaît plus que comme un paquet de plis². Mais pour nous, et dans l'état actuel de l'érosion alpine, c'est vraiment une nappe, parce que c'est un même complexe de phyllades, de micaschistes; ou de gneiss, reposant sur une lame parfaitement définie, et toujours la même, de Trias, ou encore sur un étage parfaitement défini, et toujours le même, de Schistes lustrés, et, d'autre part, couronné par un étage, non moins bien défini, et toujours le même, de Trias. L'épaisseur de ce complexe est très variable, de zéro (Gschösswand,

1. G. STRINMANN. Das Alter der Bündner Schiefer. *Ber. d. Naturf.-Ges. in Freiburg i. B.*; Bd. X, Heft 2, p. 263-268.

2. C'est ce que j'ai figuré, *schématiquement*, dans les coupes I, II et III, de la planche XXII. Ce que je viens de dire de la quatrième nappe peut se dire de toutes les nappes issues d'un système de plis couchés. Celles qui, sur de vastes espaces, gardent une *entité* véritable, sont données, soit par un pli anticlinal compris entre deux synclinaux très profonds, soit par un pli synclinal encadré de deux anticlinaux montant très haut.

Rettelwand) à plusieurs milliers de mètres (Ötztal) : mais il a partout même mur et même toit.

A la Rettelwand, l'épaisseur de la quatrième nappe ne dépasse pas 100 mètres ; aux Tarntaler Köpfe, elle n'est guère plus puissante. Il est probable qu'au-dessus des Hohe Tauern, au temps où elle formait voûte sur les Schistes lustrés, la nappe était, de même, réduite à une très faible épaisseur. Dans toutes les nappes, *l'allure lenticulaire* est la règle.

Une chose curieuse, c'est l'intensité *du plissement postérieur à la mise en place des nappes*. Déjà très accentué dans la région du Brenner, ce plissement l'est encore beaucoup plus dans les Radstädter Tauern, où il va jusqu'à effacer complètement l'aspect d'un *pays de nappes*. Les plis des nappes sont d'ailleurs parallèles à l'axe des Hohe Tauern, c'est-à-dire parallèles aux plis qui sont les racines de ces mêmes nappes. C'est la continuation de la même striction, qui d'abord produit des plis, puis les transforme en nappes, et enfin ploie ces nappes à leur tour.

Tout le pays de micaschistes, gneiss, et phyllades paléozoïques, qui s'étend à l'est des Hohe Tauern, jusqu'aux plaines, me paraît être formé par la voûte, ou, comme dit M. Lugeon, par la *carapace*, de la quatrième nappe. Sur cette carapace, il y a des lambeaux houillers, dont un très étendu (Stang-Alpe), et quelques lambeaux de terrains mésozoïques (Trias, Crétacé et Eocène de Guttaring, Crétacé de la Kainach) : et l'on sait qu'il y a, à Gratz, toute une région où affleure le Dévonien, et que du Dévonien très analogue se rencontre à Murau, au cœur du pays cristallin. L'indécision des plis, dans toute cette région orientale de la Zentralzone, a été remarquée par tous les observateurs, et a été, pour tous un sujet de surprise¹. On est au cœur des Alpes : et l'on voit de vastes étendues à peine plissées, ou plissées capricieusement et chaotiquement. Tout s'explique aujourd'hui : et cette allure, tantôt tranquille, tantôt chaotique, toujours indécise, est celle qui, à priori, convient à la *carapace* d'une nappe.

Il est très possible — je ne suis pas en état de résoudre cette question, et je me contente de la poser — que, dans la région styrienne de la Zentralzone, au nord de Gratz, la voûte de la quatrième nappe soit, en quelques points, crevée, et montre, par ces ouvertures, les carapaces des nappes profondes. Les terrains

1. C. DIENER. *Loc. cit.*, p. 455 et suiv. — Une remarque intéressante, faite par M. Diener, c'est l'existence, dans cette région orientale de la Zentralzone, de *plis dinariques*, dirigés vers le nord-ouest. Je reviendrai plus loin sur ce fait, qui me semble très important.

cristallophylliens de la Styrie semblent être encore bien mal connus, et il faut attendre que des observations plus précises nous apprennent s'il y a, ou non, dans ces terrains, des Schistes lustrés, et séparent d'une façon nette le Permien métamorphique ou semi-métamorphique (*Blasseneckgneiss* de M. Vacek) des gneiss antérieurs au Houiller.

J'ai dit ailleurs¹, en quelques mots, l'impression que j'ai rapportée de l'excursion au Semmering du Congrès géologique international de 1903. Ce que l'on voit, au Semmering, c'est une série de *lames*, plongeant au nord sous les Alpes calcaires, et comprenant : du Houiller supérieur, avec flore de Schatzlar (M. Toula); du Permien plus ou moins métamorphique, avec schistes verts pyroxéniques, et quelques intercalations d'une roche feldspathique à riébeckite (*Forellenstein*); des quartzites et des calcaires triasiques. Tous ces terrains ont, à un très haut degré, le *faciès Vanoise*, c'est-à-dire le faciès de la région qui avoisine immédiatement la zone des Schistes lustrés. *Il n'y a ni discordances, ni failles* : mais les étirements sont très intenses, et les terrains viennent, dans un ordre quelconque, en contact les uns avec les autres. Ce sont bien là les caractères d'un pays de nappes. Il est probable qu'une partie des assises cristallines du Wechselmassiv et de la Mürztalermasse doit être attribuée au Permien.

Je suis, d'après cela, porté à croire que les terrains du Semmering appartiennent à la quatrième nappe, ou peut-être à la troisième nappe; plutôt qu'aux nappes profondes des Hohe Tauern. Il en est de même, suivant toute vraisemblance, des terrains paléozoïques divers de la ligne Bruck-Léoben-Rottenmann, et aussi des terrains paléozoïques d'Eisenerz. Mais, encore une fois, les travaux analytiques, sur cette région styrienne, sont trop peu avancés, pour que je puisse être plus affirmatif et plus précis.

A l'autre extrémité de la Zentralzone, c'est-à-dire dans le bassin de l'Adige, les nappes de terrains cristallins s'en vont passer sous les terrains triasiques de l'Ortler. Je me suis longtemps demandé à quelle nappe ce Trias de l'Ortler pouvait bien appartenir, et j'ai hésité entre la deuxième nappe (nappe des Schistes lustrés) et la nappe du Rhätikon, dont je ne sais pas exactement le numéro, mais qui est, sinon la plus haute de toutes les nappes, du moins l'une des plus hautes. Aujourd'hui, et après examen de tous les renseignements — malheureusement très incomplets — que nous avons sur la région de l'Ortler, je suis convaincu que le Trias en

1. *Loc. cit.* : CR. Ac. Sc., t. CXXXVII, p. 807, 16 nov. 1903.

question est posé, non pas sur des gneiss permo-houillers¹, mais sur de *vieux gneiss*, et donc qu'il appartient à la quatrième nappe ou à une nappe supérieure. Je ne saurais pour l'instant préciser davantage.

LES NAPPES DES ALPES CALCAIRES DU NORD. — Toutes les Alpes calcaires du nord, du Rhätikon à Vienne, sont formées d'une nappe, ou peut-être de plusieurs nappes empilées les unes sur les autres, S'il n'y a qu'une nappe, c'est la quatrième nappe de la Zentralzone; s'il y a plusieurs nappes, la quatrième nappe de la Zentralzone est la plus basse. La nappe la plus haute vient de la *zone du Gailtal*, qui est prolongée : à l'est, par les Nord-Karawanken, puis, au nord-est, par une racine, aujourd'hui cachée sous les plaines, et qui marche vers le Mittelgebirge hongrois; à l'ouest, par la zone de plis Sillian-Bruneck-Penser Joch, dont M. Haug a montré la continuation au sud de l'Ortler, dans la direction d'Ivrée.

Je dis que les Alpes calcaires du nord sont formées d'une nappe ou de plusieurs nappes, pour les raisons suivantes :

1° Elles reposent sur les phyllites du Pinzgau, ou sur les grauwackes de Dienten, ou sur les gneiss de l'Etztal, ou sur les phyllades paléozoïques d'Eisenerz et du Semmering, en un mot sur les terrains de la *Schieferzone* : or, ces terrains de la *Schieferzone* appartiennent indubitablement à une nappe.

2° Cette première raison ne suffirait pas, car on pourrait prétendre que la nappe de la *Schieferzone* s'enracine au nord, sous les Alpes calcaires; et alors celles-ci seraient *en place*. Mais nous avons vu que la *Schieferzone* s'enracine au sud : interrompue par la déchirure des Hohe Tauern, elle forme *carapace* à l'est de ce massif, et se rattache par cette carapace à une bande de plis verticaux, ou très redressés. Or la nappe de la *Schieferzone* (quatrième nappe) a pour sommet une lame mésozoïque qui, près de Radstadt, se soude aux Alpes calcaires du nord. Les Alpes calcaires sont donc liées à la *Schieferzone* : si celle-ci s'enracine au sud, celles-là s'enracinent au nord, et plus loin vers le sud.

3° Les Alpes calcaires du nord ont une structure en plateaux, qui éloigne, a priori, l'idée d'un pays de racines. Or, au point où nous en sommes arrivés, nous sommes *certain* que toute la Zen-

1. *Loc. cit.* : CR. Ac. Sc., t. CXXXVIII, p. 939; 30 novembre 1903. Dans cette note préliminaire sur la synthèse des Alpes orientales, il y a une autre assimilation hâtive, que je corrige en passant. Les *ecailles* des Tribulaun, que j'assimilais à celles des Radstätter Tauern, sont beaucoup plus profondes, et appartiennent à la *Schieferhülle* (voir plus haut, chap. 1, paragraphe C).

tralzone a été couverte de nappes, et il faut que nous choisissions, pour l'origine des nappes les plus hautes, entre le nord (Alpes calcaires du nord), et le sud (zone du Gailtal). Je l'ai dit, et je le répète, le doute n'est pas permis : les racines sont au sud.

Tels sont mes arguments. Ils me paraîtraient irréfutables, et par conséquent très suffisants, même si je ne savais rien de plus sur les Alpes calcaires du nord. Mais je sais autre chose. Je sais que, en 1884, M. Marcel Bertrand¹ a proposé de faire du Rhätikon un lambeau de recouvrement, en se fondant sur les chevauchements signalés par M. de Mojsisovics. Je sais que, en 1900, M. Rothpletz² a montré que le Rhätikon est formé d'une nappe, reposant sur la nappe glaronnaise, et a évalué à 70 kilomètres le déplacement, de l'est à l'ouest, de cette nappe du Rhätikon. Je sais que, en 1902, M. Lugeon³ n'a pas hésité à considérer, lui aussi, le Rhätikon comme une nappe, et qu'il a rattaché cette nappe à une zone de racines située à 70 ou 90 kilomètres au sud ; et j'ai devant les yeux les phrases du mémoire où M. Lugeon fait allusion, timidement encore, mais très clairement, au charriage de toutes les Alpes orientales. Je sais enfin ce que MM. Haug et Lugeon ont observé, l'été dernier, dans le Salzkammergut, et je connais la substance du mémoire, encore inédit, qu'ils préparent sur les nappes de cette région.

Il n'y a donc plus de doute. Les Alpes calcaires du nord ne sont point en place. Elles sont un immense témoin, long de 450 kilomètres, d'un système de nappes dont la plus haute vient de la zone du Gailtal, et dont la plus basse vient d'une bande située entre la zone du Gailtal et le bord sud des Hohe Tauern. Le cheminement de ces nappes, à partir de leur origine, a atteint et peut-être dépassé 120 kilomètres⁴.

1. MARCEL BERTRAND. Rapports de structure des Alpes de Glaris et du bassin houiller du Nord. *B. S. G. F.*, (3), XII, p. 318-330.

2. A. ROTHPLETZ. Geologische Alpenforschungen. I. Das Grenzgebiet zwischen den Ost- u. Westalpen u. die rhätische Ueberschiebung. Munich; chez Lindauer; 1900.

3. M. LUGEON. Les grandes nappes de recouvrement des Alpes du Chablais et de la Suisse. *B. S. G. F.*, (4), I, p. 723-822.

4. « Le jour », a dit M. Lugeon, « où l'hypothèse de la poussée vers le nord d'une immense région des Alpes orientales sera un fait acquis dans la géologie, mon savant ami, M. Haug, aura sa part légitime dans l'énoncé de cette hypothèse hardie ». Il convenait de rappeler, à la suite de la première démonstration péremptoire de l'exactitude de cette hypothèse, la phrase qu'on vient de lire : elle est à l'éloge de celui qui l'a écrite et elle ne fait que rendre justice à celui qui y est nommé. M. Haug tient à ce que l'on sache aussi que M. E. Suess a eu, en même temps que nous, et peut-

IV

LA SYNTHÈSE DES ALPES

Il est manifeste, maintenant, qu'il y a, d'un bout à l'autre de la chaîne alpine, unité de structure. *Ce qui faisait jusqu'ici le chaos de la géologie des Alpes, c'est la confusion des régions de nappes et des régions de plis.* On cherchait dans les nappes la continuation des zones de plis ; et, naturellement, on ne la trouvait point, car c'est sous les nappes que se fait cette continuation. On voyait de grandes différences entre les Alpes orientales et les Alpes d'occident, et l'on discutait sur la limite et sur les rapports de ces deux parties des Alpes : au lieu qu'il n'y a pas de différences, si ce n'est dans l'état de conservation des nappes, et que les limites apparentes sont celles où un faisceau de plis, ou bien une voûte de nappe, s'enfoncent, comme en un tunnel, sous la voûte d'une nappe supérieure. Voici que déjà les régions de plis et les régions de nappes se distinguent et se précisent. Bien plus : nous pouvons, en les prenant à leur naissance, ou en les regardant passer tout au fond des déchirures du manteau qui les recouvre, compter et numéroter les nappes. Encore quelques années, et ce numérotage pourra s'étendre d'une extrémité à l'autre de la chaîne. Le brouillard est entièrement levé : et c'est presque le grand jour, ce jour dont parlait M. Lugeon, et dont il a, plus que tout autre, hâté la venue et désiré l'aube, le jour de la synthèse.

Je joins à ces pages deux planches en couleur qui en faciliteront grandement la lecture. L'une, pl. XXIII, est un essai de carte structurale, montrant l'extension du domaine caractéristique des Alpes, le domaine des Schistes lustrés. L'autre, pl. XXII, est une série de cinq profils au travers de la chaîne, tous à la même échelle (1/500.000) et avec les mêmes couleurs conventionnelles. Le dernier profil, celui qui passe à travers le massif du Pelvoux, est une

être avant nous, cette même idée. Pour ma part, je l'ignorais. Mais qui donc sera étonné, parmi les admirateurs de M. Suess — et je suis du nombre —, d'apprendre qu'il a prédit, une fois de plus, ce que l'on observerait tôt ou tard ? Un autre savant qui a énoncé, lui aussi, cette hypothèse ou une hypothèse analogue et qui s'est approché de la réalité presque jusqu'à la toucher : c'est M. Rothpletz. Peut-être M. Lugeon, dans son beau mémoire de 1902, n'a-t-il pas dit d'une façon suffisamment explicite tout ce que nous devons de hardiesse au savant professeur de Munich, et combien il nous a habitués par avance aux grandioses phénomènes que nous constatons aujourd'hui.

exacte réduction de l'une des quatre coupes que j'ai données, il y a un an, ici même¹.

Profils et carte doivent être considérés comme schématiques. Il ne s'agit point des détails; il s'agit de l'ensemble. Dans deux ou trois années, une semblable carte pourra être dessinée avec exactitude; mais il nous manque encore bien des renseignements. Quant aux quatre profils nouveaux, ils seront sans doute modifiés sur beaucoup de points; et d'ailleurs, ils garderont toujours une forte part d'hypothèse, comme tout profil géologique qui veut descendre un peu profondément dans le sol: mais je suis convaincu que *l'allure générale ne changera pas*.

Il va sans dire que les profils et la carte sont plus hypothétiques dans la région orientale que dans la région occidentale. Les Alpes orientales sont les moins bien connues, et aussi — parce que les nappes y sont mieux conservées — les plus difficiles à connaître.

A l'exemple de M. E. Suess², je distingue soigneusement les Alpes des *Dinarides*. Le pays dinarique diffère grandement du pays alpin, et par les faciès du Permien et du Mésozoïque, et par la structure. Tandis que les Alpes, au voisinage de la ligne séparatrice, sont plissées en plis serrés et multipliés, les Dinarides, tout à côté de la même frontière, mais sur l'autre bord, nous apparaissent comme une *région faillée*, où les plis sont rares et désordonnés. C'est seulement au voisinage des plaines (Vénétie, Trentin et Lombardie) que les plis redeviennent nombreux; et ils sont alors couchés vers ces plaines. Tout cela est bien connu, et je n'y insiste pas.

M. E. Suess a tracé avec précision, de Meran au défilé d'Ober-Dollitsch, la ligne frontière des Dinarides et des Alpes. Son tracé, d'ailleurs, ne diffère point de la ligne Gail-Judicarien de M. Frech. Mais à l'ouest de Meran, on peut être certain que ce n'est pas la *faille giudicarienne* qui sépare les Alpes des Dinarides. La véritable frontière passe au nord de l'Adamello, et coïncide probablement avec la *Tonale Linie* de M. Salomon³. Elle marche parallèlement à la zone des racines dont M. Haug a prévu le parcours, et à une très faible distance au sud de cette zone. Dans la Valteline, et dans la région des lacs, nous ne savons pas très au juste où se tient cette même frontière. Il faudra de nouvelles courses pour

1. P. TERMIER. Quatre coupes à travers les Alpes franco-italiennes. *B. S. G. F.*, (4), II, planche XIII.

2. E. SUSS. La face de la Terre, III, 1^{re} partie, chap. VIII, p. 418-472.

3. W. SALOMON. *Sitzungsber. d. Akad. d. Wissensch.*, Berlin, 1896, p. 1093; et 1901, p. 174.

préciser ce qui, près des lacs, est *dinarique*, et ce qui est *alpin*, et pour marquer le point où la frontière vient se cacher sous les plaines.

Quoi qu'il en soit de cette rectification du tracé au nord de la Lombardie, une frontière existe: cela n'est pas douteux. Près d'Ivrée, cette frontière se dissimule sous les terrains récents des plaines. Elle doit tourner ensuite, et très rapidement, au sud; car il est sûr que, dans leur ensemble, les Apennins appartiennent au pays dinarique. Mais, au sud du Piémont, en Ligurie ou en Toscane, où passe ladite frontière? Nous ne le savons pas; et ici l'incertitude est bien plus grande que dans la région des lacs. Sur ma carte, la limite commune que j'ai donnée, près de Gênes, aux Dinarides et au domaine alpin des Schistes lustrés, est entièrement hypothétique.

Dans la contrée où elle est bien connue, c'est-à-dire au nord du Trentin et de la Vénétie, qu'est-ce que c'est que la frontière en question? Est-ce une faille? Est-ce un dernier pli, au sud duquel s'étend une région non plissée, ou irrégulièrement plissée, une *région hésitante*, un *sommet d'éventail*? J'avoue ne pas avoir encore, à cet égard, des idées parfaitement claires: et je crois que, là aussi, il faut de nouvelles courses. Dans la vallée de la Gail, la frontière, d'après les travaux de MM. Frech et Geyer, serait une faille, ou un système de failles très rapprochées et parallèles: mais M. Frech croit que cette faille n'est que l'exagération d'un pli poussé vers le nord. Dans la vallée de l'Eisack, à Mauls, la frontière, que M. Becke m'a montrée, est une faille très importante, avec *zone épaisse de roches broyées*: et il semble en être de même tout le long du bord nord de la tonalite de l'Iffinger. Plus loin vers l'ouest, nous ne savons rien de bien net; mais près du Tonale, d'après M. Salomon, c'est encore à une faille que l'on aurait affaire.

La frontière des Alpes et des Dinarides, si elle ne coïncide pas partout avec une faille, est du moins accompagnée, le plus souvent, d'une faille ou d'un système de failles. La *faille giudicarienne*, qui est une faille d'affaissement, n'est qu'un rameau détaché, près de Meran, de la faille-frontière.

Dans une note récente¹, j'ai assimilé cette frontière alpino-dinarique à *l'axe d'un éventail*. Au nord de cet axe, tous les plis, très serrés et très aigus, sont couchés vers le nord et sont l'origine de nappes à long cheminement; au sud de cet axe, il y a d'abord une vaste région *hésitante* et faillée, puis une région plissée dans laquelle le

1. *Loc. cit.*: *CR. Ac. Sc.*, t. CXXXVII, p. 939, 30 novembre 1903.

déversement des plis est vers le sud. C'est, sur une échelle incomparablement plus grande, quelque chose d'analogue à l'éventail briançonnais que M. Marcel Bertrand a défini autrefois, et dont nous avons, MM. Haug, Kilian et moi, fréquemment et longuement parlé.

Au lieu de dire « axe d'un éventail », je crois aujourd'hui qu'il serait préférable de dire « bord nord de la région culminante d'un éventail ». Car il n'y a pas d'axe, à proprement parler ; et la région hésitante et faillée qui forme le sommet de l'éventail a une grande largeur, d'ailleurs variable : mais le bord nord de cette région hésitante, c'est-à-dire le lieu des points où toute hésitation cesse dans l'allure des plis, paraît être, au contraire, très bien défini ; et c'est là qu'est la frontière.

En parlant d'éventail, je me contente d'ailleurs d'énoncer un fait, sans entrer encore dans aucune hypothèse. Tout le monde sait que les plis des Dinarides sont couchés vers l'Adriatique ; ils forment donc, avec ceux des Alpes, une sorte d'éventail très dissymétrique. Je dirai plus loin à quelle hypothèse je suis conduit, par le désir d'expliquer cette dissymétrie et de rendre compte, en même temps, de la présence fréquente de grandes failles sur la frontière des Dinarides et des Alpes.

Le trait caractéristique des Alpes, c'est la zone des Schistes lustrés.

On se rappelle que c'est une des zones de Charles Lory, et que ce grand savant a, non seulement distingué et défini les Schistes lustrés, mais encore prédit leur âge mésozoïque. La plupart des autres zones que l'on s'est plu à conduire le long des Alpes sont, par quelque côté, arbitraires : beaucoup ont disparu déjà de la nomenclature ; d'autres n'auront jamais qu'une valeur régionale. Sur la définition de la zone des Schistes lustrés, l'accord est fait d'avance.

La zone des Schistes lustrés, c'est la zone des séries complètes, je veux dire de ces séries énormes qui embrassent, sous un faciès constant, les dépôts d'une longue suite d'âges géologiques. C'est la zone des gneiss permo-houillers, et du Trias cristallin. C'est la zone de ce que j'ai appelé, à Vienne, la série cristallophyllienne alpine. On peut l'appeler encore, si l'on veut, la zone des pierres vertes, puisque les Schistes lustrés ne vont jamais longtemps sans roches vertes.

Et c'est vraiment la zone axiale des Alpes, celle qui, depuis le Carbonifère supérieur (Houiller) jusqu'à la fin de l'Éocène, correspondait à la région médiane du géosynclinal alpin. Une chose

étrange, c'est l'interruption de la condition géosynclinale pendant les temps du Trias inférieur et du Trias moyen, et, simultanément, pendant cette interruption, l'établissement d'autres conditions, partout identiques, d'un bout à l'autre de la région alpine. Mais après le dépôt du Trias à *Diplopores*, la condition géosynclinale a été restituée, et très sensiblement dans le même domaine qu'auparavant.

Dans cette zone axiale des Alpes, le métamorphisme régional a transformé, plus ou moins, mais presque toujours beaucoup, toutes les assises. Il est probable que ce phénomène métamorphique est postérieur à l'Éocène. En tout cas, il était achevé avant l'ère des grands plissements et des grands charriages¹.

Cette zone axiale des Alpes se poursuit sans discontinuité de Gènes au Rhin. Au sud de Gènes, elle s'en va, suivant toute vraisemblance, former la bande schisteuse orientale de la Corse, comme M. Haug² l'a indiqué dès 1896. À l'est du Rhin, elle se cache sous les nappes de Trias et de vieux gneiss. On en retrouve les terrains, sous forme de nappe, dans la fenêtre de vieux gneiss de la Basse-Engadine. La même zone reparait encore, en place et aussi à l'état de nappes, au sud de l'Ötztalermassiv, et dans toute la chaîne des Hohe Tauern. Et ce n'est qu'à l'est des Hohe Tauern qu'on en perd la trace, probablement d'une façon définitive : non que la zone s'arrête, mais parce qu'elle est désormais cachée sous la nappe de vieux gneiss et de phyllades paléozoïques.

Des nappes issues de cette zone axiale, il nous reste un lambeau en France, près de Briançon. C'est ce que j'ai appelé ailleurs la quatrième écaïlle briançonnaise. Peut-être la nappe BG de M. Douvillé³, aux environs d'Interlaken, a-t-elle la même origine ; peut-être aussi la nappe du Falknis et celle des brèches du Chablais et de la Hornfluh (MM. Lugeon et Haug). Sur cette question du numérotage et de l'origine des nappes suisses, il faut attendre que MM. Douvillé, Haug et Lugeon se soient mis d'accord. Pour fixer les idées, et sans aucunement prendre parti — n'ayant point étudié ce problème —, j'ai, sur ma carte, rapporté la nappe BG à ma zone externe, et la nappe du Falknis, avec les lambeaux des brèches du Chablais et de la Hornfluh, à ma zone interne.

1. P. TERMIER. Les schistes cristallins des Alpes occidentales; *Conférence au Congrès géologique international de Vienne*, 1903.

2. EM. HAUG. Études sur la tectonique des Alpes suisses; *B. S. G. F.*, (3), XXIV, p. 552.

3. H. DOUVILLÉ. Les Ralligstöcke et le Gerihorn; *B. S. G. F.*, (4), t. III, p. 193-221.

J'appelle *zone interne* des Alpes tout le domaine qui, *avant la formation des nappes*, était au sud ou à l'est de la zone des Schistes lustrés ; et, de même, *zone externe* des Alpes, tout ce qui était au nord ou à l'ouest de cette même zone des Schistes lustrés. Ce sont là des définitions précises, et qui ne peuvent prêter à aucun malentendu.

Si la définition des trois grandes zones entre lesquelles je partage les Alpes est parfaitement précise, les limites mutuelles de ces zones ne sont pas partout très bien connues. La plus grande incertitude est celle qui pèse sur la limite de la zone axiale et de la zone interne dans la région des lacs. Nous n'avons, pour cette contrée, que des cartes déjà fort anciennes, où la séparation des diverses séries cristallophylliennes est, le plus souvent, très arbitraire. Même dans les régions les mieux étudiées, on peut hésiter sur le tracé des bords de la zone axiale, parce que le faciès Schistes lustrés — si l'on définit la zone par ce faciès seul — ne commence pas toujours brusquement ; ou parce que — si l'on définit la zone par le *métamorphisme régional* de toute la série des terrains — ce métamorphisme ne commence pas en même temps dans tous les étages. C'est ainsi qu'en France, on peut se demander s'il convient de ranger, ou non, dans la zone axiale, le massif de la Vanoise, où il n'y a pas de Schistes lustrés, mais où le Permien est déjà très métamorphique. Mais ce sont là des détails, et qui disparaissent sur une carte à très petite échelle, comme celle que je joins à cette note.

C'est de la zone interne des Alpes que sont venues les nappes les plus hautes, celles qui ont franchi la zone axiale, et recouvert une grande partie de la zone externe. On voit immédiatement, sur la carte, quelles sont les aires occupées, aujourd'hui encore, par ces nappes issues de la zone interne : elles correspondent à plus de la moitié de la superficie des Alpes orientales. J'ai distingué, de même, par des hachures noires posées sur la teinte correspondante, les lambeaux, qui existent actuellement, des nappes issues de la zone axiale et de la zone externe. Ces derniers sont encore très étendus en France ; en Suisse, ils sont immenses — ce sont les *nappes des racines externes* de M. Lugeon — et ils s'avancent jusqu'au bord alpin. M. Lugeon a même émis l'opinion que le bord alpin véritable était partout, en Suisse, caché et enfoui sous ces nappes ; mais cette hypothèse semble inutile, et il est peut-être plus rationnel d'admettre, avec M. Douvillé, que les terrains à *faciès helvétique* (système H) du bord septentrional des Alpes sont réel-

lement *autochtones*¹. En Autriche, la zone externe n'apparaît que sur le bord alpin ; elle est surtout à l'état de *Flysch*, et paraît être partout *en place* ; les nappes de la zone externe, et, en particulier, les nappes glaronnaises, sont désormais cachées sous les nappes de la zone axiale et de la zone interne.

Un fait remarquable, c'est le rétrécissement graduel de la zone interne vers l'ouest, et sa disparition au sud d'Ivrée. Près de Gênes, la zone des Schistes lustrés semble, non seulement confiner aux Dinarides, mais même empiéter sur les Dinarides : car il n'est guère douteux que la *série ophiolitique* de Toscane ne corresponde à celle des Schistes lustrés. Ceci prouve que *les zones stratigraphiques ne coïncident pas rigoureusement avec les zones tectoniques*. Notre zone des Schistes lustrés est, par définition, une zone stratigraphique ; tandis que la définition des Dinarides, dans cette région ligurienne et toscane, est purement tectonique : il n'y a, a priori, aucune raison pour que la coïncidence soit rigoureuse.

Dans la zone externe, j'ai délimité, sur ma petite carte, les massifs cristallins (gneiss, micaschistes et granites plus anciens que le Houiller). *Ces massifs sont tous autochtones*. On les a appelés longtemps, et on les appelle quelquefois encore « *massifs centraux* ». *Mais c'est là une expression vicieuse et ambiguë, qui doit disparaître du langage scientifique*. Ces massifs, en effet, n'ont aucun caractère qui puisse leur valoir cette épithète « central ». Ce sont simplement des régions où tout un faisceau de plis est surélevé, et où, par suite, l'érosion a enlevé la plus grande partie des terrains sédimentaires et a creusé jusqu'au Cristallin. J'ai indiqué cela dès 1893, et, en même temps, j'ai montré que ces surélévations locales des faisceaux de plis se coordonnent sur un plissement secondaire, orthogonal à la chaîne.

Ces massifs cristallins ont été traités comme le reste de la zone ; tous ceux qui sont en arrière de la chaîne de Belledonne ont été *submergés* sous les nappes venues des régions plus internes, tandis que leurs propres plis, participant à la prostration et au laminage généraux, s'en allait au loin, vers l'extérieur de la chaîne. On dirait volontiers qu'ils ont, dans le cheminement des nappes, joué le rôle d'obstacles. Mais c'est là, j'en suis de plus en plus persuadé, une pure illusion². Quant à la chaîne de Belledonne, elle a été couverte

1. On peut discuter sur le sens de ce mot *autochtone*. Je crois qu'un pays plissé est autochtone lorsque ses plis ne sont pas des nappes : et j'ai dit plus haut qu'un pli couché devient une nappe lorsque son déversement atteint l'horizontale.

2. Je crois, par exemple, que les nappes de la zone du Briançonnais, et, sous elles, les nappes de l'Embrunais (Em. Haug), ont *submergé* les massifs

par les nappes, mais non pas totalement submergée : et son versant ouest coïncide avec la ligne que ces nappes, dans leur cheminement, n'ont pas dépassée.

Les gneiss et les micaschistes de la zone externe sont *antéhouillers* ; et c'est tout ce que nous en savons, quant à l'âge. Dans la zone interne, il y a aussi des gneiss et des micaschistes ; et ce sont même ces terrains cristallins qui jouent le rôle dominant. De ceux-ci, nous savons qu'ils sont antérieurs au Dévonien ; et il est probable qu'ils sont antérieurs aussi au Silurien. Enfin, au sud et tout près de la limite des Dinarides, dans la *chaîne carnique*, il y a encore des micaschistes et des gneiss, et qui sont certainement plus anciens que le Silurien inférieur (F. Frech). Mais rien ne nous permet d'affirmer que les gneiss de la chaîne carnique et ceux de la zone interne soient du même âge que ceux de la zone externe.

En tout cas, comme l'ont depuis longtemps établi MM. Frech et Geyer, la chaîne varisque (ou hercynienne) a laissé des témoins au sud, comme au nord des Alpes ¹. Le géosynclinal alpin (zone des Schistes lustrés) s'est établi dans une région déjà plissée avant le dépôt du Houiller, et l'axe de ce géosynclinal était sensiblement parallèle aux plis varisques. Les Alpes sont un géosynclinal placé entre deux faisceaux de plis varisques, géosynclinal qui a duré fort longtemps (avec une interruption au Trias), et qui a été ployé et écrasé, par le resserrement desdits faisceaux, comme entre deux mâchoires géantes.

Sous les terrains du géosynclinal alpin, c'est-à-dire sous le Permo-Houiller métamorphique, les anciens terrains paléozoïques sont à l'état de granite. Nul ne saura jamais jusqu'où allaient, vers le nord, les terrains siluriens, dévoniens, infracarbonifères, dont nous voyons maintenant des lambeaux près de la frontière alpino-dinarique.

Les Alpes franco-italiennes diffèrent des autres par la prédominance des régions autochtones sur les régions de nappes. Elles

du Pelvoux et du Mercantour ; et que, si les nappes semblent s'être avancées davantage entre ces massifs, cela tient simplement à ce que, entre ces massifs, le paquet de nappes et le pays plissé sous-jacent sont ployés en un *synclinal transversal*. Il me semble bien aussi que l'expression « *massif amygdaloïde* » créée, en 1894, par M. Marcel Bertrand, ne répond plus à aucune particularité tectonique. De même que l'expression « *massif central* », elle n'a plus, si l'on veut encore s'en servir, qu'une signification géographique ; et je préférerais que l'on abandonnât l'une et l'autre.

1. F. FRECH. Die Karnischen Alpen ; Halle, 1892-94. — Voir aussi, du même auteur, le mémoire déjà cité, sur les Tribulaun. — G. GEYER. *Verh. d. geolog. Reichsanstalt*, 1894, p. 102-119 ; et 1899, p. 107-116.

sont moins *enfoncées*, ou plus *relevées*, que les autres Alpes. A partir du Mont-Blanc, quand on regarde vers l'est, on voit *s'ennoyer* graduellement tous les plis sous des nappes, et toutes les nappes sous des nappes plus hautes. Ce phénomène a été aperçu et décrit par M. Lugeon ¹.

Regardons maintenant nos cinq coupes des Alpes, et tenons compte de la remarque qui précède : l'unité de structure devient évidente, et la correspondance des nappes saute aux yeux. Le Flysch (Éocène et Oligocène) s'est avancé, partout, jusqu'à la zone axiale ; et il passe, latéralement, à la partie haute des Schistes lustrés. *L'éventail briançonnais*, qui, dans nos Alpes occidentales, nous avait paru si important, cet éventail n'est qu'un détail presque insignifiant dans la structure générale de la chaîne : comme je le prévoyais l'année dernière, *il s'en va se cacher sous les nappes issues du bord sud de la zone axiale* ². Dans le profil III, si j'avais voulu marquer encore cet éventail, c'est *sous la vallée de l'Inn*, et sous la nappe des Schistes lustrés, que je l'aurais dessiné : mais qui nous dit que les plis correspondants ont gardé jusqu'en cette région leur disposition en éventail ?

Comme les arbres de la vallée du Rhône sous la poussée irrésistible du *mistral*, comme les fumées d'un pays industriel sous le vent qui les rabat et les roule, les plis des Alpes ont été couchés vers l'extérieur de la chaîne. Et la force qui les a couchés a été assez énergique pour les empiler les uns sur les autres, les laminer, les étirer, les fragmenter, tant et si bien que les nappes ainsi formées s'en sont allées jusqu'à 100, 120, peut-être 150 kilomètres de leur origine.

Pour rendre compte de cette poussée, de cet écrasement, et de ce laminage, je crois devoir admettre un déplacement *superficiel, une translation d'ensemble du pays dinarique sur le pays alpin*. C'est là, je sais bien, une hypothèse. Elle est suffisamment définie par le tracé, sur les cinq coupes, de la « surface de traînage ».

1. M. LUGÉON. *Loc. cit.*, *passim*.

2. Ceci est ma réponse à la note que mon ami M. W. Kilian remet à la Société géologique aujourd'hui même (voir plus haut : p. 672). L'éventail briançonnais passe sous les nappes : il est donc antérieur à la formation des nappes, et les nappes sont passées sur lui. Ces faits me paraissent n'être plus contestables. Mes coupes de l'an dernier, que je regardais comme partiellement hypothétiques, *ne sont plus du tout hypothétiques aujourd'hui*. L'hypothèse s'est déplacée vers l'orient, et elle s'est agrandie, comme on va voir ; et sur cette hypothèse j'appelle, naturellement, la discussion. Mais pour le Briançonnais, et pour la *quatrième écaïlle*, il me semble fort qu'il n'y a plus d'hypothèse, et que tout est réellement comme j'ai dit.

Cette hypothèse a l'avantage d'expliquer du même coup trois autres faits : d'abord la présence de grandes failles le long de la frontière alpino-dinarique; puis le contraste de structure, si saisissant, entre les deux pays que cette frontière sépare; enfin la brusquerie du changement des faciès du Permien et du Mésozoïque dans la région où le déplacement superficiel a été le plus grand, c'est-à-dire dans la région de la chaîne carnique et des Karawanken.

Le pays dinarique a joué, pour la plus grande partie du pays alpin, le rôle de ce que j'ai appelé, l'an dernier, *le traîneau écraseur*. Et ce *traîneau* ne diffère point du *Rückland* de M. E. Suess (*La face de la Terre*, t. I, 2^e partie, chap. III).

Le mouvement du pays dinarique a été, dans son ensemble, dirigé vers le nord-ouest. La marche au nord a été fort inégale : presque nulle le long de l'Apennin ligure — et c'est pour cela que, dans l'Apennin ligure, la séparation entre Alpes et Dinarides est si imprécise — elle a dû, au nord de Venise, dépasser 100 kilomètres et atteindre, au sud de la Hongrie, plusieurs centaines de kilomètres. Dans la région de l'Adriatique, l'inégalité de translation vers le nord a produit les décrochements *en coulisses* signalés par M. Suess sur la côte illyrienne, *et a préparé l'effondrement adriatique lui-même*.

Je suis porté à croire que la marche en avant du pays dinarique est antérieure au propre plissement de ce pays. Elle est antérieure, en tout cas, à la phase des plissements énergiques dans les Dinarides. *C'est un traîneau solide, non plissé, qui est passé sur les Alpes*. Et c'est après sa translation qu'il s'est faillé et disloqué, d'abord; puis qu'il s'est plissé, *de lui-même, et par simple élasticité, en poussant au vide* sur la région adriatique effondrée.

Dans le Piémont, l'inégale translation du pays dinarique a produit une rotation, une sorte de tourbillon, du pays alpin compris entre Turin et Gênes : et c'est un lambeau de ce pays alpin, poussé à l'ouest, qui a servi, pour toute la région franco-italienne, de *traîneau écraseur*.

J'évaluais l'an dernier à un minimum de 150 kilomètres le resserrement total du pays alpin. Ce n'était pas trop dire. Pour chaque profil des Alpes, le resserrement a précédé la translation du traîneau écraseur. Ce resserrement a dû être lent et graduel. Tout indique au contraire que la translation du traîneau écraseur a été un phénomène brusque et rapide, comme il convient à une rupture d'équilibre. Cette translation a été facilitée, *sinon déterminée*, par un affaissement préalable de toute la région alpine : et il est

probable que les sommets les plus élevés du pays transporté ne se sont trouvés, à aucun moment du transport, beaucoup au-dessus du niveau de la mer.

Je ne me lasserai pas de dire qu'il n'y a pas de *pli couché* sans un déplacement relatif de la zone superficielle de l'écorce et d'une zone plus profonde. Si l'on ne veut pas que les Dinarides aient marché sur les Alpes, ou bien il faut que, en profondeur, les Alpes aient reculé sous les Dinarides : et il est clair que c'est la même chose ; ou bien il faut donner aux plis des propriétés singulières, et les faire, à la surface du sol, s'écouler comme des laves.

Les nappes, une fois mises en place, et enfouies sous les lambeaux dinariques, *sont lentement remontées vers le jour*, en se ployant, d'ailleurs, et s'ondulant, suivant deux systèmes de rides orthogonales. Et comme la vitesse d'ascension était partout supérieure à la vitesse d'érosion, la région alpine s'est constituée, peu à peu, à l'état de montagnes. La vitesse d'ascension était d'ailleurs fort inégale. Là où elle était maxima, non seulement les lambeaux dinariques, mais encore la plupart des nappes ont disparu ; et l'on voit aujourd'hui les plis autochtones : c'est le cas des Alpes franco-italiennes. En Autriche, où la vitesse d'ascension était bien moindre, l'érosion n'a enlevé complètement que les lambeaux dinariques ; et d'immenses étendues de nappes sont encore visibles. En Suisse, les phénomènes sont arrivés à un stade intermédiaire, et la superficie totale des régions de plis est à peu près égale à celle des régions de nappes. On comprend maintenant pourquoi l'aspect général des Alpes orientales est différent de celui des Alpes franco-italiennes : ce n'est pas dans une différence de structure qu'il faut chercher la cause de cette diversité d'aspect, mais bien dans l'inégalité du relèvement de la région écrasée.

Quant aux tronçons de la chaîne alpine que nous appelons *effondrés*, ce sont les tronçons qui ne se sont pas relevés, ou qui, tout au moins, n'ont pas, dans leur relèvement, atteint le niveau de la mer.

La formation des nappes et leur inégale remontée au jour sont phénomènes d'âge miocène. Il est probable qu'ils n'ont pas duré bien longtemps. La remontée au jour est contemporaine du plissement dinarique.

Et maintenant où sont, vers le nord et le sud, les prolongements des Alpes ? Il est facile de le dire, et de compléter, en ce qu'elle avait encore d'incomplet, la magnifique esquisse que nous a donnée M. E. Suess (*La face de la Terre*, t. I, 2^e partie, chap. I, II, III, IV, VIII).

Au nord, les Alpes se prolongent dans les Carpathes. Le *Mittelgebirge hongrois*, c'est la *zone interne*, autochtone, lieu des racines des nappes les plus hautes. Les Carpathes du nord sont, tout entières, ou presque tout entières, *un pays de nappes*. Dans le tournoi ouvert, l'an dernier, entre M. Lugeon et M. Uhlig, qui donc, maintenant, pourrait douter que M. Lugeon ne soit le vainqueur ? La translation dinarique s'est avancée jusque dans le nord de la Hongrie, faisant partout déborder sur le *Vorland* la région alpine resserrée et plissée. C'est le phénomène de refoulement décrit par M. Suess, mais plus accentué, plus intense, et plus grandiose encore que le maître n'avait pensé.

Au sud, la région alpine, graduellement rétrécie, se prolonge par la côte orientale de la Corse (Em. Haug), et par une zone effondrée qui passe à l'est de la Sardaigne et *au nord de la Sicile et de l'Afrique*. Les plissements — singuliers et *chaotiques*, comme je le dirai bientôt — du nord de la Tunisie, correspondent au voisinage du bord nord des Dinarides : mais ils sont dans les Dinarides. Il en est de même de l'Atlas algérien tout entier. C'est seulement dans la Sierra Nevada que je retrouve les Alpes : et là, chose curieuse, *les micaschistes, sous le Trias, m'ont paru être du Permio-Houiller métamorphique*.

La Corse occidentale et la Sardaigne sont, comme l'a dit M. Suess, des témoins du pays extra-alpin. Et il est vrai aussi, comme l'a dit encore M. Suess, que les Apennins se prolongent par l'Atlas¹ : mais les Apennins et l'Atlas, où les chevauchements sont vers l'est ou le sud, n'appartiennent certainement pas aux Alpes.

Les Alpes, entre la Corse et la Sierra Nevada, *sont effondrées*. Elles forment une bande qui contourne la Sardaigne par le sud, et qui se tient un peu au nord de la côte africaine. Si cette bande a donné naissance à des nappes, ce que nous ne saurons probablement jamais, ces nappes sont passées par dessus la Corse occidentale et par dessus la Sardaigne : elles marchaient en tout cas, vers l'ouest et vers le nord. Et ces nappes sont restées au fond de la Méditerranée.

Les massifs cristallins de l'Algérie ne sont pas, comme le proposait M. Fichet², les prolongements du massif sarde. Ils appartiennent, tectoniquement, aux Dinarides, ou, si l'on veut, à l'Apennin : et je continue de croire que la plupart de leurs gneiss sont très jeunes.

1. EM. HAUG. Géologie de la Sicile. *La Revue générale des Sciences en Sicile* ; Paris, 1901.

2. E. FICHEUR. Le massif ancien du littoral de la Berbérie. *Assoc. franç. pour l'avanc. des Sciences*, 1901, congrès d'Ajaccio, 2^e partie, p. 345.

L'assimilation, faite autrefois par M. Suess, de la Méditerranée occidentale à la plaine hongroise, n'est pas aussi parfaite qu'il le supposait, si même elle n'est pas inexacte. La Méditerranée occidentale est, en grande partie, *extra-alpine* : au lieu que la plaine hongroise est *intra-alpine*, ou même, en partie, région dinarique.

Comme l'a montré M. Suess, les lignes d'effondrement, c'est-à-dire de raccord brusque entre deux régions inégalement affaissées ou inégalement remontées, sont jalonnées par des roches éruptives récentes. Mais je ne crois guère à la liaison des tonalites péri-adriatiques¹ avec l'effondrement adriatique lui-même. La consolidation des tonalites est à coup sûr bien antérieure à cet effondrement. Les roches massives, de part et d'autre de la frontière alpino-dinarique, et aussi bien les roches de la région d'Ivrée que les tonalites elles-mêmes, me semblent, dans la synthèse des Alpes, avoir joué un rôle purement passif.

Telles sont les Alpes, de la Sierra Nevada d'Espagne aux Carpathes méridionales : zone plus ou moins large, *comprise dans l'ancienne chaîne varisque*, et parallèle, au moins grossièrement, aux plis de cette chaîne ; zone façonnée en un vaste géosynclinal, depuis le Houiller jusqu'à la fin de l'Éocène ; zone refoulée, resserrée, écrasée entre ses deux bords, entre son *Vorland* et son *Rückland* ; puis affaissée, et finalement laminée par la translation, au-dessus d'elle, d'un *trainéau solide* marchant du sud au nord, ou du sud-est au nord-ouest. Cette zone, ainsi couverte de nappes et surmontée des débris du *trainéau écraseur*, est alors remontée au jour, inégalement et irrégulièrement. Derrière elle, le *Rückland* s'est tassé et disloqué, puis, *par réaction* du *Vorland* et de la zone alpine, plissé à son tour.

Et de la sorte, *la chaîne* est au moins double : c'est la chaîne alpino-dinarique, avec sa disposition générale en éventail. Mais, au sud de cet éventail, le pays dinarique est immense, et ses plissements, d'après les découvertes récentes, nous réservent bien des surprises. Sachons attendre. Que de changements, en moins de trois années, dans nos conceptions touchant les Alpes et les Carpathes ! Et ce sont les montagnes que nous connaissions le mieux ! Sur la tectonique de toutes les autres chaînes, nos spéculations, et nos théories d'ordre général, ne seraient, aujourd'hui, que balbutiements.

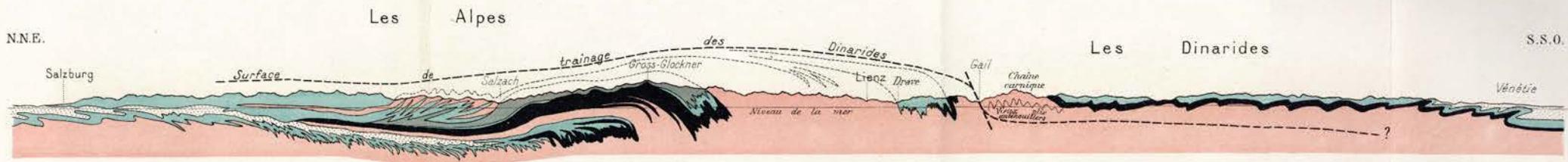
1. W. SALOMON. Ueber Alter, Lagerungsform und Entstehungsart der periadriatischen granitisch-körnigen Massen. *Tschermak's Mitteilungen* ; neue Folge, XVII, 1897.

Lille, Imp. Le Bigot Frères, rue Nicolas-Leblanc, 25.

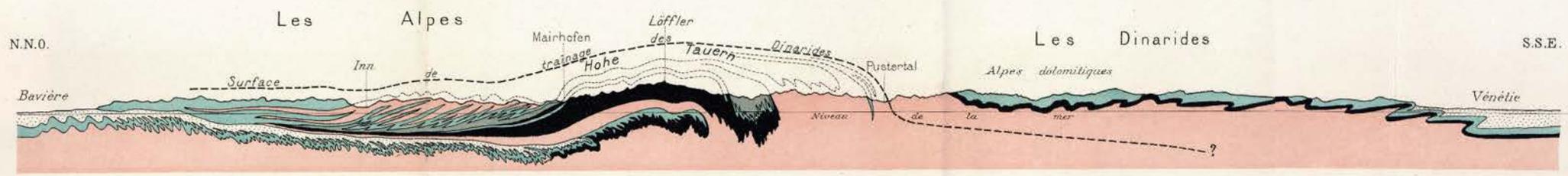
on - Pignero

les Alp

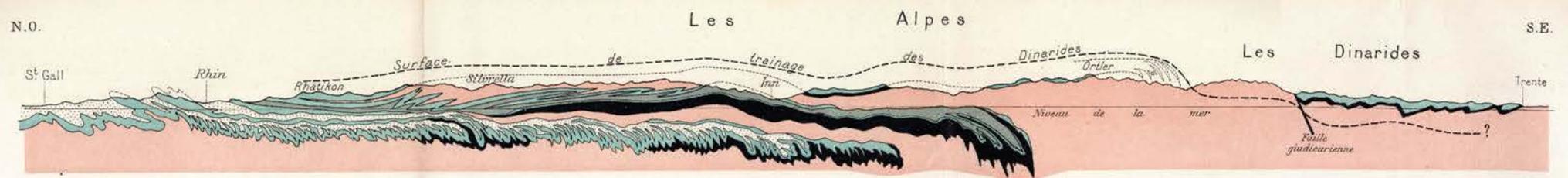
 *Permien et C*
terrain cristallo



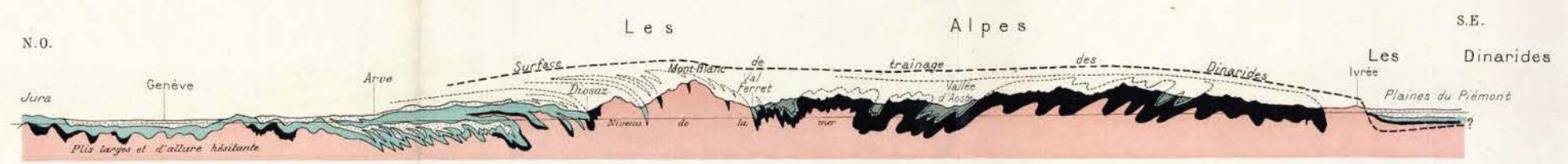
Coupe I: par le grand cercle Salzburg-Venise.



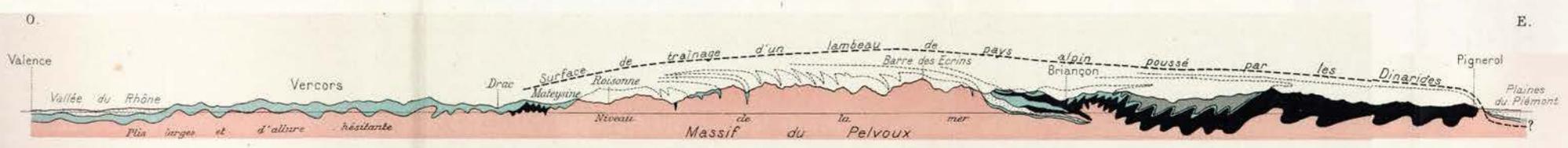
Coupe II: par le grand cercle Munich-Venise.



Coupe III: par le grand cercle Saint-Gall-Trente.



Coupe IV: par le grand cercle Genève-Ivrée.



Coupe V: par le grand cercle Valence-Briançon-Pignerol.

Coupes schématiques à travers les Alpes

Echelle : $\frac{1}{500,000}$

- Terrains tertiaires.
- Schistes lambrés.
- Terrains mésozoïques, sauf ceux qui sont à l'état de Schistes lambrés.
- Permien et Carbonifère sup. (Houiller), à l'état de terrains cristallophyllites dans la zone centrale de la chaîne.
- Terrains pléozoïques antérieurs au Houiller; vieux gneiss, et vieux granites.

Légende :

Essai
d'une Carte structurale des Alpes

Echelle : $\frac{1}{2.500.000}$

-  Jura et plaine suisse.
-  Les Dinarides.
-  Zone axiale des Alpes, ou zone des séries complètes (Schistes lustrés et gneiss permo-houillers).
-  Nappes originaires de la zone axiale, et faites de gneiss, micaschistes, schistes lustrés et roches vertes (4^{ème} écaille briançonnaise, Simplon, Prättigau, Unter-Engadin, Hohe Tauern).
-  Zentralgneis des Hohe Tauern, visible dans les déchirures des schistes lustrés.
-  Zone interne des Alpes (Ivrée, Tonale, Penser Joch, Brunneck, Gailtal, Nord-Karawanken, Bacher).
-  Nappes originaires de la zone interne, et faites de vieux gneiss, de terrains paléozoïques ou mésozoïques (Brèches du Chablais et de la Hornfluh, Falknis et Rhätikon, Eitztal, Pinzgau, Radstädter Tauern, gneiss de Styrie ...).
-  Zone externe des Alpes (en Suisse, système H de M. Douvillé).
-  Nappes originaires de la zone externe (Ubaye, Briançonnais, Savoie, Préalpes, Glaris, Sentis; nappes BG et K de M. Douvillé).
-  Massifs cristallins de la zone externe (Mercantour, Pelvoux, Grandes Rousses, Belledonne, Mont-Blanc, Aar, S.^t Gothard).

