

LES
SCHISTES CRISTALLINS
DES
ALPES OCCIDENTALES,

PAR
PIERRE TERMIER,
PROFESSEUR A L'ÉCOLE DES MINES DE PARIS.

Conférence faite, le 22 août 1903, devant le 9^e Congrès géologique international, à Vienne.



PARIS,
GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE
DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,
Quai des Grands-Augustins, 55.

—
1903

LES SCHISTES CRISTALLINS

DES

ALPES OCCIDENTALES.



Voici la troisième fois, Messieurs, que, dans un Congrès international de Géologie, il est question des schistes cristallins des Alpes occidentales. La première fois, c'était à Londres, en 1888 : Charles Lory avait préparé, pour cette session, un Mémoire d'une vingtaine de pages, où l'on trouve résumées toutes ses idées, non seulement sur les micaschistes et les gneiss, mais aussi sur les Schistes lustrés, et même sur la structure des Alpes franco-italiennes; et, ce qui donne à ce Mémoire une importance particulière, c'est qu'il est la dernière œuvre, la dernière leçon, et comme le testament scientifique de ce maître, mort peu de mois après. La deuxième fois, c'était en 1894, à Zürich : et vous vous rappelez l'admirable conférence, dans laquelle, tout en vous parlant de la structure des Alpes françaises, M. Marcel Bertrand vous fit connaître les gneiss permo-houillers, vous montra les rapports de ces gneiss avec les Schistes lustrés, et vous exposa enfin, avec la largeur de vues et l'éloquence familière qui sont les caractéristiques de son talent, sa doctrine de la récurrence de certains faciès sédimentaires. En relisant, aux comptes rendus des deux Congrès, la conférence de M. Marcel Bertrand après le Mémoire de Charles Lory, vous vous étonnerez des progrès réalisés, en moins de six années, dans la connaissance des Alpes occidentales. Il n'est que juste de dire qu'une bonne partie de ces progrès était due à deux de nos collègues d'Italie, MM. Zaccagna et Mattiolo. La publication du beau livre de M. Zaccagna, *Sulla geologia delle Alpi occidentali*, date de 1888; et c'est ce livre qui nous a, M. Marcel Bertrand et moi, inspirés et guidés dans le début de nos recherches.

Depuis 1894, nous n'avons fait, en France, que fortifier nos

convictions à l'endroit des terrains métamorphiques des Alpes, et ce qui a le plus contribué à les fortifier, ce sont les découvertes faites, en Piémont, par nos jeunes collègues du Corps royal des Mines d'Italie, MM. Franchi, Novarese et Stella. Ces découvertes réalisent toutes les prévisions de M. Marcel Bertrand et toutes les miennes; et nous n'eussions jamais osé espérer, pour nos déductions, qui nous semblaient à nous-mêmes presque téméraires, une confirmation aussi rapide, aussi éclatante, aussi décisive.

Vous savez tous aujourd'hui qu'il y a, dans les Alpes occidentales, *trois séries cristallophylliennes*, trois complexes métamorphiques, d'âges fort différents. Dans chacune de ces séries, dans chacun de ces complexes, il y a des micaschistes, et des gneiss, et des amphibolites; et je ne crois pas que le métamorphisme soit beaucoup moins intense dans l'une des séries que dans les autres. Dire cela, c'est dire que nulle part au monde l'étude du problème des terrains cristallophylliens ne peut être poussée aussi loin que dans les Alpes occidentales; c'est dire encore que, tant qu'il y aura des Congrès géologiques, et qui continueront de scruter ce difficile problème, on parlera, dans ces Congrès, des terrains métamorphiques de nos Alpes.

La première série cristallophyllienne, la plus ancienne des trois, est antérieure au Houiller, et l'on ne sait rien de plus sur son âge. C'est le terrain cristallin de la *première zone alpine*, de Charles Lory, et ce savant lui donnait volontiers le nom de *terrain primitif*. Il comprend les micaschistes et les gneiss de la chaîne de Belledonne, des Grandes-Rousses, du Mercantour, du Pelvoux, du Mont-Blanc, des Alpes bernoises.

La deuxième série est formée par le Houiller et le Permien, devenus, graduellement, métamorphiques. Vers l'Ouest, ces terrains métamorphiques passent latéralement à des grès à anthracite, ou à des sédiments permien du type ordinaire. Vers l'Est, de plus en plus épais, et de plus en plus cristallins, ils supportent le Trias et les Schistes lustrés. Ce sont les micaschistes et les gneiss de la Vanoise, du Mont-Pourri, du Rutor, du Val-Grisanche; les *Casanna Schiefer*, de Gerlach; les micaschistes et les gneiss du Petit-Mont-Genis, du Grand-Paradis, du Mont-Rose, du Tessin, d'Antigorio, de la partie basse des vallées piémontaises.

La troisième série, enfin, ce sont les Schistes lustrés, avec leur

cortège de *roches vertes* et d'assises cristallines diverses. Nous savons aujourd'hui, par M. Franchi, que cette série est postérieure au Trias supérieur. C'est donc une série mésozoïque, comme l'avaient indiqué déjà, mais sans preuves paléontologiques, Charles Lory et M. Marcel Bertrand. Comme ce complexe métamorphique a une épaisseur formidable, la partie haute peut être relativement jeune. J'incline à croire, pour ma part, que cette partie haute est d'âge éocène, et je vois dans les Schistes lustrés une *série compréhensive* mésozoïque et néozoïque : je veux dire une série sédimentaire continue, allant du Trias supérieur à l'Éocène.

La difficulté de distinguer ces trois séries cristallophylliennes explique les longues et multiples variations des géologues italiens et français, et l'histoire, vraiment troublée, de la géologie des Alpes occidentales. Charles Lory, qui a très bien vu l'âge mésozoïque des Schistes lustrés, s'est refusé à admettre le métamorphisme du Permien et du Houiller. M. Zaccagna, qui a montré, non seulement l'existence, mais encore la grande extension du Permien métamorphique dans les Alpes franco-italiennes, a cru devoir vieillir les Schistes lustrés, et, du Trias où ils étaient, les a remis dans le Prépaléozoïque ; et presque tous, en France, de 1888 à 1893, nous avons cru que, sur cette question capitale, c'était Lory qui se trompait, et M. Zaccagna qui avait raison. Mais il est bien remarquable qu'un homme se soit rencontré, l'ingénieur des mines Lachat, mort récemment à Chambéry, qui, dès 1861, a signalé la présence, dans la région de Modane, d'un terrain houiller métamorphique, et qui, en 1889, après la publication du Mémoire de M. Zaccagna, a continué de croire à l'âge mésozoïque des Schistes lustrés. Lachat a eu, trente ans avant nous, l'intuition des trois séries cristallophylliennes. Il n'a pu, naturellement, les connaître comme nous les connaissons aujourd'hui, et il n'a pas tout prévu ; mais il est, de tous les géologues qui se sont consacrés à l'étude des terrains cristallins des Alpes occidentales, celui qui s'est le moins trompé. Son nom devait être cité dans cette conférence. C'est le nom d'un des bons ouvriers de la première heure.

Je voudrais, Messieurs, que, dans les quelques instants qui me sont accordés, vous voulussiez bien regarder avec moi les traits géologiques et lithologiques importants, les traits vraiment carac-

téristiques, des trois séries cristallophylliennes. De ce rapide coup d'œil nous pourrions tirer quelques conclusions d'ordre général, qui ne laisseront pas de jeter un peu de lumière sur le problème des schistes cristallins.

Dans la première série, la série antéhouillère, ce qui domine de beaucoup, ce sont les micaschistes à mica blanc et les chloritoschistes. Dans ces derniers, la chlorite est toujours secondaire, et elle épigénise, le plus souvent, la biotite. Après les micaschistes et les chloritoschistes, dans l'ordre d'importance, viennent les *gneiss ordinaires*, je veux dire ceux qui sont formés de quartz, de mica (blanc ou noir), et de feldspaths riches en alcalis. Il y a aussi des amphibolites et des pyroxénites, et des *gneiss basiques*, faits d'amphibole, ou de pyroxène, et de feldspaths calciques; mais, somme toute, ces roches amphiboliques ou pyroxéniques, bien que fréquentes, n'ont qu'une masse relativement faible, et elles ne forment peut-être pas le vingtième de la masse totale du terrain cristallophyllien. La rareté des cipolins est frappante. D'immenses régions en sont totalement dépourvues; et, là où ils apparaissent, c'est sous la forme de minces lentilles. Par tous ces caractères, le vieux terrain cristallophyllien des Alpes occidentales se rapproche beaucoup de celui du Plateau central français.

Parmi les termes exceptionnels de cette première série cristallophyllienne, je citerai les *poudingues* et les *schistes carburés*. Je crois bien que la première mention des poudingues incorporés au terrain cristallin ancien des Alpes est due à M. Gollier; et cette mention est relative au substratum cristallin de la Dent-de-Morcles. J'ai décrit des poudingues semblables dans les Grandes-Rousses, et il y en a d'autres dans le massif du Pelvoux. Ces poudingues sont formés de galets empruntés à une plus ancienne série métamorphique; et donc, la série que je décris en ce moment, et que j'appelle la première, n'est pas *réellement* la première. Il y en a eu une autre, avant elle, qui n'affleure plus nulle part aujourd'hui, et de laquelle on ne peut rien dire, sinon qu'elle était, elle aussi, composée de micaschistes et de gneiss, et qu'elle renfermait des roches granitiques. Quant aux *schistes carburés*, ils sont fréquents dans la chaîne de Belledonne, et l'on en trouve aussi, mêlés aux micaschistes et aux gneiss du Pelvoux. Ils sont formés de quartz, d'ilménite, de rutile, d'un peu de mica

blanc, et renferment jusqu'à 2 pour 100 de charbon. A l'œil nu, ils ressemblent beaucoup aux schistes carburés, fréquemment graptolitifères, du Silurien des Pyrénées; mais je n'ai pu y rencontrer, jusqu'à ce jour, la moindre trace d'organisme.

Je rappelle enfin qu'il y a, intercalés dans la première série cristallophyllienne, de nombreux amas de roches massives, parfois immenses : tels sont les amas granitiques, bien connus, du Pelvoux, de Beaufort, du Mont-Blanc, de Valorcine, du massif de l'Aar. D'autres amas, plus petits, sont formés de syénite, de gabbro ou de péridotite. Sur les bords des amas granitiques, les strates cristallines encaissantes sont traversées, et parfois injectées, par des apophyses ou des veinules d'aplite ou de microgranite, et cette injection les a fréquemment rendues feldspathiques, quand elles ne l'étaient pas antérieurement. Mais, bien souvent, ce métamorphisme exomorphe est nul, ou à peine sensible, et, dans tous les cas, la roche massive n'a subi, près du contact, aucun endomorphisme. Tout indique que les strates étaient déjà cristallines, et même, quelquefois, déjà gneissifiées, avant la *mise en place* de la roche granitique. Celle-ci apparaît comme le dernier effet, et non pas comme la cause, du métamorphisme régional.

Quant aux amas de gabbro et de péridotite, ils semblent liés aux amphibolites, aux pyroxénites et aux *gneiss basiques*. Partout où on les trouve, les gneiss basiques abondent : et, là où les gneiss basiques abondent, ou même simplement les amphibolites, on trouve toujours quelque lentille de gabbro ou de péridotite, plus ou moins métagénosée.

La série permo-houillère a des traits un peu différents, suivant qu'on la considère sur son bord occidental, je veux dire près de la zone où elle passe latéralement à des sédiments ordinaires, ou loin de ce bord. Dans cette zone de passage, on voit le métamorphisme grandir, quand on marche de l'Ouest vers l'Est. Bientôt le caractère détritique disparaît; les strates sont devenues toutes et totalement cristallines; on ne peut donc plus dire que le métamorphisme, quand on continue de marcher vers l'Est, continue d'augmenter. Mais c'est la feldspathisation qui augmente, et, graduellement, les gneiss prennent la prépondérance. C'est cette transformation des assises, de l'Ouest à l'Est, qui a trompé la plupart des observateurs. Ils ne pouvaient croire, ni que les micaschistes de

la Vanoise, si cristallins, prolongeassent les poudingues permien du massif de Polset; ni que les gneiss porphyroïdes du Grand-Paradis, d'un type si spécial, fussent la continuation, par-dessous le synclinal de Schistes lustrés du Val-Savaranche, des gneiss fins et des micaschistes du Val-Grisanche et de l'Invergnan.

Dans la Vanoise, et dans le massif du Petit-Mont-Cenis, ce qui domine, ce sont des micaschistes faiblement feldspathiques, à mica blanc, chlorite, tourmaline et rutile. Il y a aussi des quartzites micacés, et, assez fréquemment, des glaucophanites à albite et sphène. La plupart des assises sont riches en sodium et très pauvres en calcium.

Dans le Val-Grisanche, les micaschistes, à mica blanc, mica noir et chlorite, alternent avec des gneiss finement zonés, qui se débitent en minces plaquettes. C'est dans ce complexe que l'on a trouvé quelques veines d'anthracite, témoins des couches de combustible que renfermait l'ancien terrain sédimentaire. Les glaucophanites ont disparu. Au col d'Entrelor, le *faciès Grand-Paradis* fait son apparition, par une intercalation de gneiss à grands cristaux d'orthose, au milieu des micaschistes du type Val-Grisanche.

Dans les massifs de la Levanna et du Grand-Paradis, les gneiss à grands cristaux d'orthose prédominent sur tous les autres terrains. Ils alternent cependant avec des micaschistes à mica blanc et à mica noir, et avec des gneiss fins. Quand on descend dans la série, c'est-à-dire quand on marche vers l'Est, il semble que les gneiss porphyroïdes deviennent de plus en plus homogènes, de plus en plus semblables à du granite. Nul doute que le granite n'existe, à une profondeur relativement faible, sous les gneiss les plus profonds du Grand-Paradis.

Au Sud de la Doire-Ripaire, les types dominants sont des micaschistes à mica blanc, des gneiss micacés fins et des *gneiss graphitiques*. De même que dans la Vanoise, dans le Val-Grisanche et dans le Grand-Paradis, les cipolins font complètement défaut.

Vers le Nord, les *Casanna Schiefer* prolongent, avec les mêmes caractères, les gneiss et micaschistes du Val-Grisanche. Et quant aux terrains cristallins des Alpes pennines, du Cervin, du Mont-Rose, du Simplon, du Tessin, ils offrent un mélange des types du Grand-Paradis et des types de la Vanoise.

Un fait important à retenir, c'est l'absence de roches massives

dans les gneiss et micaschistes permo-houillers de la région française. Dans les énormes montagnes cristallines de la Vanoise, de l'Aiguille-du-Midi, du Mont-Pourri, il n'y a ni un amas, ni un filon de roche massive. Il n'y en a pas davantage, en Italie, dans les terrains cristallins du Petit-Mont-Cenis, d'Ambin, de la Levanna, du Grand-Paradis. En d'autres points de la région italienne, des diorites ou des syénites s'intercalent dans les séries : c'est le cas des environs d'Ivrée, de la vallée du Chisone, de la partie Nord du Val-Savaranche. Mais la masse de ces roches est peu importante, si on la compare à la masse immense des strates cristallines du voisinage; et leur présence ne semble liée, ni à une intensité particulière, ni à une forme spéciale du métamorphisme régional.

J'arrive à la troisième série cristallophyllienne, celle dont l'âge est mésozoïque pour la plus grande partie des assises, néozoïque, peut-être, pour la partie haute. C'est la série des *schistes lustrés* et des *pietre verdi*.

On n'a pas assez insisté sur la cristallinité des Schistes lustrés. Dans sa conférence de 1894, M. Marcel Bertrand semble dire que ce sont des produits d'un métamorphisme incomplet. Cela peut être exact pour quelques termes de la série, mais qui sont des termes exceptionnels.

Le terme habituel et normal de la troisième série cristallophyllienne est un calcschiste très cristallin, formé de zones alternées, généralement très minces, de calcite, de quartz, et d'un feutrage de petites aiguilles de mica blanc englobant beaucoup d'ilménite et de rutile.

Nous sommes si peu habitués à voir des calcschistes dans une série cristallophyllienne qu'une pareille roche nous paraît, au premier abord, beaucoup moins métamorphique qu'un micaschiste ordinaire. Il suffit de l'examiner au microscope pour voir qu'il n'en est rien, et que la différence entre un micaschiste et un schiste lustré tient à une diversité originelle de composition, et non pas à une différence dans l'intensité du métamorphisme. Et la preuve, c'est que l'on rencontre, sur beaucoup de points, intercalés dans les Schistes lustrés, des bancs de micaschistes et de chloritoschistes, et que ces roches ne diffèrent en rien des roches similaires des deux autres séries cristallophylliennes.

Ce qui est vrai, c'est que quelques assises calcaires, peu nombreuses, et probablement sur une faible partie de leur surface, ont échappé à la *recristallisation* totale, et ont ainsi gardé, plus ou moins complètement, leur ancien aspect de sédiment. C'est dans de semblables assises que nos collègues italiens ont découvert quelques fossiles, et c'est ce qui leur a permis de fixer, d'une façon définitive, l'âge de la formation.

Après la prédominance des calcschistes, le trait le plus caractéristique de la série cristallophyllienne mésozoïque est l'abondance des *roches vertes*. Les unes ont gardé leur structure; et ce sont des gabbros, des péridotites, ou des variétés ophitiques ou microlitiques de ces roches. D'autres sont entièrement métosomatosées; mais elles *passent* aux premières et conservent, d'ailleurs, une apparence massive et une quasi-homogénéité chimique : ce sont des serpentines, des variolites, des ovardites, des prasinites, et quelques amphibolites ou glaucophanites spéciales. Le laminage les rend souvent méconnaissables à l'œil nu. Nulle part, jusqu'à ce jour, on n'a vu des filons de ces roches couper nettement les calcschistes encaissants. Les amas sont parfois immenses, comme au Mont-Viso; et il y a aussi des amas lenticulaires de très petites dimensions.

On a souvent confondu, avec ces roches vertes d'origine évidemment intrusive, des strates cristallines, de couleur verte ou noire, qui font corps avec la série cristallophyllienne, et qui sont, au même titre que les calcschistes, des sédiments transformés. Ce sont, ou des amphibolites chloritisées, ou des micaschistes à biotite chloritisés, ou des pyroxénites, ou des amphibolites zonées (à hornblende, actinote ou glaucophane), plus ou moins chargées d'épidote.

Enfin l'on rencontre, mais rarement, avec les micaschistes, les chloritoschistes et les amphibolites, des quartzites, des cornéennes *et des gneiss*. Ceux-ci peuvent être localement porphyroïdes : et alors ils ne diffèrent presque en rien des gneiss porphyroïdes de la deuxième série cristallophyllienne. Ils sont, le plus souvent, très micacés, et se débitent en minces plaquettes. Leurs feldspaths sont toujours alcalins.

Les intercalations de micaschistes et de chloritoschistes, souvent très puissantes et très étendues, ne semblent pas nécessairement

liées au voisinage d'un amas de roche verte. Mais les amphibolites, les pyroxénites, les cornéennes et les gneiss n'existent, à ma connaissance, que là où l'on trouve des amas de gabbro ou de péridotite; et alors, il y a toujours, alternant avec ces strates cristallines, des strates de micaschistes et de chloritoschistes. Par contre, on peut voir des amas de roche intrusive qui confinent aux calcschistes, et qui ne sont associés, ni à des chloritoschistes, ni à des cornéennes, ni à des amphibolites.

Ces diverses roches cristallines, intrusives ou non, s'observent à diverses hauteurs dans la formation des Schistes lustrés; elles ne sont pas confinées dans un étage particulier.

La troisième série cristallophyllienne repose, le long de son bord occidental, sur le Trias moyen et inférieur, qui repose lui-même sur le Permo-Houiller. La concordance est absolue entre les trois formations. Dans le Briançonnais, le Queyras et l'Ubaye, les calcaires du Trias, qui supportent ainsi des calcschistes fort cristallins, ne sont pas métamorphiques. Mais, plus au Nord, dans la région de Modane et dans la Vanoise, le Trias devient peu à peu cristallin : les calcaires se chargent d'albite, les quartzites deviennent micacés, les schistes prennent des cristaux de tourmaline et de chloritoïde. Ce métamorphisme du Trias augmente encore dans la haute Maurienne. A partir de Bonneval, ce sont des marbres véritables, avec cristaux de feldspath et feuillets de mica blanc, qui remplacent les calcaires et les cargneules du Trias briançonnais. Pour reconnaître le Trias dans les marbres de Val-Savaranche, il faut vraiment l'avoir suivi, pas à pas, depuis Modane; et c'est bien parce que ce terrain est devenu, en Italie, presque méconnaissable, que Gastaldi et, à sa suite, M. Zaccagna ne l'ont pas reconnu et l'ont rangé dans le Prépaléozoïque. Plus à l'Est encore, il semble qu'il y ait passage entre les gneiss permo-houillers et les calcschistes. Le métamorphisme a effacé toutes les limites; et les deux séries cristallophylliennes n'en font plus qu'une.

Ainsi, le Trias, qui est placé entre la série cristallophyllienne permo-houillère et la série cristallophyllienne mésozoïque, le Trias n'a pas échappé au métamorphisme. Il y a seulement résisté avec plus d'énergie que le Houiller et le Permien sous jacents, et que les schistes calcaires qui le surmontaient. Dans tous les étages

de cette zone alpine, depuis le Houiller jusqu'à l'Éocène, tous concordants d'ailleurs, le métamorphisme augmente quand on marche vers l'Est; mais le métamorphisme ne commence pas partout simultanément, et, dans les divers étages, il marche inégalement vite. C'est dans le Permien, et dans les schistes calcaires de la série mésozoïque, qu'il commence le plus tôt et qu'il marche le plus rapidement. Le Houiller résiste un peu plus; et c'est ainsi que l'on a exploité, à Laisonnay, au Nord de la Vanoise, de l'antrace, sous les micaschistes permien. Le Trias résiste plus encore que le Houiller, et on le voit, dans la Maurienne et dans la Tarentaise, garder son faciès briançonnais entre les gneiss permien et des calcschistes à sérinite; mais bientôt il cède à son tour. J'ai parlé de la difficulté de le reconnaître, ce Trias, dans les vallées italiennes. Qui donc le reconnaîtrait dans les Alpes Pennines, à Zermatt par exemple, s'il ne renfermait parfois des amas de gypse? Le gypse, lui, n'a pas été transformé; mais les grès inférieurs sont devenus des quartzites et des micaschistes à mica blanc, et les calcaires magnésien sont devenus des dolomies saccharoïdes, riches en minéraux variés.

Je n'ai pas besoin d'insister sur l'importance capitale de ce métamorphisme du Trias. Là où le Trias est transformé d'une façon intégrale, il n'y a plus de séparation entre la deuxième série cristallophyllienne et la troisième, puisque toutes les strates sont en concordance. Il existe donc, entre les deux dernières séries cristallophylliennes et la première, cette différence profonde, que celle-ci, la première, est certainement et incontestablement indépendante des deux autres, et qu'elle existait avant la chaîne des Alpes, dans le même état de métamorphisme où nous la voyons aujourd'hui; au lieu que la série permo-houillère et la série mésozoïque ont la même histoire, qui est l'histoire même de la chaîne des Alpes, et semblent devoir leur métamorphisme à une seule et même succession de phénomènes.

Tels sont les faits, Messieurs. Voyons maintenant à en dégager quelques enseignements.

Tout d'abord, s'il restait quelqu'un parmi vous qui eût encore des doutes sur l'origine sédimentaire des micaschistes et des gneiss, ou qui crût encore à l'ancienneté nécessaire des terrains méta-

morphiques, voici de quoi le convaincre. Même pour la série antéhouillère, l'origine sédimentaire n'est pas douteuse; et quant à l'âge des gneiss et des micaschistes, il varie suivant les régions de la terre, et voici une région privilégiée, où, dans l'espace de quelques jours, on peut voir des gneiss et des micaschistes de plusieurs âges différents.

En second lieu, l'étude des Alpes occidentales montre avec évidence que le *métamorphisme régional*, je veux dire la cristallisation générale, sur un immense espace, de toute une série sédimentaire, ne peut pas s'expliquer par les actions dynamiques, par le *dynamométamorphisme*.

J'ai été, Messieurs, séduit, au début de ma carrière de lithologiste, par le prestige de ce mot de *dynamométamorphisme*; j'ai voulu, comme tant d'autres, expliquer par les actions dynamiques, le développement des cristaux dans les sédiments. Mais je suis revenu de cette dangereuse erreur; et le dynamométamorphisme n'a pas maintenant d'adversaire plus acharné que moi.

Les actions dynamiques *déforment*; elles ne *transforment* point. Elles sont parfois capables de dénaturer l'aspect d'une roche, au point que, à l'œil nu, elle devienne méconnaissable. Mais l'examen microscopique permet toujours à un lithologiste exercé de reconnaître, dans la roche écrasée et laminée, des débris de la roche primitive. J'ai fait l'expérience cent fois, pour les roches de la région la plus troublée, la plus laminée, et la plus écrasée des Alpes françaises : et j'ai constaté, naturellement, que certaines de ces roches sont broyées, et que, dans les plans de friction, aux dépens des cristaux écrasés, du quartz et du mica blanc ont pris naissance. Mais l'aspect, au microscope, reste toujours celui d'une roche écrasée; et il y a toujours, çà et là, des débris intacts qui permettent de reconstituer l'ancien état de choses. Et même, la plupart du temps, quel qu'ait été le laminage, l'aspect extérieur des roches est à peine modifié, et il n'y a pas de métamorphisme appréciable. Le Houiller du Briançonnais, réduit en lames de quelques mètres d'épaisseur, et charrié par-dessus les terrains éogènes, n'est pas du tout métamorphique; la plupart des calcaires, dans ce pays d'écaillés superposées, ont gardé, inaltérés, tous leurs caractères; et, même dans les blocs de quartzites triasiques ou de grès permien que l'on voit s'égrener le long des

plans de charriage, il n'y a presque pas de minéraux secondaires.

D'autre part, il y a de vastes régions des Alpes qui semblent avoir joui d'une tranquillité relative, et n'avoir, en tout cas, subi ni plissement intense, ni écrasement, ni laminage. Telle est la partie méridionale de la chaîne de Belledonne; tel, encore, le massif du Grand-Paradis. Et cependant, le métamorphisme des terrains cristallophylliens y est aussi intense qu'ailleurs.

Enfin, et cette raison-là est décisive, les deux dernières séries cristallophylliennes étaient déjà cristallophylliennes, elles avaient subi tout leur métamorphisme, avant l'ère des grands plissements et des grands charriages. Il existe, en effet, dans le Flysch du Briançonnais — lequel correspond à la base de l'Oligocène ou au sommet de l'Éocène — des assises de conglomérats, dont les galets sont de micaschistes, de cornéennes, de roches vertes, ou de gneiss : et ces roches cristallines proviennent, *indubitablement*, non pas de la première série cristallophyllienne, mais bien de la troisième. Ce sont des roches cristallines de la formation des Schistes lustrés. Le métamorphisme des Schistes lustrés est donc antérieur au morcellement du géosynclinal alpin, morcellement précurseur des grands mouvements orogéniques. A cette époque et dans cette région des Alpes, tous les étages, à partir du Houiller, étaient encore à peu près horizontaux, sauf peut-être sur quelques points. Il ne pouvait donc y avoir eu, dans ces étages, de dynamométamorphisme. Et cependant, le métamorphisme régional était, non seulement commencé, mais achevé. Après cela le plissement est venu. Certains conglomérats éogènes à galets cristallins ont été charriés vers l'Ouest, pêle-mêle avec les micaschistes et les roches vertes qui leur avaient fourni la matière de leurs galets. On peut alors comparer, dans la même écaille, les galets restés intacts et les micaschistes laminés : et l'on constate que le laminage n'a rien ajouté aux gneiss, ni aux micaschistes.

Voilà, je le répète, une preuve décisive. Et comme la découverte de cet argument capital est le résultat des études de M. Kilian, tout autant, sinon plus, que le fruit de mes propres études, je m'en voudrais de ne pas citer ici le nom de cet infatigable travailleur. Aussi bien, on ne pourra jamais ne pas parler de lui, quand on traitera, de quelque façon que ce soit, des Alpes occidentales.

Ainsi donc, Messieurs, le métamorphisme régional n'est pas du dynamométamorphisme. Je sais qu'en faisant campagne contre le dynamométamorphisme, je combats à côté de M. Weinschenk; et je sais aussi que beaucoup d'autres lithologistes s'engageront volontiers dans notre croisade. Il est donc permis d'espérer que le dynamométamorphisme ne survivra pas au neuvième Congrès géologique. Alors même que notre réunion d'aujourd'hui n'aurait pas d'autre effet que le déracinement définitif de cette erreur, il faudrait applaudir à l'initiative de ceux qui ont inscrit, en tête de l'ordre du jour du Congrès, la question des schistes cristallins. Mais je ne me contenterais pas du déracinement de l'erreur, je voudrais aussi que l'on abolît le mot. Il faut réserver le nom de *métamorphisme* aux causes capables de *transformer* complètement une roche, capables de muer cette roche en une autre roche, tout aussi définie que la première et vraiment différente, et d'opérer cette transformation sur un vaste espace. Le métamorphisme granitique est vraiment un métamorphisme. La plupart des roches massives exercent autour d'elles un véritable métamorphisme. Le *métamorphisme régional* est le plus énergique et le plus intense de tous les métamorphismes. Mais le dynamométamorphisme n'existe pas.

Bien que le métamorphisme régional ne soit pas dû aux actions dynamiques, il n'en n'est pas moins lié aux phénomènes qui ont préparé les chaînes de montagnes; et c'est là le troisième enseignement que nous pouvons tirer de l'étude des schistes cristallins des Alpes occidentales. Quelle que soit la cause du métamorphisme régional, cette cause semble n'agir qu'au sein des géosynclinaux où s'élaborent les chaînes: elle semble ne transformer que les matériaux qui sont dans une condition géosynclinale; elle ne réalise la plénitude de ses effets que dans la région centrale de la grande fosse de sédimentation; et elle ne produit, sur les bords de cette fosse, qu'un métamorphisme inégal, lequel choisit entre les assises, transformant les unes et épargnant les autres. *Chaque chaîne a ses gneiss*, nous disait, en 1894, M. Marcel Bertrand. Je répète après lui: chaque chaîne à sa série cristallophyllienne. Et quelle est donc la série cristallophyllienne des Alpes? C'est, Messieurs, l'ensemble métamorphique formé par le Permian-Houiller, le Trias, et les Schistes lustrés. A la vérité cet ensemble

est discontinu en France, et, sur quelques points, en Italie, à cause de la présence de couches triasiques, qui, je ne sais pour quelles raisons, sont restées réfractaires au métamorphisme. Mais je vous ai dit que, quand on marche vers l'Est, on voit les couches triasiques en question céder peu à peu à la cause métamorphosante, jusqu'à ce qu'enfin, dans la partie basse des vallées piémontaises, il n'y ait plus qu'une seule série cristalline, parfaitement continue. Et c'est là, en effet, que devait être la région centrale du géosynclinal alpin, puisque, comme vous le savez, toute la moitié orientale des Alpes franco-italiennes nous manque. L'ensemble des deux séries, permo-houillère et mésozoïque, voilà la *série cristallo-phyllienne alpine*.

Quant à la série antéhouillère, elle existait avant les Alpes, et elle en est indépendante. C'est un témoin d'une ancienne chaîne, repris par le plissement alpin. Ses gneiss, ses micaschistes et ses granites existaient, et affleuraient, avant l'époque du Houiller supérieur. Quel est leur âge? Sont-ils dévoniens, comme l'indiquait, en 1894, M. Marcel Bertrand? Ne sont-ils pas plutôt contemporains du Culm, de la même façon que les plus jeunes des micaschistes alpins semblent être éocènes? L'avenir nous l'apprendra. Ce qu'il faut retenir, pour le moment, c'est que les chaînes successives empiètent les unes sur les autres. Les plis extérieurs de la chaîne alpine se sont propagés jusqu'à l'intérieur du géosynclinal précédent, et ont ramené à la surface des terrains métamorphiques qui s'étaient formés dans la région centrale, ou dans la région méridionale, de cette ancienne fosse. Un jour viendra, peut-être, où la moitié orientale des Alpes franco-italiennes, cette moitié qui nous manque parce qu'elle est effondrée, reparaitra dans les plis *extérieurs* d'une nouvelle chaîne. Les gneiss et micaschistes alpins, qui seront alors ramenés près de la surface, joueront, vis-à-vis de cette nouvelle chaîne, le même rôle que jouent, dans les Alpes, les terrains cristallins de Belle-donne, du Pelvoux et du Mont-Blanc.

Un quatrième enseignement me paraît découler de notre étude, c'est que le métamorphisme régional, quelle qu'en soit la cause, a agi de la même façon dans toutes les chaînes et à tous les âges. Il n'y a pas, en effet, dans les Alpes, de différence lithologique essentielle entre les terrains cristallins permo-houillers et les

terrains cristallins de la série antéhouillère. Et c'est pour cela qu'il nous a fallu, à M. Marcel Bertrand et à moi, tant d'années et tant d'efforts pour convaincre les lithologistes de l'âge permien ou houiller des premiers. J'ai, comme les autres, cherché des différences. J'ai voulu reconnaître, au microscope, un gneiss jeune d'un vieux gneiss. Et, comme les autres, je n'ai rien trouvé, que des caractères accessoires et empiriques, comme ceux qui, dans une même série cristallophyllienne, font distinguer les roches de deux localités différentes. La structure est la même. Je veux dire que tous les types de structure réalisés par l'une des séries se retrouvent dans l'autre. Et je mets au défi le pétrographe le plus habile de distinguer un micaschiste de la Vanoise, ou un gneiss du Val-Grisanche, d'avec des roches similaires provenant du Plateau central français ou de la chaîne de Belledonne. Il y a, il est vrai, le glaucophane, qui est fréquent dans la Vanoise, et qui manque, jusqu'ici, dans les terrains antéhouillers des Alpes. Mais cette différence ne sera pour personne une différence *essentielle*; et l'on sait d'ailleurs que le glaucophane se trouve dans d'autres terrains, par exemple à l'île de Groix, qui appartiennent à de très vieilles séries cristallophylliennes.

De même pour les Schistes lustrés. On les distingue aisément parce que ce sont des calcschistes, et qu'il n'y a pas de calcschistes dans les autres séries. Mais, là où, dans les Schistes lustrés, on trouve des micaschistes, des gneiss et des amphibolites, ces roches ne diffèrent point, ou ne diffèrent que par des caractères accessoires, des roches similaires des autres séries.

Lorsque la cause du métamorphisme régional a trouvé devant elle des sédiments de nature différente, elle a, naturellement, fait, avec ces matériaux divers, des roches différentes : mais elle-même n'a pas varié; elle a agi de la même façon dans les Alpes et dans la chaîne précédente; elle est la même dans toutes les régions de la planète, et dans tous les temps.

Il y a un cinquième enseignement que l'on peut tirer de la considération des terrains cristallins des Alpes occidentales : c'est que le métamorphisme régional n'a point pour cause l'intrusion et la mise en place des roches massives. Ce point a une importance capitale, et je serais très heureux, Messieurs, si, après m'avoir écouté, vous en jugiez de la même façon que moi.

Tout d'abord, il faut bien s'entendre. Je sais, comme tout le monde, que les roches massives peuvent exercer, autour d'elles, sur des sédiments qui ne sont pas encore métamorphiques, un métamorphisme intense. J'ai dans l'esprit les beaux travaux de MM. Michel Lévy, Barrois et Lacroix, sur cette matière, et j'admets qu'un sédiment argileux, au voisinage du granite, par exemple, peut devenir un micaschiste, ou même un gneiss. Cela n'est plus en discussion.

Ce que je prétends, c'est que le métamorphisme régional est autre chose que ce métamorphisme, toujours local et limité, qui tient au voisinage d'une roche massive.

Dans les montagnes du Pelvoux, par exemple, la mise en place du granite n'a souvent presque rien ajouté au métamorphisme des strates encaissantes, lesquelles étaient déjà cristallines avant cette mise en place. Les gneiss, qui étaient gneiss avant l'arrivée du granite, sont restés complètement indifférents. Les micaschistes, qui étaient déjà des micaschistes, sont demeurés à cet état, ou n'ont été transformés en gneiss que localement, et sur une faible épaisseur. La venue du granite n'a été qu'un épisode du métamorphisme régional, et cet épisode semble avoir été le dernier de tous.

Dans la série permo-houillère, j'ai dit que l'on pouvait traverser des milliers de mètres d'assises cristallines, dont beaucoup sont feldspathiques, sans rencontrer un seul amas, ni même un seul filon, de roche massive. Les amas que l'on connaît, en Italie, dans les gneiss permo-houillers, ne semblent pas avoir exercé autour d'eux d'action bien sensible. Là encore, la mise en place des amas n'a été qu'un épisode accessoire, dans le grand phénomène de cristallisation.

Quant aux Schistes lustrés, ils paraissent, bien souvent, indifférents aux roches vertes qui s'y sont introduites : et il y a d'immenses régions, où, dépourvus de toute intrusion de roches vertes, ils ont la même cristallinité qu'ailleurs.

Par contre, on peut observer entre certaines particularités, je dirais volontiers certains renforcements, du métamorphisme régional, et les amas de roches massives, des relations de voisinage, qui ne sont évidemment pas l'effet du hasard. Dans la série antéhouillère, les *gneiss basiques* et les amphibolites forment

auréole aux amas de gabbros, ou, tout au moins, sont, autour de ces amas, plus fréquents et plus développés qu'ailleurs. Et, de même, dans les Schistes lustrés, c'est, sinon autour, du moins au voisinage des intrusions de gabbros ou de péridotites que l'on trouve, le plus communément, les amphibolites, les pyroxénites, les chloritoschistes et les gneiss.

En résumé, la montée des roches massives n'a pas fait le métamorphisme régional; elle n'en a été qu'un épisode. La cristallinité générale des assises et la mise en place des amas semblent liées entre elles, non pas comme un effet à sa cause, mais comme deux effets de la même cause. S'il y a des gneiss dans le Mont-Blanc, et des micaschistes, ce n'est point *parce que* le granite est venu s'installer au milieu de ces strates : mais le granite est venu se former au milieu de ces strates sous l'empire de la même cause qui, de ces strates sédimentaires, faisait des assises cristallines. On comprend ainsi — ce qui, sans cela, serait incompréhensible — que les amas de roches massives des Alpes, tantôt semblent avoir agi, et tantôt semblent être restés sans action, sur les couches encaissantes. Ils sont restés inertes, toutes les fois que les terrains encaissants étaient déjà saturés des fluides que ces amas pouvaient émettre. Ils ont ajouté quelque chose au métamorphisme ambiant, toutes les fois que les terrains encaissants n'avaient pas atteint la saturation.

Enfin, Messieurs, je tirerai un sixième enseignement de cette revue rapide des schistes cristallins de nos Alpes. C'est que la cause, quelle qu'elle soit, du métamorphisme régional, s'est étendue, dans le sens horizontal, à des distances de l'axe du géosynclinal qui sont très variables suivant les étages. Dans les divers terrains, tous concordants et encore sensiblement horizontaux, qui étaient soumis à son action, le métamorphisme régional a fait *tache d'huile* : mais la tache d'huile s'est étalée très différemment aux divers niveaux. Je crains bien que ce fait ne soit, de tous, un des plus difficiles à expliquer. Mais c'est un fait. Des assises houillères, dans les Alpes, sont restées intactes ou presque intactes, tandis que les assises permienes, au-dessus d'elles, devenaient des micaschistes; et des calcaires du Trias demeureraient inaltérés, tandis que les couches qui leur servaient de mur, et celles qui leur servaient de toit, se transformaient d'une

façon complète. Ne regrettons pas trop cette énigme, car c'est elle qui nous a permis d'établir l'âge permien des gneiss de la Vanoise, et l'âge mésozoïque des Schistes lustrés.

Et maintenant, Messieurs, je pourrais conclure en essayant d'édifier une hypothèse qui rendît compte de tous ces faits, une hypothèse sur la cause du métamorphisme régional. J'ai fait cet essai, déjà, et je me suis heurté à tant de mystère, que je préfère ne pas vous redire ce que j'ai dit ailleurs et qui est vague comme un rêve. Il est évident, puisque la condition géosynclinal semble nécessaire, que l'enfouissement des assises à une grande profondeur est l'un des éléments du métamorphisme régional. Mais il faut autre chose : il faut un apport, puisque aucun terrain sédimentaire ne contient, ni autant d'alcalis, ni autant de magnésie, qu'un terrain cristallophyllien. Cet apport, je le demande à des *colonnes filtrantes* venues d'en bas, et qui montent, comme d'une chaudière, du fond de la région centrale du géosynclinal.

L'étude des schistes cristallins des Alpes ne résout pas le problème, tant s'en faut; mais du moins elle le pose avec une précision singulière. Si nous mesurons du regard le chemin parcouru depuis quinze ans — depuis le Congrès de Londres — dans la connaissance des terrains métamorphiques; si nous songeons qu'aujourd'hui nous en sommes venus, en présence d'un massif de gneiss, ou en présence d'un granite que l'on aurait jadis appelé *fondamental*, à nous demander l'âge de ce gneiss et de ce granite, et à essayer de rattacher ces roches à un géosynclinal connu, à une chaîne de montagnes déterminée : nous pouvons avoir confiance dans l'avenir. Nos successeurs sauront sans doute ce que nous ne savons pas encore, et ce que, peut-être, nous ne saurons pas nous-mêmes : comment s'est formé le gneiss, et comment le granite. A chaque jour suffit sa peine.