
RÉSULTATS DE L'ÉTUDE PÉTROGRAPHIQUE ET ZONÉOGRAPHIQUE DES SCHISTES CRISTALLINS

DES MASSIFS DU GRAND PARADIS ET DE SESIA-LANZO
(Alpes franco-italiennes)

par Robert MICHEL

La présente note a pour but de résumer, aussi brièvement que possible et sans entrer dans le détail des descriptions pétrographiques, les résultats des recherches que j'ai poursuivies depuis 1947 dans la région du massif du Grand Paradis et dans la partie du massif de Sesia-Lanzo qui lui fait suite vers l'Est¹.

Vue dans son ensemble (fig. 1), cette région s'étend, à cheval sur la frontière franco-italienne, sur un peu plus de 2.500 km², occupant la partie centro-orientale des Alpes Graies. Elle se situe principalement en territoire italien, entre le Val de Suse et le Val d'Aoste, ne pénétrant en France que dans la haute vallée de l'Arc, au Sud du Col de l'Iseran.

Au point de vue géologique, cette région appartient à la zone interne des Alpes occidentales et, plus précisément, à sa moitié orientale ou zone du Piémont, entièrement constituée de schistes cristallins. On y rencontre successivement d'Ouest en Est deux massifs cristallins internes : le massif du Grand Paradis et l'extré-

¹ Pour plus de détail, on consultera : R. MICHEL, Les schistes cristallins des massifs du Grand Paradis et de Sesia-Lanzo (Alpes franco-italiennes) (*Thèse Sc., Clermont, 1953*).

mité Sud du massif de Sesia-Lanzo. Ces deux unités sont surmontées par une série cristallophyllienne principalement mésozoïque connue des géologues sous le nom de série des Schistes lustrés.

Si on en croit la théorie classique des nappes qui règne sur la géologie alpine depuis le début de ce siècle, les rapports tectoniques qui existent entre ces diverses unités géologiques ne laissent pas d'être très complexes. En effet, depuis les travaux de M. LUGEON et E. ARGAND², qui ont étendu dès 1905 à toute la zone du Piémont la structure en nappes empilées avec racines internes, mise en évidence par eux dans le massif simplon-tessinois, la région étudiée est considérée comme pays de nappes et de racines. Si on considère une coupe géologique de la Haute-Maurienne et du Piémont, établie d'après cette interprétation tectonique³, on constate que le massif du Grand Paradis s'enracine sur son bord oriental et déferle en pli-couché vers l'Ouest en formant le « noyau cristallin » de la nappe du Mont-Rose (nappe V d'Argand), dont les Schistes lustrés constituent la « carapace ». Cette dernière s'enracine à son tour entre le massif du Grand Paradis et le massif de Sesia-Lanzo. C'est de ce dernier que proviendrait la plus haute des nappes penniques ou nappe de la Dent-Blanche (nappe VI d'Argand), représentée en Haute-Maurienne et en Piémont par des lames anticlinales de gneiss incluses tectoniquement dans les Schistes lustrés. Enfin, la zone radicale de la nappe du Grand Saint-Bernard (nappe IV d'Argand) et celle des nappes penniques inférieures ou nappes simploniques (nappes I, II et III d'Argand), bien que n'affleurant nulle part dans la région, sont représentées en profondeur à l'aplomb du massif du Grand Paradis.

Il est assez curieux de constater que ces grands raccords tectoniques, dus au génie visionnaire d'E. ARGAND et sur lesquels la géologie alpine a vécu, ou plutôt dormi suivant l'expression de M. GIGNOUX⁴, pendant un demi-siècle, ont été établis exclusivement sur la géométrie des formes et non sur la base d'observations pétrographiques.

Il faut donc laisser de côté ces géométrisations en profondeur

² M. LUGEON et E. ARGAND, Sur les grandes nappes de recouvrement de la zone du Piémont (*C.R.A.S.*, 1905, t. 140, p. 1364).

Id., Sur les homologies dans les nappes de recouvrement de la zone du Piémont (*Ibid.*, p. 1491).

³ Voir par exemple : M. GIGNOUX et L. MORET, Un itinéraire géologique à travers les Alpes françaises de Voreppe à Grenoble et en Maurienne (*T.L.G.*, 1931, t. 15, fasc. 3, planche II, fig. 1).

⁴ M. GIGNOUX, Discontinuités dans le Houiller et le Permien des Alpes françaises (*C.R.S.S.G.F.*, 1951, p. 89).

I. — LES GRANDS ENSEMBLES GÉOLOGIQUES

L'étude de la grande coupe transversale fournie par les vallées de l'Arc et de l'Orco, sur une longueur de 60 kilomètres environ, permet de définir les grands ensembles géologiques de la région. Cette coupe (fig. 2), qui se dirige, en suivant le cours de l'Arc, du Sud-Ouest au Nord-Est jusqu'aux Levanna, puis en gros d'Ouest en Est en suivant le cours de l'Orco, peut donc servir de fil directeur dans une étude rapide des deux séries que comporte le complexe cristallophyllien des Alpes Graies : la série cristallophyllienne des massifs du Grand Paradis et de Sesia-Lanzo d'une part, et la série cristallophyllienne des Schistes lustrés d'autre part.

A) Série cristallophyllienne Grand Paradis — Sesia-Lanzo.

1° Groupe des Scalari.

Grâce à la disposition en coupole périantclinale qu'affecte le massif du Grand Paradis et grâce à la situation privilégiée de la

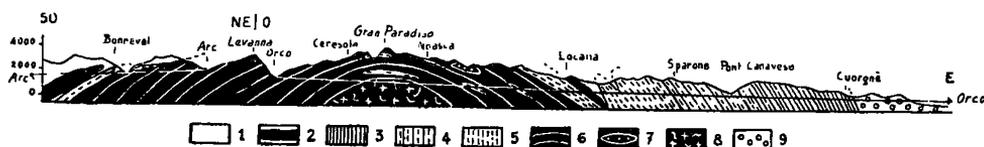


Fig. 2. — Coupe géologique le long des vallées de l'Arc et de l'Orco.
(Longueur de la coupe : 60 km. environ.)

Série des Schistes lustrés :	}	1 Trias, calcschistes, prusinites, gneiss du Charbonnel.
		2 Roches vertes.
Série Grand Paradis — Sesia-Lanzo :	}	3 Micaschistes à glaucophane de Cuorgnè.
		4 Gneiss albitiques de Pont-Canavese.
		5 Gneiss albitiques de Pessinetto.
		6 Embréchites ocellées du Grand Paradis.
		7 Granite d'anatexie locale.
		8 Granite d'anatexie fondamentale des Scalari.
		9 Zone du Canavese.

vallée de l'Orco qui entaille cette coupole suivant un diamètre, on peut voir affleurer dans les Scalari, entre Ceresole et Noasca, les formations les plus profondes de la série du Grand Paradis. Il s'agit principalement d'un granite à gros grain, parfois légèrement orienté, parfois à texture vaguement nébulitique, qui passe progressivement aux migmatites qui le surmontent de toutes parts. Ses caractères structuraux et minéralogiques, son mode de gisement au cœur même de la coupole anticlinale, permettent de l'in-

interpréter comme un *granite d'anatexie fondamentale*. Il forme le faciès dominant du groupe cristallophyllien des Sculari.

2° Groupe du Grand Paradis.

Au-dessus de ce granite vient le groupe des migmatites du Grand Paradis dont l'épaisseur est de l'ordre de 2.000 mètres et qui affleure très largement entre Bonneval et Ceresole, et entre Noasca et Fornello.

Le faciès dominant dans ce groupe cristallophyllien est celui d'*embréchites œillées* à porphyroblastes de microcline sodique plus ou moins étirés suivant la schistosité cristallophyllienne.

A la périphérie du massif, ces *embréchites œillées* passent fréquemment mais non constamment à des *embréchites rubannées* à



Fig. 3. — Coupe géologique le long de la rive droite de la vallée de la Chiusella. (Longueur de la coupe : 23 km. environ.)

Même légende que pour la figure 2. Noter la lentille d'*embréchites œillées* du Monte Marzo, en gisement stratoïde dans les gneiss de Pessinetto.

microcline. Par ailleurs, elles renferment de nombreux septa de *gneiss albitiques à deux micas* et plus rarement de *micaschistes à deux micas* ; tels sont, le long de l'Orco, les septa du vallon du Roc, qui renferme une énorme bande de para-amphibolites, et ceux de Grusiner et de Fornolosa. On rencontre enfin, dans le groupe des migmatites, des granites porphyroïdes qui, en raison de leur gisement lenticulaire stratoïde au sein des *embréchites*, doivent être considérés comme des *granites d'anatexie locale* : tel est le gisement de la haute vallée du Piantonetto, affluent de l'Orco.

L'étude pétrographique du groupe du Grand Paradis montre que tous ses faciès constitutants ont été rétomorphosés, c'est-à-dire qu'ils ont subi, postérieurement au métamorphisme ancien qui les avait engendrés, un second métamorphisme moins intense. Cette étude montre de plus que les migmatites du Grand Paradis ont été plus ou moins albitisées et que cette albitisation est indiscutablement en liaison avec la seconde phase de métamorphisme. Par contre, les faciès du groupe du granite d'anatexie des Sculari ont été pratiquement préservés de ces transformations diverses.

3° Groupe de Sparone.

Au-dessus des migmatites, on passe de toutes parts et de façon progressive à des gneiss à grain fin, appelés par les géologues italiens « gneiss minuti » et que j'ai englobés dans le groupe des gneiss minuti de Sparone. Le faciès dominant, qui donne son unité à ce groupe cristallophyllien, est celui de gneiss finement lités, très riches en petits phénoblastes d'albite pure.

Les faciès accessoires sont nombreux ; je mentionnerai seulement les plus intéressants. On rencontre d'une part, en général tout à fait à la base du groupe de Sparone, des gneiss albitiques à rares porphyroblastes de microcline qui forment une transition entre les embréchites sous-jacentes et les gneiss minuti typiques ; ils sont particulièrement bien développés dans la région de Bonneval où j'ai décrit le type du faciès sous le nom de *gneiss minuti de Bonneval*. D'autre part on trouve dans les gneiss minuti de Sparone des lentilles isolées d'*embréchites œillées* à microcline en gisement stratoïde ; de telles roches sont inconnues dans la vallée de l'Orco et, pour les étudier, il faut se transporter dans la haute vallée de la Chiusella (Massif du Monte Marzo) ou dans les vallées de Cogne. Enfin, l'albitisation intensive des gneiss minuti de Sparone conduit localement au faciès d'*embréchites albitiques œillées* qui sont bien développées, le long de l'Orco, à Fornello où j'ai décrit le type du faciès, ainsi que dans les basses vallées de Cogne et, le long de la Doire Baltée, dans la région de Bard.

Les gneiss minuti de Sparone forment une ceinture à peu près continue autour du massif migmatique du Grand Paradis ; mais alors que leur épaisseur est tectoniquement réduite à 2 ou 300 mètres d'épaisseur sur le versant français, par exemple dans la région de Bonneval, ces gneiss minuti prennent un développement considérable sur le versant italien où ils constituent, outre l'auréole du massif du Grand Paradis, la majeure partie du massif de Sesia-Lanzo.

L'étude pétrographique du groupe de Sparone permet tout d'abord de distinguer deux niveaux superposés : le niveau de Pessinetto qui surmonte directement les migmatites et dont le faciès dominant est celui de *gneiss albitiques à deux micas* (biotite plus ou moins rétrotransformée) et le niveau de Pont-Canavese, principalement représenté par des *gneiss albitiques à phengite et chlorite*. D'un autre côté, l'étude pétrographique permet de mettre en évidence que tous ces gneiss ont subi eux aussi deux métamorphismes successifs, la dernière phase ayant été accompagnée d'une intense albitisation. Si on fait abstraction de ces transformations récentes, on est conduit à admettre que les gneiss de Sparone

étaient, à l'issue de la phase métamorphique ancienne, des micaschistes phylliteux comportant à la base des micaschistes à deux micas, analogues à ceux qu'on rencontre en septa dans les migmatites du Grand Paradis, et au sommet des micaschistes à chlorite et muscovite.

4° Groupe de Cuornè.

Au-dessus du groupe de Sparone se situe l'horizon le plus élevé de la série : le groupe de Cuornè. Il est principalement représenté par des micaschistes à phengite et glaucophane entrelardés de glaucophanites. Ces roches affleurent largement, le long de l'Orco, entre Pont-Canavese et Cuornè.

L'étude pétrographique montre que ces faciès sont, comme les précédents, polymétamorphiques, et que leur richesse en glaucophane est due à un apport métagénétique de soude qui s'est électivement fixé sur d'anciennes amphiboles. On doit donc admettre qu'à l'issue de la phase métamorphique ancienne, ce groupe était constitué par des alternances de micaschistes à amphibole et de para-amphibolites.

Il est intéressant de noter que, le long de l'Orco, les rapports du groupe de Cuornè et du groupe sous-jacent de Sparone sont très simples, car on passe en toute continuité des gneiss albitiques de Pont-Canavese aux micaschistes à glaucophane. Il en va autrement le long de la Chiusella où diverses observations permettent de penser que les gneiss albitiques de Pont-Canavese réapparaissent en anticlinal au sein des micaschistes à glaucophane de Cuornè dans le massif de Chiara, et probablement de façon plus complexe que ne l'indique la coupe schématique de la figure 3.

Quelques faits importants doivent être soulignés à l'issue de cette étude rapide de la série cristallophyllienne des massifs du Grand Paradis et de Sesia-Lanzo.

1° Le passage continu qui existe entre les quatre groupes cristallophylliens constituant cette série, l'identité des faciès des gneiss albitiques formant l'auréole périphérique du massif du Grand Paradis et la partie occidentale du massif de Sesia-Lanzo, faciès que l'on peut ranger uniformément dans le niveau de Pessinetto du groupe de Sparone, montrent qu'on a affaire à une série continue et non à deux séries distinctes comme on l'admettait jusqu'à présent d'après les grandes synthèses tectoniques suisses. Les groupes de Sparone et de Cuornè constituent la couverture normale d'ectinites du massif migmatitique du Grand Paradis. On peut donc parler désormais d'une série cristallophyllienne Grand

Paradis - Sesia-Lanzo appartenant à une même unité géologique qui ne doit pas être subdivisée artificiellement en deux « noyaux cristallins » de nappes superposées.

2° L'étude pétrographique montre que la série cristallophyl-
lienne Grand Paradis - Sesia-Lanzo est, dans son ensemble, poly-
métamorphique : elle a subi deux métamorphismes successifs dont
le plus récent a été le moins intense.

3° En faisant abstraction du métamorphisme récent et des
phénomènes métagénétiques qui l'ont accompagné, on peut préci-
ser non seulement la zonéographie⁶ ancienne de la série, mais
encore sa stratigraphie originelle.

a) La zonéographie ancienne s'établissait ainsi, de haut en bas :

<u>Zones de métamorphisme</u>	<u>Faciès pétrographiques dominants</u>
Z. des Micaschistes supérieurs	} Micaschistes à actinote, amphi- bolites Micaschistes à chlorite et musco- vite
Z. des Micaschistes inférieurs	
Z. des Migmatites	Embréchites œillées
Z. des Granites d'Anatexie	Granite des Scalari

On en conclut immédiatement que le front de migmatisation
calco-sodi-potassique s'est élevé dans la région jusqu'au sein de la
zone des Micaschistes inférieurs.

b) Au point de vue de la stratigraphie de la série originelle,
l'étude pétrochimique de la couverture d'ectinites et celle des septa
contenus dans les embréchites, montre qu'il s'agissait d'une série
en quasi-totalité sédimentaire. Elle comportait principalement une
puissante accumulation de schistes argileux surmontés au sommet
par des grès argilo-dolomitiques alternant avec des marnes dolo-
mitiques. Il est donc faux de considérer, comme on l'a fait jusqu'à
présent, les « gneiss œillés du Grand Paradis » comme des ortho-
gneiss résultant du métamorphisme d'intrusions granitiques d'âge
hercynien ou alpin suivant les auteurs. Il s'agit simplement de
schistes argileux atteints, au cours d'un métamorphisme général
ancien, par la migmatisation calco-sodi-potassique.

⁶ Voir : J. JUNG et M. ROQUES, Introduction à l'étude zonéographique des
formations cristallophyl-
liennes (*Bull. Serv. Carte Géol. France*, 1952, n° 235).

B) Série cristallophyllienne des Schistes lustrés.

Au-dessus de la série cristallophyllienne Grand Paradis - Sesia-Lanzo, se situe, en discordance, une série cristallophyllienne très différente, la série des Schistes lustrés.

Tous les faciès de cette série apparaissent en effet à l'étude pétrographique comme monométamorphiques et ils se rangent uniformément, dans la région étudiée, dans la zone de métamorphisme des Micaschistes supérieurs. D'ailleurs la base de cette série est triasique et on s'accorde aujourd'hui à penser qu'au-dessus de la Jurassique, le Crétacé et peut-être même l'Eocène sont représentés ; de par son âge, la série des Schistes lustrés n'a pu subir qu'un seul métamorphisme : le métamorphisme d'âge alpin.

1° Trias.

La série des Schistes lustrés comporte à la base un horizon triasique où on reconnaît, malgré les minéraux de néoformation développés par le métamorphisme, les trois termes du Trias briançonnais : quartzites, cargneules, calcaires dolomitiques. Cependant ces trois faciès, qui atteignent au total plusieurs centaines de mètres de puissance à l'Ouest, dans la zone briançonnaise, ont leur puissance réduite à quelques dizaines de mètres (quand ils ne sont pas complètement laminés par les actions tectoniques) dans la région occidentale du massif du Grand Paradis. Plus à l'Est, l'horizon de base, successivement représenté par les cargneules puis par les calcaires dolomitiques, devient localement conglomératique et comporte des galets de gneiss minuti de la série cristallophyllienne Grand Paradis - Sesia-Lanzo (Valsavaranche, Cogne). Enfin, plus à l'Est encore, sur tout le pourtour oriental du massif du Grand Paradis, le Trias est inexistant.

Ces observations conduisent à admettre que ce Trias s'est déposé en transgression sur un socle cristallophyllien plus ancien et plus ou moins érodé.

2° Complexe des Schistes lustrés.

Au-dessus de ce Trias, à l'Ouest, et directement sur la série cristallophyllienne ancienne, à l'Est, s'étagent plusieurs milliers de mètres de schistes cristallins dont l'ensemble forme le complexe des Schistes lustrés. On peut y distinguer des faciès albitiques, des faciès normaux et les roches vertes.

a) *Faciès albitiques.*

La moitié inférieure du complexe des Schistes lustrés est représentée par des prasinites et par des gneiss albitiques.

Les *prasinites*, qu'on rencontre sur le pourtour du Grand Paradis et surtout vers le Sud dans l'ensellement du Val de Suse, sont des gneiss amphiboliques ou chloriteux, riches en petits phénoblastes globuleux d'albite pure d'origine métasomatique et pauvres en quartz. L'étude pétrographique et pétrochimique montre que ces faciès dérivent de l'ectinisation et de l'albitisation d'argiles, de marnes et de schistes argileux, et non, comme on l'admettait jusqu'à présent, de roches éruptives basiques.

Ces roches passent, par intrication des faciès, à des *gneiss albitiques à phengite* dont j'ai défini le type dans le massif du Charbonnel (gneiss du Charbonnel). Ce sont des gneiss riches en quartz et en phénoblastes d'albite métasomatique, mais dépourvus d'amphiboles et pauvres en chlorite. On peut démontrer qu'ils dérivent de l'ectinisation et de l'albitisation de schistes gréseux argilo-calcaires.

b) *Faciès normaux.*

Au-dessus de cette moitié inférieure, essentiellement caractérisée par sa richesse en albite d'origine métasomatique, s'empile une épaisse série de *calcschistes*, qui sont les véritables Schistes lustrés et qui passent localement à des *amphiboloschistes* ou à des *chloritoschistes*. Ces faciès sont respectivement les équivalents, non albitisés, des gneiss du Charbonnel et des prasinites; ils dérivent donc des mêmes faciès sédimentaires.

Localement, à la base de cette moitié supérieure du complexe des Schistes lustrés, on note l'albitisation, accompagnée de décalcification, de certains niveaux de *calcschistes*⁷, déterminant des lentilles plus ou moins puissantes de gneiss albitiques du Charbonnel. Jusqu'à présent on croyait que ces lentilles de gneiss représentaient des copeaux arrachés tectoniquement au vieux socle cristallophylien et on les rapportait à la nappe de la Dent-Blanche (F. HERMANN, E. RAGUIN, G. B. DAL PIAZ) : en réalité, ces gneiss, qui passent progressivement aux *calcschistes* encaissants, sont très différents, puisque monométamorphiques, des gneiss du socle, polymétamorphiques. L'étude pétrographique conduit donc à la suppression pure et simple de la nappe de la Dent-Blanche dans cette région du domaine pennique.

⁷ R. MICHEL, *Micaschistes albitisés dans les Schistes lustrés de la Haute-Maurienne (C.R.A.S., 1949, t. 228, p. 1875).*

c) *Roches vertes.*

Enfin, le complexe des Schistes lustrés renferme, comme d'ailleurs le vieux socle polymétamorphique sous-jacent⁸, des masses plus ou moins importantes de roches basiques (gabbros, etc.) ou ultrabasiques (péridotites, pyroxénites). Ces roches ont été transformées par le métamorphisme alpin respectivement en paragabbros⁹ et en serpentinites, ces dernières étant de loin les plus fréquentes dans la région. L'ensemble forme le groupe des Roches vertes où on avait coutume jusqu'à présent d'inclure les prasinites, considérées à tort comme des roches ortho. Leur origine para étant démontrée, il convient de restreindre le terme de « roches vertes » aux serpentinites, paragabbros, diabases, etc... dont l'origine éruptive ne fait aucun doute.

En résumé, la série des Schistes lustrés dérive d'une série sédimentaire à faciès géosynclinal, atteinte dans son ensemble par le métamorphisme d'âge alpin. Cette série a été en outre intensément albitisée dans toute sa moitié inférieure.

**C) Rapports entre la série des Schistes lustrés
et la série cristallophyltienne Grand Paradis — Sesia-Lanzo.**

Les relations qui existent entre les deux séries cristallophyltiennes sont simples à l'Ouest, où la série des Schistes lustrés forme une nappe d'écoulement caractéristique avec reflux partiel de certaines digitations vers le môle migmatitique du Grand Paradis.

A l'Est, au contraire, les rapports entre nos deux séries sont relativement plus complexes. Jusqu'à présent on considérait la bande de Schistes lustrés de Locana comme une cicatrice radicale extrêmement profonde, rebroussée vers l'Ouest en profondeur et séparant la nappe du Mont-Rose de la nappe de la Dent-Blanche : il s'agissait, dans les grandes synthèses tectoniques suisses, du synclinal des racines de la nappe des Schistes lustrés. En réalité, l'étude des coupes de l'Orco et du Ribordone, en particulier, montre qu'il s'agit d'une bande synclinale très superficielle, en aucun cas rebroussée vers l'Ouest, et constituée par la juxtaposition d'écaillés incluses dans les gneiss minuti du niveau de Pessinetto. Cette allure est confirmée par la réapparition de ces gneiss en anticlinal au

⁸ Par exemple, le « batholite » de péridotite à diallage de Lanzo, dont l'âge mésozoïque ne fait pas de doute, s'est mis en place dans les gneiss albitiques de Pessinetto.

⁹ Au sens d'A. LACROIX (C.R.A.S., 1920, t. 170, p. 685).

sein des calcschistes de Locana (fig. 2). De plus, de nombreuses et importantes écailles de Schistes lustrés gisent isolément et dans des conditions analogues plus à l'Est de la bande de Locana (fig. 2), témoignant ainsi d'une extension autrefois plus importante vers l'Est de la série des Schistes lustrés.

Ces diverses constatations conduisent à réviser les conceptions actuelles et à admettre que la série sédimentaire mésozoïque (et tertiaire ?) a formé autrefois une couverture continue au-dessus de l'ancienne série cristallophyllienne Grand Paradis - Sesia-Lanzo. Cette couverture, décollée de son socle lors de la phase paroxysmale des plissements alpins, s'est écoulée non seulement vers l'Ouest mais, très probablement aussi, vers l'Est. Dans cette direction, seules ses parties les plus profondes, pincées dans les gneiss du socle lors d'une phase tardive de serrage tangentiel et ainsi préservées de l'érosion, sont visibles aujourd'hui.

II. — HISTOIRE GEOLOGIQUE DE LA REGION

Il est particulièrement intéressant de chercher tout d'abord à préciser l'âge des métamorphismes successifs qui ont affecté le complexe des Alpes Graies et, par suite, l'âge des matériels métamorphisés.

En ce qui concerne la série des Schistes lustrés, on peut noter que la métasomatose sodique qui a envahi la moitié inférieure de cette série est indiscutablement post-tectonique, l'albite et la glaucophane secondaires étant indemnes de toutes traces de déformation mécanique. Comme cette métasomatose sodique est nettement liée, au moins à ses débuts, à l'ectinisation, on est obligé d'admettre que le métamorphisme alpin a été très tardif et qu'il s'est achevé après la mise en place et l'écoulement de la nappe des Schistes lustrés. Dans la région toute voisine de la Vanoise, diverses considérations ont permis à F. ELLENBERGER¹⁰ de préciser que le métamorphisme alpin a débuté au plus tôt à l'Eocène supérieur et qu'il était achevé au Stampien. La convergence de nos résultats est donc remarquable.

En ce qui concerne la série Grand Paradis - Sesia-Lanzo, il y a lieu de noter tout d'abord que le métamorphisme récent qui l'a affectée ne peut être autre que le métamorphisme alpin. Les caractères identiques de la métasomatose dans les deux séries cristal-

¹⁰ F. ELLENBERGER, Sur l'âge du métamorphisme dans la Vanoise (C.R.S.S. G.F., 1952, p. 318).

lophylliennes, l'absence de toute trace de cataclase dans les minéraux formés par les processus métasomatiques, le fait que la série ancienne ait été rétromorphosée dans la zone de métamorphisme des Micaschistes supérieurs, c'est-à-dire dans la même zone de métamorphisme que les Schistes lustrés, en sont des preuves certaines. En toute rigueur, les gneiss des massifs du Grand Paradis et de Sesia-Lanzo, tels que nous pouvons les considérer aujourd'hui, sont donc des schistes cristallins d'âge alpin.

Cependant cette série, bien que reprise dans son ensemble par le métamorphisme tertiaire, montre dans les textures, les structures et même dans les paragenèses minérales de tous ses faciès, des traces indiscutables d'un métamorphisme plus ancien.

Stratigraphiquement, la limite supérieure de l'âge de ce métamorphisme ancien est indiquée par le Trias de base des Schistes lustrés : notre série ancienne est antétriasique. On sait qu'en s'appuyant sur cette constatation d'une part, et d'autre part sur le prétendu passage latéral du Permo-houiller briançonnais non métamorphique aux gneiss du Grand Paradis, passage imaginé dès 1808 par BROCHANT DE VILLIERS et surtout mis à la mode par M. BERTRAND et P. TERMIER, on a admis pendant longtemps, et on admet encore aujourd'hui, que la série cristallophyllienne ancienne est d'âge permo-houiller au moins pour sa partie supérieure.

Or, il se trouve que tous les faciès du Permo-houiller rigoureusement daté de la zone interne des Alpes occidentales ne portent l'empreinte que du seul métamorphisme d'âge alpin. On en déduit immédiatement que les formations rétromorphosées ou polymétamorphiques sous-jacentes à la série des Schistes lustrés sont d'âge antéhouiller. Il faut avouer que c'est là le seul argument qu'apporte cette étude pétrographique et zonéographique; mais, bien que ne fixant qu'une limite supérieure, il est important. En outre, le Houiller de la zone interne alpine étant au plus d'âge namurien¹¹, on peut penser que le métamorphisme ancien qui a affecté, avant le métamorphisme tertiaire, la série Grand Paradis - Sesia-Lanzo est d'âge anténamurien et très vraisemblablement en liaison avec l'orogénèse hercynienne.

Plusieurs résultats importants au point de vue de l'histoire géologique de la région, et très probablement de toute la zone pennique, découlent logiquement de cette conclusion.

Il faut tout d'abord renoncer définitivement à la classique notion du « manteau continu » de Permo-Houiller, à faciès géo-

¹¹ R. FEYS, Le Carbonifère sur la rive droite de la Guisané (*B.S.G.F.*, 1952 (6), t. 2, p. 197).

synclinal dans la zone alpine interne, et à la fameuse « série compréhensive » chère à E. ARGAND et à P. TERMIER, série qui aurait englobé de façon continue tous les schistes cristallins de la zone du Piémont depuis un Antéhouiller indéterminé jusqu'au Tertiaire ancien.

En conséquence, il faut revenir à l'idée déjà exprimée par H. P. CORNELIUS¹² et accueillie avec beaucoup de réticence par les géologues alpins, à l'exception de G. B. DAL PIAZ¹³, à savoir que la grande fosse alpine ou géosynclinal piémontais n'a commencé à s'individualiser qu'à partir du Trias et qu'elle n'est pas un reliquat de l'orogénèse hercynienne.

Enfin, contrairement à ce que pensait P. TERMIER¹⁴, il n'y a pas dans les Alpes occidentales trois séries cristallophylliennes différentes : la série antéhouillère, celle des massifs cristallins externes, la série permo-houillère, celle des massifs cristallins internes, et la série alpine, celle des Schistes lustrés. Les Alpes occidentales ne comportent que deux séries cristallophylliennes : la série anténarmurienne qui est celle des massifs cristallins externes et internes, et la série alpine des Schistes lustrés.

Pour clore ces conclusions relatives à l'histoire géologique de la région étudiée, je rappellerai brièvement qu'au point de vue tectonique l'étude pétrographique et zonéographique du complexe cristallophyllien des Alpes Graies amène à réviser complètement les idées actuellement admises. La structure en nappes empilées, déversées vers l'extérieur de la chaîne et munies de racines internes, en un mot le « style pennique », n'est pas applicable au secteur étudié. Dans les Alpes Graies, l'inexistence de la nappe de la Dent-Blanche, l'inexistence du synclinal des racines de la nappe des Schistes lustrés, la continuité lithologique et zonéographique des massifs du Grand Paradis et de Sesia-Lanzo qui forment une seule et même unité géologique, conduisent à admettre au contraire que la série cristallophyllienne Grand Paradis - Sesia-Lanzo est autochtone et enracinée sur place, conclusion d'ailleurs en accord avec celle des travaux des anciens pétrographes italiens (V. NOVARESE, A. STELLA).

¹² H.P. CORNELIUS, Zur Vorgeschichte der alpine Faltung (*Geol. Rundschau*, 1925, t. 16, p. 350 et 417).

¹³ G.B. DAL PIAZ, La discordanza ercinica nella zone pennidica e le sue conseguenze nei riguardi della storia geologica delle Alpi (*Boll. Soc. Geol. Ital.*, 1939, t. 58, p. 105).

¹⁴ P. TERMIER, Les schistes cristallins des Alpes occidentales (*C. R. 9^e Congrès Géol. Int. Vienne*, 1903, p. 571).

III. — CARACTERES GENERAUX DU METAMORPHISME

1° Polymétamorphisme et rétromorphose.

J'ai déjà signalé que la série cristallophyllienne Grand Paradis-Sesia-Lanzo est polymétamorphique, car elle a été reprise dans son ensemble au Tertiaire par le métamorphisme général alpin. Ce dernier s'est opéré principalement dans la zone de métamorphisme des Micaschistes supérieurs, n'atteignant qu'à l'extrême base de la série la zone de métamorphisme des Micaschistes inférieurs. On conçoit donc que, suivant les niveaux considérés de l'ancienne série, les deux métamorphismes successifs peuvent être en concordance ou en opposition au point de vue zonéographique : on dira qu'ils peuvent être isozonaux ou hétérozonaux.

Lorsque les deux métamorphismes sont isozonaux dans la zone des Micaschistes supérieurs, on observe seulement une recristallisation presque totale des paragénèses minérales anciennes : les schistes cristallins sont alors polymétamorphiques mais non rétromorphosés.

Lorsque les deux métamorphismes sont hétérozonaux, le métamorphisme récent se produisant dans la zone des Micaschistes supérieurs et affectant des faciès antérieurement métamorphisés dans la zone des Micaschistes inférieurs, la rétromorphose est maxima et se traduit par la coexistence de paragénèses minérales anciennes résiduelles de plus en plus abondantes vers le bas de la série, et de paragénèses minérales nouvelles de plus en plus prédominantes vers le haut.

Lorsque le métamorphisme récent atteint, dans les mêmes conditions, la zone des anciennes migmatites, les effets rétromorphiques sont considérables car l'hétérozonalité des deux métamorphismes est maxima.

Enfin, lorsque le métamorphisme récent s'opère dans la zone des Micaschistes inférieurs et non plus dans la zone des Micaschistes supérieurs, ses effets rétromorphiques sur les anciennes migmatites, comme c'est le cas à l'extrême base de la série du Grand Paradis, ou sur les anciennes ectinites, comme c'est le cas dans le Mont-Rose¹⁵, sont à peu près nuls ou insignifiants.

D'après ces observations, on peut conclure, d'une façon plus générale, que le développement de la rétromorphose est fonction de l'hétérozonalité des métamorphismes successifs. Cependant, cette

¹⁵ P. BEARTH, *Geologie und Petrographie des Monte Rosa (Mat. Carte Géol. Suisse, 1952, nouv. série, n° 96)*.

condition, nécessaire, n'est pas suffisante, car il semble en effet indispensable que le métamorphisme second soit relativement peu intense et cantonné exclusivement à la zone des Micaschistes supérieurs.

Par ailleurs, il semble, d'après l'étude pétrochimique, que ces phénomènes de polymétamorphisme et de rétomorphose se seraient accomplis sans changements considérables de la composition chimique globale originelle, s'il ne s'était superposé au métamorphisme alpin des phénomènes métagénétiques développés à l'échelle régionale.

2° Métasomatose sodique.

Les effets de la métasomatose sodique dans le complexe cristallophyllien des Alpes Graies sont très différents suivant les niveaux considérés. Très faible ou même nul à l'extrême base de la série du Grand Paradis, l'apport sodique s'intensifie progressivement et se généralise vers le haut en passant par un maximum très net dans les faciès amphiboliques (groupe de Cuornè pour la série ancienne, groupe des prasinites pour la série des Schistes lustrés) ; enfin il cesse assez brusquement dans la partie moyenne de la série des Schistes lustrés où se situe un front de métasomatose sodique d'étendue régionale. L'existence même d'un tel front de métasomatose confirme la distinction faite récemment par J. JUNG et M. ROQUES⁶ entre les ectinites normales, où l'apport métagénétique est nul ou insignifiant, et les ectinites métagénétiques, où l'apport peut devenir prépondérant au point de produire de véritables faciès migmatitiques.

D'un autre côté, la métasomatose sodique apparaît comme un phénomène tardif dans l'évolution métamorphique. Dans la région étudiée, l'albitisation et la glaucophanisation se surajoutent en effet à un métamorphisme d'ectinisation qui débute toujours avant le déclenchement des processus métagénétiques. Par la suite les deux phénomènes se télescopent et finalement la métasomatose survit seule à l'ectinisation.

Enfin, au point de vue chimisme, il semble que la métasomatose alcaline puisse se fractionner. Sa nature chimique est en effet susceptible de varier en fonction des zones de profondeur du métamorphisme général qu'elle accompagne. Dans le complexe cristallophyllien du domaine pennique, la zone des Micaschistes supérieurs, lorsqu'elle est affectée par la métasomatose, est toujours imbibée par un apport purement sodique se traduisant par la néoformation d'albite pure et par la sodification (glaucophanisation)

d'amphiboles préexistantes. Au contraire, à la base de la zone des Micaschistes supérieurs d'âge alpin, l'albite de néoformation contient déjà une proportion notable d'anorthite. Enfin, lorsque le métamorphisme alpin atteint la zone des Micaschistes inférieurs, comme c'est le cas dans le vieux socle rétomorphique du Mont-Rose (P. BEARTH¹⁵) ou pour les calcschistes à biotite et muscovite des Schistes lustrés du Tessin¹⁶, les niveaux métasomatiques sont oligoclasiques et même andésiniques. Ainsi la plagitisation (J. JUNG et M. ROQUES⁶) pourrait succéder en toute continuité, à partir de la zone des Micaschistes inférieurs, à l'albitisation et à la glaucophanisation qui semblent se cantonner, en général, dans la zone des Micaschistes supérieurs.

De telles constatations sont en plein accord avec les idées exprimées par P. LAPADU-HARGUES¹⁷. L'étude statistique de la composition chimique des schistes cristallins à laquelle s'est livré cet auteur a montré, en particulier, l'existence de migrations fractionnées d'éléments au cours du métamorphisme général, le calcium pouvant émigrer du bas jusqu'au sommet de la zone des Micaschistes inférieurs, alors que le sodium peut seul émigrer jusque dans la zone des Micaschistes supérieurs.

Il est intéressant enfin d'ajouter qu'il est possible d'entrevoir, mais d'une manière qui n'est pas absolument certaine pour l'instant, une relation de cause à effet entre le polymétamorphisme et la rétomorphose d'une part, et la métasomatose sodique d'autre part. La reprise par un métamorphisme second d'un vieux matériel migmatitique semble en effet, dans plusieurs cas et en particulier dans la zone pennique et dans le Massif Central¹⁸, produire une remise en mouvement des éléments parmi lesquels le sodium, qui est le plus apte à migrer, diffuserait largement vers le haut, suivi plus bas par le calcium. L'association de la rétomorphose et de la métasomatose pourrait donc n'être pas fortuite mais régulière.

¹⁶ P. HASLER, Geologie und Petrographie der Sambucco-Massari-Gebirgsgruppe zwischen der oberen Valle Leventina und Valle Maggia im nördlichen Tessin (*Bull. Suisse Min. Pétr.*, 1949, t. 29, p. 50).

¹⁷ P. LAPADU-HARGUES, Sur l'existence et la nature de l'apport chimique dans certaines séries cristalloylliennes (*B.S.G.F.*, 1945, (5), t. 15, p. 255).

¹⁸ M. ROQUES, Les schistes cristallins de la partie Sud-Ouest du Massif Central français (*Mém. Expl. Carte Géol. France*, 1941, p. 123 à 167).