

# Structure et chronologie

Objekttyp: **Chapter**

Zeitschrift: **Archives des sciences [1948-1980]**

Band (Jahr): **15 (1962)**

Heft 1

PDF erstellt am: **08.08.2024**

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Elle représente donc la majeure partie de la vallée de Cogne et de ses vallons subsidiaires, le versant oriental du Valsavaranche jusqu'aux alpages de Leviona, et l'espace compris entre l'Emilius et la vallée de Cogne; les altitudes variant dans ces trois zones de 1000 à 3500 m (3970 pour la Grivola).

Le fond topographique de cette carte provient des six feuilles au 25000: Grivola, Cogne, Gr.Paradis, T.Gr.S.Pietro, Aosta et Emilius, qui sont dans leur ensemble très bien faites et à propos desquelles je remercie le Général Rossi et le Colonel Marchese, directeurs de l'Istituto Geografico Militare, le Colonel Roggero, secrétaire de la Direction, qui m'ont très aimablement procuré les films de ces feuilles, et Mr.E.Beneo, directeur du Servizio Geologico d'Italia, qui m'a mis en rapport avec la Direction de l'Istituto Geografico Militare.

## Structure et chronologie

Voir en un premier coup d'œil la disposition générale des diverses unités géologiques, retracer la succession des mouvements qui l'ont créée, puis reprendre avec quelques détails pétrographiques et tectoniques ces diverses unités, en des chapitres particuliers, telles sont les trois étapes qui nous permettront, avec la Carte comme base, d'avoir une vue claire de la vallée de Cogne et des régions avoisinantes.

Voyons donc ci-dessous les premières distinctions à faire sur la Carte, du S au N:

**a)** Gneiss paléozoïques du flanc nord de la coupole granito-gneissique qui culmine au Grand-Paradis et qui est ici l'équivalent géologique du massif Mont-Rose; c'est-à-dire le substratum paléozoïque de la Zone Mont-Rose, cette zone qui constituait la grande fosse du géosynclinal alpin.

**b)** Mésozoïque sédimentaire et ophiolitique constituant la couverture normale des gneiss précédents et appartenant donc à la Zone Mont-Rose; nous l'appellerons dans cette région-ci Mésozoïque Grivola.

**c)** Gneiss albitiques des parties basses de la vallée de Cogne et du Valsavaranche; ils appartiennent au substratum paléozoïque de la Zone Saint-Bernard et sont déversés sur le Mésozoïque Grivola.

**d)** Mésozoïque sédimentaire et ophiolitique de la Zone Saint-Bernard, également déversé sur le Mésozoïque Grivola, puis retroussé par endroits vers le N.

e) Roches paléozoïques et mésozoïques des alentours de l'Emilius, reposant en nappe sur le Mésozoïque Saint-Bernard et provenant de la Zone Sesia.

Et voyons maintenant les traits principaux de ces unités :

**A)** Les parties internes de la coupole Grand-Paradis présentent tous les caractères de roches granitisées par ultramétamorphisme, avec venues sporadiques de magma résultant d'anatexie; autrement dit, l'intérieur de cette masse bombée est essentiellement fait de migmatites, avec quelques intrusions probablement diapiriques du magma sous-jacent; on peut s'en rendre compte dans la vallée de l'Orco, qui traverse complètement la coupole de l'E à l'W.

Tandis que les bords de la coupole sont très différents, tant pétrographiquement que tectoniquement. Non seulement ils ont été très schistifiés et très écaillés par les diastrophismes alpins, à l'encontre des parties internes; mais ils se distinguent aussi de celles-ci par la présence continue de gneiss albitiques à grain fin (gneiss minuti) accompagnés d'une part de granodiorites plus ou moins diaphtorisées, et d'autre part d'arkoses, de quartzites et de micaschistes contenant parfois des lits graphiteux et des intercalations conglomératiques. Or, comme je l'ai mis en évidence dès 1951, ces gneiss albitiques ne proviennent pas de mica-schistes métamorphosés allochimiquement; ils dérivent d'éruptions volcaniques permocarbonifères; les granodiorites sont des subvolcanites et les roches détritiques associées sont de nature continentale. Tout l'ensemble constitue donc une « couverture postorogénique hercynienne, permocarbonifère » qui, sur les bords de la coupole, représente la dernière phase du cycle hercynien: érosion et, dans des conditions continentales, longue activité volcanique; activité dérivant de la très lente montée des magmas granodioritiques qui ont dû naître de la fusion partielle du bourrelet infracrustal à la fin de la tectogénèse hercynienne, et qui ont dû s'infiltrer sans cesse dans les fissures qu'ont provoquées continuellement, dans les parties supérieures de l'orogène, les ajustements isostatiques concomitants de l'érosion.

L'origine de ces roches, leur rôle dans le cycle hercynien, leur métamorphisme et leurs caractères actuels, leurs relations probables avec les migmatites, sont attentivement considérés plus loin, dans les pages qui traitent particulièrement des gneiss Grand-Paradis.

**B)** La couverture mésozoïque de la coupole Grand-Paradis, dénommée ici Mésozoïque Grivola, est essentiellement faite de: calcaires plus

ou moins dolomitiques, cargneules et gypse triasiques, de « schistes lustrés » triasiques et jurassiques, et d'ophiolites qui dérivent évidemment d'éruptions sous-marines ou d'intrusions laccolitiques de magma basaltique subcrustal.

Les principales remarques à faire à propos de ce Mésozoïque sont :

1) Le trias calcaréo-dolomitique est en général d'épaisseur restreinte, considérablement ou du moins notablement moindre que dans la Zone Saint-Bernard. En beaucoup d'endroits, particulièrement au NE et SW des massifs Grand-Paradis et Mont-Rose, c'est-à-dire au milieu de la fosse géosynclinale, ce trias néritique n'existe même pas; il est remplacé à la base de la série mésozoïque par des ophiolites; on en verra la raison plus loin.

2) Le passage du trias calcaréo-dolomitique aux schistes lustrés sus-jacents est toujours brusque; contrairement à ce que l'on observe dans la Zone Saint-Bernard, où des calcaires gris micacés constituent en général une transition plus ou moins graduelle.

3) Les proportions de quartz, micas et calcite des schistes lustrés, c.à.d. les proportions originelles de sable, argile et calcaire organogène ou chimique, sont naturellement très variables, et expliquent les innombrables quartzites, micaschistes et lentilles calcaires que l'on trouve en intercalations dans les schistes lustrés de type banal, facilitant souvent les décollements.

4) Aucun conglomérat n'a été découvert dans ces schistes lustrés, ni par moi, ni par autrui; probablement parce qu'il n'y en a pas et que les déversements SB/MR ont été sous-marins.

5) La proportion d'ophiolites par rapport au sédimentaire détritique et calcaire est ici très grande, beaucoup plus grande que dans la Zone Saint-Bernard; on en verra plus loin la raison, qui s'associe pleinement à celles des deux premiers paragraphes.

6) Le métamorphisme des schistes lustrés et ophiolites est méso- ou épizonal, et les éclogites qu'on y trouve (catazonales pour certains auteurs) ne résultent que de stresses locaux. Fréquemment, entre s.l. et ophiolites, un certain métamorphisme de contact subsiste au travers du métamorphisme régional.

7) Les multiples digitations ou écailles que l'on observe entre gneiss Grand-Paradis et mésozoïque sur le bord septentrional de la coupole, ou à l'intérieur de ce Mésozoïque, s'enracinent au N; *c'est-à-dire exactement en sens contraire des enracinements conçus par Argand, Staub, etc.*

**C)** Les gneiss Saint-Bernard du bas des vallées de Cogne et Valsavaranche sont déversés sur le Mésozoïque Grivola et comportent plusieurs digitations ou écaïlles. Ils sont faits: d'une part, de gneiss albitiques à grain fin (gneiss minuti) de même nature et origine volcanique que les gneiss permocarbonifères du Grand-Paradis, avec le même accompagnement de roches détritiques continentales; et d'autre part, de granodiorites, qui ont été plus ou moins gneissifiées et diaphtorisées par les déformations alpines et qui représentent évidemment le foyer magmatique des volcanites acides devenues gneiss minuti.

**D)** Dans le périmètre de la carte, le Mésozoïque Saint-Bernard diffère stratigraphiquement, ou du moins lithologiquement, du Mésozoïque Grivola, par les caractères suivants:

1) Epaisseur plus grande et sporadicité moindre du trias calcaréodolomitique.

2) Très fréquemment, entre ce trias néritique et les schistes lustrés sus-jacents, des calcaires gris se chargeant de micas de bas en haut, et constituant une transition plus ou moins graduelle (en violet sur la carte).

3) Quelques brèches ou conglomérats, en intercalations dans les schistes lustrés, et aussi quelques lits graphiteux.

4) Une proportion d'ophiolites beaucoup moindre que dans le Mésozoïque Grivola; autrement dit, un volcanisme géosynclinal beaucoup moindre.

Ces différences lithologiques entre Mésozoïques SB et MR sont très importantes pour s'expliquer l'embryogénèse du cycle alpin et l'évolution de son géosynclinal; on le verra plus loin.

Tandis que pour les phases ultérieures du cycle, pour la compréhension des grands diastrophismes alpins, ce sont les retroussements des digitations Saint-Bernard déversées sur la zone Mont-Rose qui sont particulièrement significatifs. Ces retroussements apparaissent dans les alentours de la mine de Cogne et dans les masses comprises entre les vallées de Cogne et Valasavaranche, et seront décrits plus loin. Ils résultent évidemment du cheminement des masses Sesia vers le nord, et mettent en évidence l'antériorité des déversements SB/MR, qui ont une telle extension et une telle importance dans les Alpes.

**E)** Les gneiss Emilius, Dent-Blanche et Mont-Mary reposent en nappe sur des schistes lustrés Saint-Bernard et proviennent de la Zone Sesia. C'est ce qu'Em. Argand sut découvrir en 1905-06 et c'est la

première chose à se dire à propos de gneiss Emilius, car cette admirable découverte constitue la meilleure partie de l'œuvre d'Argand et représente certainement l'un des plus grands progrès faits en géologie alpine, *l'une des plus belles découvertes de la science.*

Cet hommage rendu à Em. Argand, voyons une série de faits qu'il fallait encore déceler dans la nappe Emilius:

1) Les gneiss Emilius sont en majeure partie des roches volcaniques permocarbonifères émanées de magmas rhyodacitiques, dacitiques ou andésitiques, et diaphtorisées en gneiss albitiques à grain fin (gneiss minuti), avec tous les produits d'altération, de remaniement et de mélange que peuvent donner des tufs. Ces gneiss sont accompagnés d'une part de granodiorites subvolcaniques diaphtorisées aussi en gneiss albitiques mais d'un type différent, et sont accompagnés d'autre part de roches détritiques devenues micaschistes ou quartzites. Tout cet ensemble correspond évidemment à la « couverture postorogénique hercynienne » qui ne s'étend pas seulement dans les Zones Mont-Rose et Saint-Bernard, mais aussi dans la Zone Sesia, au S et à l'E du Grand-Paradis.

2) Des blocs projetés et des structures pipernoïdes merveilleusement conservées s'ajoutent aux raisons d'ordre chimique et minéralogique (déjà suffisantes à elles seules) pour mettre en évidence l'origine volcanique des gneiss albitiques.

3) Le morcellement d'ophiolites sans doute alpines et la dispersion des fragments montrent aussi qu'à l'origine les roches encaissantes de ces intrusions basaltiques étaient des tufs. Des dykes basaltiques alpins devaient, en effet, se briser et se disséminer facilement, dès les premiers diastrophismes, dans le milieu ambiant peu cohérent que constituaient les tufs avant leur consolidation par le métamorphisme alpin.

4) Des calcaires triasiques découverts en plein milieu des gneiss de la nappe; des copeaux de calcaires triasiques remarqués sous la nappe; l'énorme masse ophiolitique constituant la base de la nappe et provenant aussi de la Zone Sesia; des lames gneissiques détachées de la masse principale et englobées dans les schistes lustrés à faible distance de la base; autant de données primordiales pour connaître la structure interne de la nappe et comprendre son glissement sur les schistes lustrés, éminemment plastiques.

5) Le repli qui est au bord S de la nappe et celui qui est au bord W avaient été très bien remarqués par Argand entre 1905 et 1911, mais il

ne faut pas les réunir par une « giration » et s'imaginer qu'ils sont connexes. Il faut simplement se dire qu'au bord méridional se trouve un pli longitudinal datant de l'écoulement de la nappe, tandis qu'à l'W il s'agit d'un pli transversal résultant vraisemblablement d'un ajustement isostatique. A l'intérieur de la nappe on observe d'ailleurs toute une série de plis transversaux qui sont évidemment postérieurs aux replis longitudinaux.

6) Dans la nappe de l'Emilius on observe aussi des choses extrêmement intéressantes à propos de schistosité et d'écoulement par gravité. A certains endroits, près de surfaces de glissement, des schistosités sont extrêmement accentuées, tandis que, dans le voisinage, des paquets de roches ont été transportés presque sans déformations durant tout l'écoulement et montrent des structures paléozoïques intactes (stratifications plus ou moins tordues provenant de jets de lave, enfoncement de tuf par la chute d'un bloc projeté, etc.).

La disposition générale des diverses unités géologiques étant ainsi tracée dans ses grandes lignes, considérons maintenant l'évolution géosynclinale et le mécanisme orogénique dont cette disposition résulte. Et distinguons pour cela les périodes ou épisodes suivants :

- 1) Phase géosynclinale simple, de l'Eotrias au Mésojurassique.
- 2) Première phase tectogène: déversements Saint-Bernard/Mont-Rose, vers la fin du Jurassique.
- 3) Deuxième phase tectogène: déversements Sesia, éocrétacés, avec écoulements jusqu'au Néocrétacé.
- 4) Ajustements isostatiques, soulèvements et plis transversaux.

### **Phase géosynclinale simple**

Nous avons vu plus haut (B1, D1) que le trias calcaréo-dolomitique, lagunaire ou néritique, est d'épaisseur restreinte dans la zone Mont-Rose et qu'il fait même défaut dans la partie médiane de cette zone, remplacé à la base de la série par des ophiolites; tandis que ce trias est au contraire bien développé dans la zone Saint-Bernard. Nous avons vu aussi (B5, D4) que la proportion d'ophiolites est beaucoup plus grande dans le Mésozoïque Mont-Rose que dans le Mésozoïque Saint-Bernard; et l'on peut ajouter ici que les venues basaltiques de la zone Sesia sont apparemment moindres que celles de la zone Mont-Rose.

Or, la proportion d'ophiolites correspond évidemment à l'importance du volcanisme basaltique géosynclinal, qui est lui-même fonction directe

de l'intensité des fissurations de l'écorce terrestre que créent des distensions ou étirements de cette écorce. Et il appert donc, dans ces conditions, que non seulement la zone Mont-Rose s'est affaissée et immergée d'une manière relativement rapide, dès le début du cycle alpin, mais qu'elle s'est en même temps étirée et fissurée intensément, de bas en haut de l'écorce terrestre, en livrant passage au magma subcrustal.

Autrement dit, c'est dans la zone Mont-Rose que s'est rapidement établie la fosse principale du géosynclinal alpin, avec un fort volcanisme basaltique; tandis que régnaient des conditions épicontinentales dans l'avant-pays, des conditions intermédiaires dans la zone Saint-Bernard, et, dans la zone Sesia, un affaissement et un volcanisme apparemment moindres que dans la zone Mont-Rose.

Comment concevoir la cause d'un tel phénomène, la création de telles conditions bathymétriques et volcaniques, si ce n'est par un déplacement latéral de magma subcrustal, une convection horizontale ou subhorizontale, amorçant une dépression et conjointement une distension sous la zone Sesia, créant un maximum de dépression et d'étirement sous la zone Mont-Rose, et s'amortissant graduellement, dès la zone Saint-Bernard, vers l'avant-pays ?

Seule, cette notion de déplacement latéral de magma subcrustal, qui se déduit logiquement des différences lithologiques que l'on observe entre zone Mont-Rose et zone Saint-Bernard dans les vallées de Cogne et Valsavaranche, et des caractères de la zone Sesia et d'autres zones dans les Alpes, seule cette notion de courant subhorizontal peut expliquer rationnellement, complètement et sans aucune contradiction, la genèse et l'évolution ultérieure du géosynclinal alpin. Toute autre explication, qu'il s'agisse de courants ascendants ou descendants (toujours d'origine plus ou moins mystérieuse) ou d'autres causes encore, se heurte rapidement à des contradictions et à des non-sens que je relèverai dans un autre travail pour ne pas trop charger ce texte-ci.\*

\* Ici, par contre, il faut bien se rendre compte du très grand progrès qui a été réalisé par Rittmann dans la connaissance de l'orogénèse en général lorsqu'il a étudié la distribution des températures dans l'écorce terrestre et qu'il en a déduit l'inclinaison de la sous-face près du bord des continents; car ce travail devait lui permettre d'appliquer d'heureuse façon le principe de Pekeris sur le sens des courants magmatiques dérivant de l'inclinaison des géoisothes, et devait ainsi l'amener aux notions de courant primordial créateur de géosynclinal et de courant secondaire s'adjoignant ultérieurement au premier pour produire une « phase d'engloutissement », suivie d'arrêt des courants et de « phase de surrection ». D'où, les bases d'une théorie thermo-



Terminons ces considérations sur la phase géosynclinale des Pennides par deux constatations qui s'accordent fort bien avec ce qui précède.

D'une part, le passage toujours brusque des calcaires dolomitiques aux schistes lustrés dans la zone Mont-Rose; tandis que des calcaires gris se chargeant de micas de bas en haut s'intercalent très fréquemment entre le trias calcaréo-dolomitique et les schistes lustrés de la zone Saint-Bernard, constituant un passage plus ou moins graduel qui témoigne d'un enfoncement plus lent de cette zone.

D'autre part, l'absence de conglomérats dans le Mésozoïque de la zone Mont-Rose; et la présence de brèches ou conglomérats dans les calcschistes de la zone Saint-Bernard, s'accordant bien avec la coexistence de rides émergées et de sillons marins durant le Jurassique, selon Argand, l'école de Grenoble, etc.

### **Première phase tectogène \***

Contrairement à toutes les explications énoncées auparavant sur la formation des nappes alpines, j'ai compris en 1947 et publié dès 1949 que les recouvrements Saint-Bernard/Mont-Rose représentent les premiers grands mouvements de la tectogénèse alpine. Ils sont antérieurs aux déversements Sesia et ce ne sont donc pas, comme on l'a cru pendant des dizaines d'années et comme tant de géologues se l'imaginent encore, les derniers déversements des Pennides.

dynamique qui fait comprendre rationnellement les causes de l'orogénèse et qui est, dans les grandes lignes, confirmée par les Alpes. (Je dis: dans les grandes lignes, car je ne vois pas dans les Alpes de « phase d'engloutissement » et de « phase de surrection ». Ce sont d'autres phases qu'il faut distinguer; mais, à part cela, la théorie de Rittmann est sans doute une coordination qui constitue un immense progrès, et c'est évidemment pour cela que je l'ai incité, en 1950, à la publier dans ces *Archives*.)

Il faut aussi rappeler ici qu'Em. Argand avait très bien compris l'enfoncement relativement rapide de la zone Mont-Rose. S'il ne s'est pas rendu compte du rôle des ophiolites et du volcanisme qu'elles impliquent, il a cependant très bien conçu l'enfoncement de la zone MR, et il est donc regrettable que la *Reliefumkehrung* de Jenny, prônée par Wegmann et Ellenberger, se soit opposée pendant si longtemps à la partie juste de son œuvre.

\* Dans le CR.Ac.sc. du 2 juillet 1956, l'emploi du mot *tectogène* est condamné. Mais pour que cette décision puisse être réellement fondée, il faudrait, ce me semble, que les mots *thermogène*, *électrogène*, *cancérigène*, etc. ne soient pas français. Or, ils le sont bel et bien, et *tectogène* est un adjectif trop utile et pratique pour que la géologie s'en prive.

Leur antériorité par rapport aux déversements Sesia est démontrée par les retroussements des digitations Saint-Bernard qui apparaissent près de la mine de Cogne et dans les masses comprises entre les vallées de Cogne et Valsavaranche, et qui sont tracées d'une manière précise sur les coupes connexes de la présente carte.

Mais, avant même que soient découverts ces retroussements, la géologie alpine ne serait pas restée en stagnation pendant des dizaines d'années sur l'idée fautive d'un recouvrement SB/MR tardif, postérieur à celui des masses Sesia, si l'on avait considéré un peu mieux le mécanisme que doit inévitablement invoquer une telle conception. Jamais, en effet, on n'a reconnu ou sérieusement conçu d'éléments Sesia coincés entre Saint-Bernard et Mont-Rose\*, et jamais non plus on n'a attribué cette absence à une érosion qui aurait eu lieu entre les deux périodes de déversements et qui n'aurait raclé que les parties Sesia susceptibles d'être ensuite engagées entre SB et MR; c'eût été trop invraisemblable. Il a donc fallu, pour justifier la conception contre nature d'un recouvrement SB/MR tardif, que le système Argand-Staub imagine cet encapuchonnement en profondeur, cette tête de nappe MR plantée dans des masses SB (ou Mischabel, ce qui revient au même). Or, la structure approximativement isoclinale des strates sur le flanc septentrional du Grand-Paradis et du Mont-Rose, leur étirement, l'absence de toute compression NS dans ces strates, montrent bien que la formation d'un tel encapuchonnement (par coup de charrue, a-t-on dit) est en réalité impossible. Il suffit d'un sens élémentaire de la mécanique pour s'en rendre compte, et il fallait bien les deux principes directeurs erronés du système Argand-Staub: *l'enracinement collectif des nappes dans une zone dite des racines*, et *le déversement généralisé des nappes vers l'avant-pays*, pour maintenir pendant si longtemps la géologie alpine dans une impasse.

On ne pourrait d'ailleurs s'expliquer sérieusement les structures de l'Ossola (où la complexité des diastrophismes est une chose extrêmement heureuse pour vérifier le bien-fondé, la validité d'une explication de la formation des Alpes) si l'on ne considérait les déversements SB/MR comme primordiaux dans la tectogénèse alpine.

Ceci dit, essayons de discerner l'origine de ces déversements SB/MR, cherchons des liens de cause à effet entre la géologie directement visible et ce qui s'est vraisemblablement passé en profondeur, et nous verrons

\* Si ce n'est MM. Dal Piaz et Hermann.

en même temps que la première phase tectogène découle normalement de la phase géosynclinale.

Nous avons vu plus haut qu'il faut suivre Rittmann lorsqu'il attribue le phénomène géosynclinal à un courant subcrustal dirigé vers l'avant-pays et naissant sous le géosynclinal lui-même; car le fort volcanisme basaltique et l'enfoncement connexe de la zone Mont-Rose ne pourraient s'expliquer autrement que par un courant s'effectuant dans ce sens.

Or, d'une manière générale, il appert qu'un courant crée des entraînements par adhérence dans la zone de passage graduel, visqueuse, qui doit exister entre croûte terrestre et magma sous-jacent; et il s'ensuit qu'après les étirements dont dérive le volcanisme géosynclinal, ces entraînements ont tendance à augmenter l'inclinaison de la sous-face et à donner ainsi d'autant plus de vigueur au courant. Des parties sises sous la fosse principale, tout en continuant à s'étirer, doivent alors s'enfiler sous des parties basales plus proches de l'avant-pays et, ce faisant, elles doivent imprimer à des couches sus-jacentes un mouvement analogue, un mouvement cependant tempéré, amorti par des déformations plastiques dans ces couches. Tandis que les parties supérieures de l'écorce terrestre, en étant moins plastiques et en s'appuyant à leur arrière sur des masses plus consistantes, ne se prêtent pas à ces entraînements. Il y a là une forte résistance, et celle-ci constitue en quelque sorte la réaction au phénomène actif qui se passe au-dessous.

Entre ces parties supérieures relativement rigides et calées latéralement contre l'avant-pays, et les parties inférieures continuellement sollicitées, entraînées par le courant subcrustal, ce sont alors des cisaillements qui doivent réduire les tensions, soit sous forme de glissements impliquant de franches ruptures dans les hauts de l'écorce terrestre, soit par des déformations plastiques correspondant au même déplacement relatif dans les bas. Et ces cisaillements doivent normalement se faire suivant des surfaces descendant obliquement de la fosse ou du voisinage de la fosse jusqu'à des parties basses sises sous l'avant-pays ou du moins plus proches de l'avant-pays. Car la résistance aux entraînements et translations qu'offrent les parties supérieures de l'écorce terrestre, par leur appui sur l'avant-pays et leur rigidité, doit naturellement diminuer en direction de la fosse et, partant, c'est en forme de coin que doivent se terminer ces parties supérieures relativement résistantes; c'est obliquement que les cisaillements doivent se faire au travers de la croûte terrestre. Le jeu des forces qu'indique un peu de mécanique

élémentaire et qu'il n'est pas nécessaire d'examiner analytiquement ici, le fait bien ressortir.\*

Tout ceci implique évidemment des étirements par laminage dans les parties basses soumises aux entraînements par adhérence, et en même temps des compressions dans la zone terminale des parties supérieures, qui doit céder d'autant plus à ces compressions et, partant, à des rétrécissements, qu'elle est en forme de coin et qu'elle s'amincit de plus en plus vers la fosse. D'où, dans cette zone, des plissements et des imbrications, avec écailles ou digitations représentant chacune une cession aux efforts de translations sous-jacents, et probablement faites successivement les unes à côté des autres, par une migration des points faibles, une variation des lieux de moindre résistance. Mais de tels ajustements ne peuvent suffire indéfiniment à ce qui se passe en profondeur, et lorsque une accélération du courant subcrustal provoque un entraînement par adhérence beaucoup plus important que les précédents, il doit évidemment se produire un cisaillement majeur et ce qu'il convient d'appeler (car le terme est juste et pratique) une *subduction*, c'est-à-dire un entraînement en profondeur impliquant un cisaillement, avec tendance à la compression au-dessus de la surface principale de cisaillement, et au-dessous: laminage, étirement et schistosité parallèle à cette surface, intense près d'elle mais s'amortissant avec l'éloignement.\*\*

Ce genre de diastrophisme comporte inévitablement un prolongement; il doit être suivi d'un écoulement par gravité. La géométrie l'impose; elle impose ce phénomène additionnel; et il est vraiment étonnant que ce lien de cause à effet, cette origine des écoulements par gravité, ait échappé à la géologie alpine pendant si longtemps, ou du moins n'ait jamais été noté avant mon travail sur l'Ossola en 1954.

En effet, pendant une subduction, le déplacement des masses tirées plus ou moins obliquement en profondeur ne peut manquer de créer une

\* N'est-ce pas aux mêmes causes et à un phénomène analogue qu'il faut attribuer, autour du Pacifique, les séismes profonds dont le lieu des hypocentres peut être représenté schématiquement par une surface s'enfonçant sous le continent et traversant obliquement la croûte terrestre? N'y a-t-il pas là une *première phase tectogène (SB/MR)* d'un *cycle orogénique actuel*?

\*\* Étirements d'une part, compressions d'autre part, se compensent en grande partie dans l'évolution ultérieure des distances transversales du géosynclinal; et les 480 km de rétrécissement, de contraction transversale, découverts par M. Cadisch dans le plissement alpin (*Geologie der schweizer Alpen*, p.287) montrent ce qui se passe lorsque ces étirements sont au-delà de l'intelligence du géologue; et que l'amplification des nappes par l'écoulement l'est aussi.

dépression importante à l'avant des masses non déplacées, une dépression qui atteint son niveau le plus bas immédiatement à l'avant de ces masses. Et celles-ci, préalablement comprimées, plissées, écaillées et d'autant plus surélevées, vont évidemment fluer, glisser, s'écouler dans cette dépression; en acquérant naturellement de nouvelles structures, en s'involuant par endroits, en maintenant ailleurs des paquets de roches non déformées et, surtout, en amplifiant considérablement la nappe créée à son début par la subduction.

D'où, cette distinction fondamentale à ne jamais omettre, à bien avoir en tête, lorsqu'on considère la formation des nappes, qu'il s'agisse des déversements SB/MR ou tout aussi bien, en passant du cas particulier au général, qu'il s'agisse de toutes ou presque toutes les nappes alpines: d'une part le phénomène *primordial* que constituent les subductions résultant d'entraînement par les courants subcrustaux, et d'autre part le phénomène *complémentaire et amplificateur* que représentent les écoulements par gravité dans les dépressions créées ou accentuées par les subductions elles-mêmes (CR.Ac.sc., 13 mai 1957).\*

Tel est le raisonnement qu'il faut suivre et tel est le mécanisme qu'il faut concevoir pour s'expliquer rationnellement les déversements de masses Saint-Bernard dans la fosse Mont-Rose.\*\* Si, en considérant la croûte terrestre dans toute son épaisseur, je ne m'en suis pas tenu à ce que l'on dit habituellement dans une Notice explicative de Carte géologique, je ne me suis écarté qu'apparemment de ce qu'il faut envisager dans la vallée de Cogne et ses abords, car les recouvrements SB/MR ne peuvent se comprendre complètement que par le mécanisme précédent et par ces causes profondes.

Ceci posé, datons les événements et disons-nous que les déversements *sous-marins* de masses Saint-Bernard dans la fosse Mont-Rose se sont vraisemblablement faits à la fin du Jurassique, peu avant les subductions Sesia, qui sont, nous le verrons plus loin, éocrétaçées; les sédiments marneux que comportait la fosse MR se prêtant particulièrement bien au glissement des masses sus-jacentes.

\* C'est l'évidence même, pourrait-on dire; et il est d'autant plus curieux qu'en géologie alpine ce mode de formation des nappes, cette distinction de causes et d'effets, n'aient pas été compris et énoncés plus tôt.

\*\* Par le même mécanisme mais avec une inversion de sens dont nous verrons plus loin les causes, s'explique clairement la formation des autres nappes penniques, des nappes préalpines et des nappes helvétiques.

### Deuxième phase tectogène

Les déversements de masses Sesia sur le complexe SB/MR se sont faits en sens inverse des déversements de la première phase tectogène, mais ils n'en résultent pas moins du même genre de mécanisme: subductions + écoulements subséquents. Tout le montre dans les parties radicales et dans les parties antérieures des nappes valdotaines et des nappes homologues grisonnes.

L'inversion de sens ne peut provenir que de la formation d'un bourrelet infracrustal sous l'ensemble SB/MR lors de la première phase tectogène. Pendant celle-ci, en effet, les entraînements par adhérence ont dû accumuler là beaucoup de matières simatiques et sialiques, et créer une saillie longitudinale, un bourrelet, dont le flanc septentrional n'a pu être qu'accentué et rendu plus abrupt par le cisaillement final SB/MR. Sous ce flanc fraîchement formé et relativement abrupt, le magma s'est alors trouvé dans des conditions inverses de celles de la première phase tectogène, et il s'est donc forcément produit dans ce magma un courant subcrustal de sens contraire à celui du courant primordial créateur de géosynclinal et de déversements SB/MR. D'où, de nouveaux entraînements par adhérence et de nouveaux cisaillements au travers de la croûte terrestre, se traduisant en surface par de nouvelles subductions et de nouveaux écoulements subséquents, en sens inverse des diastrophismes de la première phase tectogène.\*

Les subductions de cette phase se sont faites en série pendant l'Eocréacé, successivement et côte à côte; d'où la pluralité des nappes que l'on peut distinguer dans les déversements de masses Sesia du segment valdotain-valaisan et du segment grison. Dans le premier de ceux-ci les données manquent pour dater avec certitude ces diastrophismes; mais dans les Grisons la stratigraphie donnée par Staub et Cornelius pour les nappes Margna, Sella-Platta, Err et Bernina, apparemment homologues et à peu près contemporaines des nappes Emilius, Mont-Mary et Dent-Blanche, permet de dater approximativement ces subductions; et de

\* Ceci a pu se faire sans même que cesse complètement le courant primordial; car c'est la résultante des forces d'entraînement des deux courants qui devait déterminer le sens et l'inclinaison des cisaillements, ou simplement le sens et l'intensité des déformations plastiques; et il suffisait évidemment de la prépondérance de l'un des courants, et d'alternances de cette prépondérance, pour faire osciller cette résultante. Plusieurs alternances et oscillations ont, en effet, eu lieu après la deuxième phase tectogène.

même on peut le faire en considérant la tectogénèse de l'Ossola-Tessin, comme on le verra dans un travail à paraître prochainement.

Les écoulements consécutifs ont beaucoup amplifié les débuts de nappes créés par les subductions et ont amené des masses Sesia à des dizaines de km de leur emplacement originel. Le substratum paléocène des nappes du Schams, et les calcaires du Barrhorn, s'ils sont bien néo-crétacés, mettent en évidence la longue durée d'une partie de ces écoulements.

Telles sont les quelques considérations générales qu'il fallait énoncer pour situer la nappe Emilius dans la tectogénèse alpine. Revenons maintenant dans la vallée de Cogne et, d'une manière très succincte, énumérons ci-dessous quelques particularités, quelques conséquences du glissement de cette nappe et de son action sur le substratum, en laissant leur description aux pages qui traitent particulièrement de la Nappe Emilius et du Mésozoïque SB.

Tout d'abord, les retroussements et cisaillements de digitations SB, et les nombreux replis du substratum mésozoïque entre les gneiss Emilius et la crête Montzalet-Invergneux.

Puis, le grand pli longitudinal qui apparaît à l'arrière de la nappe et qui ramène le substratum mésozoïque au-dessus des gneiss à la P. Leppe; évidemment dû à des glissements différentiels et à un cheminement plus rapide des parties supérieures de la nappe.

Les lames de calcaires triasiques et d'ophiolites qui sont accolées aux gneiss inférieurs et qui proviennent sans doute aussi de la zone Sesia; et l'énorme masse ophiolitique du flanc septentrional de la nappe, sans doute de même origine.

Les lames de calcaires triasiques de la P. Rossa, en plein milieu de la nappe; montrant que la partie gneissique de celle-ci doit être subdivisée.

Les copeaux de gneiss détachés de la nappe et englobés dans les schistes lustrés du substratum, à faible distance de la base.

Le contraste de schistosités très accentuées près de surfaces de glissement, et de masses glissées en blocs presque sans déformations dans le voisinage de ces schistosités; montrant les variations possibles dans les effets de la surcharge sur la schistosité.

### **Ajustements isostatiques**

Dans le domaine de la carte, les ajustements isostatiques qui ont fait suite à la tectogénèse se manifestent par deux effets principaux: la for-

mation de la coupole Grand-Paradis, jumelle de la coupole Mont-Rose; et le plissement transversal du bord W de la nappe Emilius.

1) Au soulèvement qui a formé la coupole Grand-Paradis, est due l'inversion de pendage des recouvrements SB/MR. Au lieu des inclinaisons qui ont permis aux masses SB de fluer dans la fosse MR, on a aujourd'hui ces pendages vers le N qui caractérisent les vallées de Cogne et de Valsavaranche.

2) Le plissement transversal du bord W de la nappe Emilius a une direction variant de N30°W à NW-SE. Il atteint là, sur ce bord W, sa plus grande intensité; mais on en trouve des manifestations très importantes plus à l'E et à l'W, jusque dans le mésozoïque SB du cirque de Tzasetze d'une part, et jusque dans les gneiss du M.Emilius, du cirque de Lussert et du M.Grauson d'autre part; avec des directions comprises entre NS et NW-SE.

Ces plis transversaux sont évidemment postérieurs aux plis EW ou WSW-ENE concomitants de l'écoulement des gneiss Emilius, et il n'existe certainement pas de « giration » (op.cit.) pour les relier les uns aux autres.

Il faut donc les attribuer à un débordement latéral provenant d'ajustement isostatique, ou, plus exactement, à un glissement latéral provenant du soulèvement que montre le paléozoïque du bas de la vallée de Cogne, disposé là en quelque sorte comme un appendice de la coupole GP. La plasticité des schistes lustrés et le poids des masses gneissiques aujourd'hui érodées qui se trouvaient là en surplomb, ont fait fluer la matière vers l'E ou NE et ont créé là des structures d'écoulement transversal. Il n'y a, quant à moi, pas d'autre origine possible, pas d'autre explication plausible pour cette déformation transversale. (Cf. le pli transversal d'Antronapiana, à l'E du Mont-Rose, beaucoup plus grand mais similaire.)

Telles sont les principales modifications de structure par ajustements isostatiques que montre la vallée de Cogne; telles sont les surimpositions qu'ont subies ici les formes résultant des Première et Deuxième phases tectogènes lorsqu'ont cessé les courants subcrustaux.

On pourrait sans doute épiloguer longuement quant à leurs actions plus ou moins déterminantes sur l'hydrographie et l'évolution du modelé en cette zone des Alpes; mais ces questions de géographie physique ressortent suffisamment de la Carte et de remarques faites dans les pages suivantes pour qu'il n'y ait pas lieu d'allonger cette Notice à leur propos.