Zeitschrift: Archives des sciences [1948-1980]

Herausgeber: Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève

Band: 28 (1975)

Heft: 1

Artikel: Formation des Alpes : explications classiques mais erronées : conception juste

Autor: Amstutz, André

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-739785

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 29.09.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

FORMATION DES ALPES, EXPLICATIONS CLASSIQUES MAIS ERRONÉES, CONCEPTION JUSTE

PAR

André AMSTUTZ

Si la valeur d'une conception scientifique ne réside pas seulement dans la forme initiale d'une coordination apparemment logique et satisfaisante, mais si elle doit se trouver encore plus dans l'aptitude à insérer et à expliquer sans contradictions les choses nouvelles qui apparaissent au fur et à mesure des progrès d'une science, il semble que cette obligation fondamentale, cette condition de validité a été correctement remplie par la conception nouvelle que j'ai avancée dès 1949 dans ces *Archives* et dans les *CR.Ac.sc.* pour une meilleure compréhension de l'orogénèse alpine.

Depuis lors, en effet, un grand nombre d'observations structurales nouvelles et une série de raisonnements irréfutables à propos de mécanismes orogéniques, sont venus s'incorporer dans la conception initiale et l'ont corroborée. Dans ces choses nouvelles, tant chronologiquement que spatialement, rien de contradictoire n'est intervenu; tous les éléments nouveaux se sont insérés normalement.

On le verra, on pourra s'en rendre compte plus loin; mais voyons d'abord ici ce qui caractérise les idées, les principes directeurs et les explications devenues classiques qui règnent, qui pèsent depuis un temps vraiment excessif sur la géologie alpine; *ne serait-ce que pour l'Historique de cette science.*

Trois principes directeurs sont à la base de ces explications devenues classiques, explications imaginées par Argand il y a une soixantaine d'années, adoptées par Staub, et cultivées, entretenues aujourd'hui encore d'une manière quasi-générale, car les variantes ne s'écartent absolument pas de ces principes directeurs:

1) déversement généralisé des nappes penniques vers l'avant-pays,
2) enracinement collectif de ces nappes dans une zone dite des racines,
3) culmination longitudinale de toutes ces nappes dans l'Ossola-Tessin.

Or, le premier de ces principes est erroné, le deuxième l'est également, et le troisième l'est aussi. Car:

a) Les deux premiers principes invoquent une nappe Mont-Rose issue de la zone dite des racines, et un recouvrement Saint-Bernard/Mont-Rose tardif, posté-

rieur aux déversements Sesia. Or, jamais 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 n'aurait raclé que les parties Sesia susceptibles d'être ensuite engagées entre SB et MR; c'eut été trop invraisemblable. Il fallait donc un tour pour soutenir cette thèse, pour justifier cette nappe Mont-Rose et faire vivre ces deux principes, et maintenir en contact direct avec la nappe Mont-Rose une nappe Saint-Bernard également venue de la zone dite des racines; il fallait que le système imagine en même temps que le « pli en retour de Valsavaranche » cet encapuchonnement en profondeur, cette tête de nappe MR plantée dans les masses SB (ou Mischabel, ce qui revient au même). Mais voilà le hic: 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, démontrent que la formation d'un tel encapuchonnement (par coup de charrue, a-t-on dit) est en réalité absolument impossible, étirement et compression ne pouvant tout de même pas être confondus; il suffit d'un sens vraiment très élémentaire de la mécanique pour s'en rendre compte. D'où, la valeur qu'il faut décerner à ces deux premiers principes (solidaires l'un de l'autre).

b) Ces deux principes sont aussi infirmés par les retroussements que le cheminement de lourdes masses Sesia a fait subir à quelques écailles Saint-Bernard reposant sur la zone Mont-Rose. Ces retroussements, qui apparaissent dans la vallée de Cogne et dans le Valtournanche, mettent en évidence l'antériorité des recouvrements SB/MR, contrairement à la chronologie que requiert ces principes. Dans le Valtournanche notamment, si l'on considère la série inférieure d'écailles ou lentilles du faisceau vermiculaire d'Argand comme des éléments Saint-Bernard déversés sur la zone Mont-Rose (Wurmli inf.) et la série supérieure comme la conséquence du retroussement, du retour en arrière d'une partie de ces écailles ou lentilles par le cheminement de lourdes masses Sesia (Wurmli sup.), on a là un processus qui s'encadre parfaitement dans la tectogénèse alpine. Tandis que la conclusion de ces principes directeurs: une invagination de ce faisceau en un grand synclinal lors d'une « phase Mont-Rose » tardive (opération nécessaire pour le système Argand-Staub), c'est un acte contre nature, contraire à la mécanique élémentaire.

Tels apparaissent les deux principes qui, tout au long de la chaîne alpine, de la Méditerranée à Vienne, ont conduit aux constructions, aux **structures irréelles** qui caractérisent les explications classiques mentionnées plus haut. Pour l'avancement de la science, et certainement pas pour perdre du temps en une controverse, il fallait les définir et se rendre compte de leur valeur; il fallait bien, c'était une obligation pour une meilleure compréhension de la tectogénèse alpine, se débarrasser d'idées

---

* Si ce n'est MM. Hermann et GB. Dal Piaz, qui attribuent à la nappe Dent-Blanche des sédiments mésozoiques de la zone Mont-Rose, et qui pensent que « tout le synclinal de la Grivola est en réalité un anticlinal d'une violence unique ». (sic)

fausses, gênantes, nocives; avant de coordonner objectivement, logiquement toutes les données disponibles et d'énoncer cette coordination aussi brièvement que possible dans les pages qui suivent.

Pour ce faire, voyons tout d'abord les facteurs qui ont engendré le géosynclinal alpin pendant le Trias et le Jurassique; puis nous verrons comment l'accentuation de ces facteurs a créé les déversements SB/MR tout au long de la chaîne alpine; puis, les diastrophismes crétacés et tertiaires dans le très important segment valaisan-valdotain, en mentionnant les analogies qui apparaîssent dans le segment grison d'une part, dans les segments grée et cottien d'autre part; et enfin nous examinerons le segment Ossola-Tessin, très complexe, avec les zones de transition aux deux segments contigus, qui nous montreront ce qu'il y a d'erroné dans le troisième des principes directeurs définis ci-dessus.

Phase Géosynclinale

Pour comprendre les causes et le mode de formation du géosynclinal alpin, il faut, me semble-t-il, raisonner sur les faits suivants:

a) Dans la zone Mont-Rose, proportion très grande d'ophiolites (approx. 3/4) dérivant essentiellement de volcanisme basaltique; et non seulement une proportion restreinte de calcaires dolomitiques, mais aussi un manque absolu de ces sédiments néritiques dans les parties médianes de la zone, avec épanchement basaltique directement sur le socle paléozoique; aucun conglomérat.

b) Dans la zone Sesia, ophiolites en quantité moindre que dans la zone Mont-Rose; calcaires dolomitiques apparemment irréguliers.

c) Dans la zone Saint-Bernard, proportion d'ophiolites beaucoup moindre que dans la zone MR (cette proportion d'ophiolites étant tout de même notablement plus grande dans les parties SB proches de la zone MR que dans les parties proches de l'avant-pays !); sédimentation calcaréo-dolomitique abondante, très importante; dans le Val d'Aoste, calcaires gris se chargeant progressivement de micas et quartz de bas en haut et constituant très fréquemment une terme de transition entre calcaires dolomitiques et schistes lustrés, alors que ce passage est toujours brusque dans la zone MR; quelques schistes lustrés conglomératiques.

Il appert de ces faits que la zone Mont-Rose s'est distendue et fissurée dès le début du Trias pour livrer passage au magma basaltique subcrustal, en même temps qu'elle s'affaissait rapidement *. Comment, en effet, pourrait-on s'expliquer autrement cette prépondérance d'ex-basaltes et simultanément cette sporadicité de sédiments néritiques ? Puisque rien ne justifie, ne soutient sérieusement l'idée tout-à-fait arbitraire de décollements, d'enlèvements, de disparitions.

* Argand pensait très justement que la zone Mont-Rose a été la première zone pennique à s'enfoncer dans la mer alpine, et les auteurs qui lui ont opposé une *Reliefumkehrung* l'ont donc contredit dans une partie juste et très importante de son œuvre.

Il appert d'autre part que la zone Sesia a subi une distension et un affaissement moindres. Et il appert aussi de ces faits que la zone Saint-Bernard s'est distendue et affaissée beaucoup moins que la zone Mont-Rose, et qu'elle a ainsi joué un rôle intermédiaire entre l'avant-pays et cette zone Mont-Rose, cette dernière étant rapidement devenue la fosse du géosynclinal alpin.

Et maintenant, comment s'expliquer une telle évolution de ces trois zones si ce n'est par un courant subcrustal prenant naissance sous la zone Sesia, ayant son maximum d'intensité sous la zone Mont-Rose, commençant à s'amortir sous la zone Saint-Bernard et s'amortissant encore plus sous l'avant-pays? Concevoir un courant en sens inverse, ou un courant descendant verticalement, serait évidemment une ineptie quant aux conséquences géologiques; la chaîne alpine en serait renversée, ou du moins toute différente.

Mais, si l'on peut ainsi, par simple bon sens, indépendamment de toute théorie, comprendre que le géosynclinal alpin est résulté d'un courant subcrustal dirigé vers l'avant-pays, il faut maintenant confronter cette notion et celles qui émanent du travail très approfondi et très important de Rittmann sur les causes thermodynamiques de la formation des géosynclinaux. Or, la concordance est parfaite. La coordination de ce que l'on peut observer dans les zones Mont-Rose, Saint-Bernard et Sesia, la déduction qu'on en peut tirer, et les raisonnements de Rittmann sur les gradients thermiques et leurs conséquences, convergent complètement sur le sens et le mode d'action du courant de convection créateur de géosynclinal, sur les fissurations et le volcanisme basaltique qu'il engendre. Mais à cela les raisonnements de Rittmann ajoutent ces considérations capitales, qui ne peuvent naturellement pas être déduites directement de la géologie alpine, mais qu'il importe d'enregistrer ici pour une compréhension plus complète de celle-ci. Ce sont: *a)* le moteur d'un courant subcrustal réside dans les gradients thermiques horizontaux de la pente qui est à la base de l'écorce terrestre au bord d'un continent; *b)* corollaires: ce courant naît sous cette pente; c'est un phénomène local; son origine n'est pas à rechercher en arrière de cette pente; partant, les jeux de plaques rigides, actuellement à la mode, ne sont pas du tout nécessaires pour comprendre la tectogénèse alpine; ces jeux sont même, pour cela, aussi gênants qu'inutiles.*

Ce qui se passe à la base de l'écorce terrestre, entre les masses plus ou moins visqueuses d'un courant subcrustal et les masses sus-jacentes, consolidées mais éminemment déformables, rhéomorphiques; ce qui crée les entraînements par friction et les variations de forme de cette base, ce qui évolue dans les champs de forces, on peut le comprendre par le déclanchement de la Première phase tectogène encore mieux qu'en pensant à la simple Phase géosynclinale. Nous allons donc aborder

---

* Le concept actuellement à la mode de *plate tectonic* me paraît aussi être déficient. Car l'écorce terrestre est sans doute *partout* malléable, déformable dès qu'elle est sollicitée par des courants subcrustaux locaux, et ce ne sont vraisemblablement pas des jeux, des poussées de *plaques rigides* qui sont la cause des orogénèses et qui peuvent expliquer l'arc alpin.

cette Première phase, mais auparavant revenons à la surface, sous-marine, de cette écorce terrestre et ajoutons simplement qu'à la sédimentation néritique envisagée plus haut ont succédé des sédiments triasiques et jurassiques très divers mais gréso-marneux en majeure partie, avec la persistance de grandes différences entre les trois zones penniques: volcanisme basaltique beaucoup moindre dans la zone SB que dans la zone MR, mais sédimentation détritique et calcaire très importante dans la première, avec quelques émergences et conglomérats; la zone MR étant devenue une longue fosse géosynclinale (on n'a jamais trouvé dans cette zone Mont-Rose, je le répète, le moindre conglomérat).

Première phase tectogène

Le déversement de masses Saint-Bernard dans la fosse géosynclinale Mont-Rose devait inéluctablement succéder à une Phase de subsidence et sédimentation géosynclinale; ce déversement devait nécessairement se produire, à un moment prédestiné, comme une conséquence ultime, comme une dernière manifestation du courant subcrustal créateur du géosynclinal. Car:

Ce courant subcrustal impliquait évidemment: *a)* sous la zone Sesia, un départ de magma et un entraînement par friction des masses rhéomorphiques sus-jacentes, tendant non seulement à étirer mais aussi à diminuer graduellement l'inclinaison de la pente infracrustale en cette zone; *b)* sous la zone Mont-Rose, une accélération de la translation, avec affaissement et étirement continuels de cette zone; *c)* sous la zone Saint-Bernard, un commencement d'amortissement, de ralentissement du courant, tendant en conséquence à ne pas entraîner plus loin, à accumuler là les masses rhéomorphiques provenant de l'amont, et créant donc là un bombement, un début de bourrelet, avec augmentation continuelle de la pente initiale.

D'où, comme conséquence de ces entraînements par friction, de ces déplacements de masses rhéomorphiques à la base de l'écorce terrestre: un raccourcissement graduel et simultanément une inclinaison continuellement croissante de la pente initiale Sesia-St.Bernard; puisqu'en amont la sous-face Sesia tendait à l'horizontale, et puisqu'en aval, sous la partie Saint-Bernard contiguë à la zone Mont-Rose, il se formait un début de bourrelet tirant vers le bas la pente Mont-Rose et la rendant toujours plus raide. (Cf. les deux premières des douze coupes au travers de l'écorce terrestre parues en 1971 dans les *Eclogae.*)

Or, l'intensité, la vigueur d'un courant magmatique, ses possibilités d'entraînement par friction, sont fonction de sa vitesse, qui elle-même est proportionnelle à l'inclinaison; Pekeris d'une part, Rittmann d'autre part l'ont démontré. Il appert donc que l'intensité du courant magmatique créateur de géosynclinal s'est graduellement amplifiée, du début à la fin du Trias, et encore plus durant le Jurassique (nous verrons plus loin les raisons de cette datation). Ce qui implique naturellement des entraînements et des déformations toujours plus importants, aboutissant tout d'abord

à une flexure entre Saint-Bernard et Mont-Rose, puis, au travers de celle-ci, à une rupture sous forme de subduction cisaillante, lorsque la résistance de l'écorce terrestre a cédé aux tensions accumulées.*

Résultat de cette rupture: le déversement sous-marin de masses SB dans la fosse MR. Tout d'abord par un *phénomène primordial*: quelques subductions cisaillantes faites successivement et côte à côte, créant ainsi la nappe à l'état initial, embryonnaire; puis immédiatement ensuite, le *phénomène complémentaire et amplificateur*: l'écoulement par gravité de ces masses SB dans la fosse MR, jusqu'à ce que celle-ci soit comblée, jusqu'à recouvrir complètement de masses paléozoiques et mésozoiques SB la couverture essentiellement basaltique MR.

Tel est le mode de formation des vastes recouvrements Saint-Bernard/Mont-Rose, les plus importants des Alpes, qu'il faut maintenant attribuer, tout simplement, aux premiers grands mouvements de la chaîne alpine, et non aux derniers, comme l'imaginent tous les traités et quasi-toutes les autres publications considérant cette question primordiale.**

Deuxième phase tectogène

En même temps que la Première phase tectogène se manifestait en surface par les déversements SB/MR, il devait forcément se créer à la base de l'écorce terrestre, sous la zone St.Bernard, un grand bourrelet asymétrique, car c'est là que devaient s'accumuler les masses rhéomorphiques entraînées par le courant subcrustal créateur de géosynclinal puis de subduction cisaillante; quelques notions de mécanique élémentaire et de rhéologie permettent de le comprendre, de s'en rendre compte. Naturellement ce bourrelet ne pouvait être qu'asymétrique, très asymétrique, puisque créé par un seul courant; comme peuvent être très asymétriques les dunes.

Or, sous le flanc nouvellement créé de ce bourrelet devait naître et croître un second courant subcrustal, plongeant en sens inverse du premier; les raisonnements

---

* Avant le déclanchement de la subduction cisaillante, deux groupes de forces agissaient, s'opposaient en cette zone de l'écorce terrestre: *a)* forces dirigées vers l'avant-pays mais descendantes, plus ou moins parallèles au courant subcrustal, dérivant d'entraînement par friction dans les parties basales rhéomorphiques, et se transmettant de proche en proche dans les parties sus-jacentes; *b)* forces horizontales ou subhorizontales, s'appuyant sur l'avant-pays et constituant la résistance aux entraînements par friction. Or, lorsque des forces s'opposent non pas en sens strictement inverse mais avec une différence angulaire dans leurs directions, il se crée non pas un simple écrasement, mais ce que l'on dénomme en mécanique rationnelle un **effort tranchant.** D'où, un cisaillement net dans les hauts de l'écorce terrestre, rhéomorphique au-dessous.

** Dans le segment cottien-grée, la fosse géosynclinale Mont-Rose et son volcanisme basaltique sont représentés par les ophiolites qui s'étendent du Grand-Paradis au Paléozoique Dora-Maira, et par les ophiolites du Viso, Rocciavrè, etc. Les écailles qui s'étagent sur les bords W de ces aires ophiolitiques et paléozoiques, particulièrement bien visibles entre la Rocciamelone et Suse, correspondent aux déversements Saint-Bernard de la Première phase tectogène (les pendages ayant été modifiés lors des ajustements isostatiques). Tandis que les ophiolites du Mont-Genèvre, etc. sont apparemment allochtones sur les schistes lustrés et appartiennent vraisemblablement aux déversements de la Deuxième phase tectogène.

et les conclusions de Rittmann et de Pekeris sur les causes thermodynamiques des courants magmatiques permettent de n'en pas douter. Voyons donc, puisqu'il en est ainsi, ce qu'a créé l'intervention de ce « second courant » alors qu'auparavant il n'en existait qu'un seul, le « courant primordial ».

L'accroissement du second courant a naturellement suivi celui du bourrelet. Jusqu'à la Première phase tectogène, le flanc N du bourrelet n'était pas important par rapport à l'autre flanc, et ce courant nouvellement engendré avait également beaucoup moins d'importance que le courant primordial; il n'en était qu'un effet accessoire; pas encore un élément moteur de la tectogenèse.

Mais lors du déclanchement des quelques subductions cisaillantes de la Première phase tectogène, la base de l'écorce terrestre a rapidement changé de forme. Des masses rhéomorphiques entraînées par les forces émanant du courant primordial sont descendues obliquement vers N, et cette translation, tout en agrandissant, en approfondissant le bourrelet, lui a donné un flanc septentrional raide et important, comme je l'ai figuré dans la troisième des douze coupes précitées.

Dès lors, puisque l'intensité, la vigueur d'un courant magmatique est fonction de sa vitesse, qui elle-même est proportionnelle à l'inclinaison, *le second courant est devenu plus important que le premier, et il a naturellement fait incliner vers SE la résultante des forces d'entraînement émanant des deux courants.* D'où, au bout du temps nécessaire à l'accentuation de ces nouvelles conditions, sont nées de nouvelles subductions cisaillantes, mais en sens inverse des précédentes.

Deuxième phase tectogène est sans doute une appellation parfaite pour l'ensemble de ces nouvelles subductions. Cisaillantes dans les hauts de l'écorce terrestre, rhéomorphiques plus bas, ces subductions se sont faites à l'inverse des précédentes; elles ont fait descendre obliquement et ont engagé sous la zone Sesia les masses Mont-Rose recouvertes d'éléments Saint-Bernard lors de la Première phase; autrement dit, elles ont entraîné sous la zone Sesia le « complexe SB/MR ».

Mais l'évolution de cette Deuxième phase n'a pas été aussi simple que celle de la Première. Non seulement elle n'a pas été pareille tout au long de l'arc alpin, mais dans les deux segments de cet arc où elle apparaît avec le plus de clarté et d'importance: le segment valaisan-valdotain et le segment grison, il faut distinguer dans cette Deuxième phase trois périodes de subduction du Complexe SB/MR sous la zone Sesia, et entre elles deux « phénomènes intercalaires » que nous allons définir ci-dessous. Ces trois périodes correspondent, par ordre d'ancienneté, aux nappes Dt.Blanche, Mt.Mary, Emilius, et aux nappes Err-Bernina, Sella-Platta, Margna, avec quelques subdivisions provenant soit de cisaillements accessoires, soit de ruptures, d'écaillages pendant les glissements.

C'est sans doute dans le Val d'Aoste que l'on peut le mieux reconstituer l'évolution de ces trois périodes de subductions et de leurs « phénomènes intercalaires ». Car on est pas encombré là de granites intrusifs, et de nombreux affleurements

d'accès facile témoignent admirablement du mode de formation des trois nappes et de leurs écailles, du laminage et des compressions de part et d'autre des surfaces de cisaillement, et des glissements, des écoulements consécutifs. Voyons donc cette évolution, mais pour cela examinons tout d'abord les affleurements des parties radicales des trois nappes, voyons bien tout d'abord ces phénomènes de surface, pour pouvoir d'autant mieux en induire les causes profondes, pour comprendre d'une part les variations des deux courants subcrustaux et des forces d'entraînement par friction qu'ils impliquent, et d'autre part les variations de forme du bourrelet infracrustal, toutes ces variations étant simultanément, conjointement des causes et des effets.

De Montalto-Canavese jusqu'à Donnaz, la zone Sesia n'a été modifiée tectoniquement que par les ondulations que montrent les gneiss albitiques et micaschistes dérivant de volcanites acides postorogéniques et de roches détritiques connexes, restes de la vaste « couverture permocarbonifère hercynienne » qui était sans doute en majeure partie horizontale ou subhorizontale au Trias encore.

De Donnaz à Verrès, et dans la vallée de Champorcher, et dans celle de Gressoney, s'étagent les subductions cisaillantes correspondant à la base des nappes Dent-Blanche, Mont-Mary et Emilius. Ci-dessous leur aspect en surface, leur description, extraite de pages parues en 1971 dans ce périodique-ci.

Entre Donnaz et Bard, apparait la *première* des subductions cisaillantes de la Zone Sesia. La surface principale de cisaillement plonge là env. 50° vers NW; mais elle a évidemment subi ce qu'ARGAND dénommait très justement un « renversement », ultérieur sinon tardif; originellement, au début de la Deuxième phase tectogène, elle devait être inclinée 40-60° vers SE; soit, un basculage d'env. 90°, pour des raisons que nous verrons plus loin. — La partie tirée en profondeur et laminée (sous-jacente à l'origine mais sus-jacente aujourd'hui, par suite du renversement) montre une schistosité parallèle à la surface de cisaillement, mais cette schistosité n'est pas finement foliacée, car on est là dans une zone profonde de la subduction, une zone qui était relativement plastique, quelque peu fluidale, rhéomorphique, (peut-être 10.000 m), une zone plus profonde que celle du Val Bognanco par exemple. Une zone profonde, jusqu'à laquelle n'ont pas été entraînés d'éléments mésozoïques. — Les strates permocarbonifères de la partie surmontant à l'origine la surface de cisaillement mais sous-jacentes aujourd'hui, sont inclinées de 20 à 30° en moy. vers NW, et présentent une multitude de plis de l'ordre du m, qui témoignent des compressions faites au-dessus de la surface principale de cisaillement, ici comme partout dans les Alpes (et sans doute ailleurs dans le monde).

Au N de Bard et de Hône, la *schistosité de subduction* des gneiss permocarbonifères diminue graduellement et laisse finalement les gneiss à peu près massifs. Puis, près du km 25, dans la zone des quatre lentilles ophiolitiques de la carte 100.000, il y a de nouveau une très forte schistosité dans les gneiss permocarbonifères, une schistosité plongeant 70 à 80° vers SE. On est évidemment là dans une *deuxième* zone de subduction cisaillante, où se retrouve très clairement, comme à Bard, ce phénomène si général dans les Alpes: laminage et étirement sous la surface principale de cisaillement, compressions au-dessus. Celles-ci apparaissent, en effet, au bord de la route dans d'énormes blocs qui sont tombés d'au-dessus de la surface principale de cisaillement et qui montrent de très beaux replis témoignant de fortes compressions.

Au NW d'Arnaz, entre Barme et Issogne, apparait une *troisième* zone de subductions cisaillantes, faites ici en série, côte à côte, les pendages étant de 40-50° vers SE, et les dernières subductions effaçant les compressions des premières. Le complexe SB/MR s'enfonce ici sous le bord septentrional de la Zone Sesia.

Plus à l'W, dans la vallée de Champorcher, on retrouve les structures précédentes. Près de Hône, les schistosités de Bard. Près de Pontbozet, les schistosités voisines du km 25.

Et, avant Champorcher, des lames du genre de celles de Barme, et le complexe SB/MR s'enfonçant sous la zone Sesia.

De même, plus à l'E, dans la belle vallée de Gressoney, des structures analogues. De Pont-Saint-Martin jusqu'aux abords de Champsil, des gneiss permocarbonifères avec des ondulations du genre de celles qui règnent entre Montalto et Donnaz. Puis, un peu au N de Champsil, sur le flanc oriental de la vallée, apparait une *première* schistosité de subduction, plongeant 60-70° vers NW, par suite d'un « renversement » d'env. 90°. Sur l'autre versant de la vallée, la surface principale de cisaillement suit probablement le bord septentrional de la grande masse kinzigitique, antécarbonifère, qui, lors de la subduction, a été surélevée et a donc d'autant plus de probabilité d'affleurer là. Un peu plus au N, des strates de gneiss non schistifié, à faible pendage. Puis, du M. Tisse au col Ranzola, une *deuxième* zone de schistosité de subduction, plongeant 40-50° vers SE et traversant la vallée. Ensuite, entre Gressoney-Saint-Jean et Gressoney-Trinité, une *troisième* zone de subduction cisaillante, constituée par une série de lames gneissiques et mésozoïques, plongeant vers SE et surmontant la couverture ophiolitique Mont-Rose.

Telles sont les traces dans le Val d'Aoste des subductions de la Deuxième phase tectogène (qui peut bien être dénommée aussi, plus courtement, Phase Sesia). Ce ne sont là, évidemment, que des effets en surface de causes profondes, les effets de translations plongeantes déclanchées par la résultante des forces d'entraînement émanant des deux courants en action sous le bourrelet: le courant primordial et le courant secondaire, dont les raisons d'être ont été indiquées plus haut, avant la description des affleurements. Analysons donc ce qui a dû se passer en profondeur durant la Phase Sesia, et voyons ci-dessous, chronologiquement, la succession des translations rhéomorphiques plongeant obliquement et modifiant continuellement la forme du bourrelet infracrustal, éminemment fluidal, rhéomorphique.

a) Première période : Les raisonnements qui nous ont fait entrer en matière pour la Deuxième phase tectogène (p.20) nous ont fait comprendre qu'après la Première phase le bourrelet infracrustal était très asymétrique et qu'il en est forcément résulté des subductions en sens inverse des précédentes. La première de ces subductions Sesia est celle qui apparaît entre Donnaz et Bard; décrite ci-dessus. Elle a simultanément, conjointement, créé *la base de la nappe Dent-Blanche et le dos de la nappe Mont-Mary*, effets de surface; alors qu'en profondeur la translation rhéomorphique plongeante vers SE modifiait beaucoup le bourrelet, en augmentant fortement l'inclinaison du flanc SE et en rendant celui-ci plus raide que le flanc NW; créant ainsi une asymétrie inverse de la précédente.

b) Phénomène intercalaire : Cette nouvelle forme de bourrelet, cette nouvelle asymétrie impliquait naturellement une nouvelle inversion de la résultante des forces d'entraînement émanant des courants en action sous le bourrelet. D'où, au bout du temps nécessaire à l'accentuation de ces nouvelles conditions, un nouveau déplacement de masses rhéomorphiques, une nouvelle variation de forme du bourrelet, avec augmentation d'inclinaison du flanc NW et diminution au flanc SE; constituant, entre la période Dent-Blanche et la période Mont-Mary qui va suivre, ce qu'il convient de dénommer un « phénomène intercalaire », avec beaucoup d'ampleur en profondeur mais sans cisaillement important en surface.

c) Deuxième période : Cette réitération, ce retour aux conditions précédant la période Dent-Blanche devait naturellement produire une nouvelle inversion de la résultante, et créer en profondeur une deuxième translation rhéomorphique plongeante vers SE, tandis qu'en surface se créait conjointement *la base de la nappe Mont-Mary et le dos de la nappe Emilius.*

d) Second phénomène intercalaire : Les conditions créées par la première période de subduction ont été répétées par la deuxième période; forme de bourrelet analogue; flanc SE plus raide que celui du NW; même inclinaison de la résultante. D'où, en profondeur, même déplacement de masses rhéomorphiques vers NW, créant une asymétrie inverse de la précédente.

e) Troisième période : Cette nouvelle inversion de la résultante, ce retour aux conditions du début de la Deuxième phase a produit, par trois cisaillements successifs, *les trois grandes écailles de la nappe Emilius.*

Telles sont les inversions successives de la résultante des forces d'entraînement émanant des deux courants subcrustaux, les alternances des translations rhéomorphiques plongeant obliquement et modifiant continuellement la forme du bourrelet infracrustal, les alternances de l'asymétrie de ce bourrelet; telles sont les causes profondes, infracrustales, dont sont résultées les nappes Dent-Blanche, Mont-Mary et Emilius dans leurs parties radicales.

Mais ce qui précède n'a cependant constitué que le *phénomène primordial* de la formation des trois nappes Sesia, qui n'ont été, par les subductions cisaillantes, créées qu'à l'état embryonnaire, à l'état de prélude. Tandis que la très grande extension qu'ont pu ensuite acquérir ces nappes, dérive, elle, du *phénomène complémentaire et amplificateur* qui a immédiatement suivi chacune des subductions cisaillantes: les écoulements par gravité dans la dépression longitudinale engendrée par la première subduction puis élargie et approfondie par les deux autres.

Pour que le lien de cause à effet apparaisse encore mieux entre ces subductions et ces écoulements, il importe, me semble-t-il, de bien distinguer ces deux facteurs dans le mécanisme créateur d'écoulement subséquent. Lors d'une subduction cisaillante, en même temps que naît un sillon, une dépression longitudinale d'un côté de la surface de cisaillement, il se produit de l'autre côté une surélévation, puisque les masses entraînées obliquement en profondeur, sous la surface de cisaillement, augmentent là l'épaisseur de l'écorce terrestre et ont donc forcément tendance à soulever les masses se trouvant au-dessus. A la dépression s'ajoute donc le facteur très important qu'est la surélévation voisine, pour créer des flux, des écoulements, et rétablir ainsi l'équilibre gravifique rompu par la subduction cisaillante.

Quant aux raisons qui m'ont amené à considérer chronologiquement la subduction Bard sous Donnaz, créatrice de la nappe Dent-Blanche, comme la première des subductions Sesia, je ne les ai pas encore indiquées dans ces pages-ci, mais les voici. Les masses Sesia de la nappe Dent-Blanche, en parcourant des dizaines de km,

ont cheminé beaucoup plus que les masses Emilius et Mont-Mary, et cela n'aurait pas pu se faire si elles n'avaient pas bénéficié du cheminement effectué au-dessous d'elles par ces dernières. La nappe Emilius, dernière en date, n'a fait qu'un cheminement restreint, tandis que les deux autres, en glissant l'une sur l'autre, sont évidemment allées d'autant plus loin dans la grande dépression longitudinale, dans le vaste sillon qu'avait créé initialement la subduction cisaillante Bard sous Donnaz, et qu'ont ensuite progressivement agrandi les deux suivantes.*

Reste à indiquer ici les causes du renversement (approx. 90°) de la surface de cisaillement Bard-Donnaz, créatrice de la nappe Dent-Blanche. Ce renversement ne provient pas d'une « sous-poussée insubrienne » que les explications classiques imaginent et placent tout à la fin de la tectogénèse alpine. Comme je l'ai indiqué en 1971 dans ce périodique-ci, ce renversement s'est fait en très grande partie pendant le phénomène intercalaire qui a immédiatement succédé à la première période de subductions Sesia; car la résultante des deux courants subcrustaux était alors inclinée vers le NW, et tendait d'une part à entraîner vers NW les parties basses de la surface de cisaillement, et d'autre part à déverser les parties hautes dans la dépression créée au SE par ce mouvement général; double raison pour faire basculer la surface de cisaillement, pour produire une très grande partie du renversement actuel. Ensuite, lors du second phénomène intercalaire et de la Quatrième phase tectogène, qui répondent toutes deux à une même inclinaison de la résultante des forces dérivant des courants subcrustaux, une accentuation du basculage a pu se faire et produire les pendages actuels. Tandis que la surface de cisaillement de la deuxième période a été beaucoup moins déformée; elle n'a pas été renversée et n'a subi que de fortes accentuations de pendage; puisqu'elle est postérieure au premier phénomène intercalaire. Quant à l'ensemble Emilius né de la Troisième période, il n'a évidemment pas subi de basculage, puisqu'il est postérieur au *second* phénomène intercalaire.**

Pour le but que veut atteindre cette publication-ci il n'est pas nécessaire de relater ici les structures des nappes Margna, Sella-Platta, Err-Bernina. Ne chargeons donc pas ces pages-ci et notons simplement, d'après les très importants travaux de Staub et de Cornelius, que la N. Bernina comporte dans ses hauts du Néocomien (et du flysch mésocrétacé datant vraisemblablement de l'écoulement); la N.Sella, de l'Eo-

---

* Les trois principaux éléments de la nappe Emilius (deux grandes écailles gneissiques sur une écaille ophiolitique) proviennent de cisaillements successifs dans la zone radicale; mais pour la genèse des diverses écailles existant dans les nappes Dent-Blanche et Mont-Mary, il est bien difficile de faire la part des cisaillements secondaires dans les zones radicales, et celle des écailles qui ont pu se former pendant le glissement, en même temps qu'ont pu naître des involutions ou des plis d'écoulement tels que ceux qu'Argand et moi avons décrit à l'arrière de la N.Emilius.

** Ne pas comprendre que les gneiss albitiques minuti dérivent essentiellement de volcanites permocarbonifères, peut amener à des conceptions tectoniques invraisemblables! Pour MM. Carraro, Dal Piaz & Sacchi (Mem. Soc. geol. It., vol. 9, 1970) quelques recouvrements de gneiss antécarbonifères sur du Permocarbonifère des zones Sesia et d'Ivrée pourraient être non pas alpins mais hercyniens; alors que le Permocarbonifère constitue là une couverture postorogénique. (Voir les sept lignes concernant le Permocarbonifère au bas des coupes parues dans Eclogae 64/1)

crétacé aussi; la N. Margna, de l'Oberjura mais pas de Crétacé, peut-être parce que cette zone était déjà à l'Eocrétacé recouverte d'éléments des nappes précédentes; les trois périodes de subductions cisaillantes étant vraisemblablement, d'après ces données-ci et surtout d'après les structures de l'Ossola-Tessin, éocrétacées. Et notons aussi que les écoulements consécutifs dans la grande dépression valaisanne ont duré jusqu'à la fin du Crétacé, et même jusqu'aux subductions éocènes de la Cinquième phase (par ex. le substratum paléocène du Barrhorn et des nappes du Schams).

Troisième phase tectogène

L'évolution du segment Ossola-Tessin a été très différente de celle des segments valaisan-valdotain et grison, tant pour la tectogénèse que pour la sédimentation géosynclinale triasique et jurassique, qui a été là beaucoup moins importante, moins abondante que dans les segments contigus.*

Pour la Première phase tectogène il ne paraît pas exister de différence qualitative entre ces trois segments; mais la Deuxième phase a été dans l'Ossola-Tessin en quelque sorte avortée et remplacée là, en grande partie, par les quatre subductions cisaillantes simploniques, dont les directions sont différentes de celles des subductions Sesia, et dont l'ensemble doit être attribué à une Troisième phase tectogène; une phase qui est propre à l'Ossola-Tessin et qui, contrairement aux explications classiques, ne se retrouve nulle part ailleurs dans les Alpes.

Nous allons, dans ces pages-ci, voir les caractères essentiels des quatre nappes simploniques et les autres particularités du segment Ossola-Tessin; mais auparavant il faut bien envisager ce qui s'est passé dans ce segment entre la Deuxième et la Troisième phase, il faut bien comprendre qu'entre les phases Sesia et simplonique, toutes deux avec subductions dans le même sens, il s'est produit un « phénomène intercalaire » majeur, très important, avec subduction en sens inverse; par suite d'une inversion de la résultante des forces d'entraînement émanant des deux courants en action sous le bourrelet infracrustal.

Rappelons pour cela, pour bien comprendre les causes profondes et les effets en surface de la chaîne alpine, qu'à la fin de la Deuxième phase tectogène, plus exactement à la fin de la période Emilius, le bourrelet infracrustal avait un flanc S plus raide que le flanc N, et, partant, une résultante plongeant vers N. Il devait donc se produire, dans ces conditions, une subduction vers N, avec déversement en surface vers S. D'où, la *schistosité de subduction* Camughera dans l'Ossola et celle du C. Forcola entre Tessin et Grisons. Et, partant, les deux plis-failles, Camughera et Loranco, que j'ai clairement figurés sur la coupe parue en 1965 dans les *CR.Ac.sc.*, dans les *Eclogae* en 1971, et sur la carte Ossola-Grisons précédant ces pages-ci.

---

* Cette différence de sédimentation géosynclinale peut bien provenir d'une morphologie initiale de l'avant-pays qui a fait déboucher vers ces segments contigus plutôt que vers l'Ossola-Tessin des fleuves chargés d'éléments détritiques.

Cet intermède entre les Deuxième et Troisième phases étant ainsi bien défini, voyons maintenant la genèse des quatre nappes simploniques:

a) A la fin de l'intermède, la forme du bourrelet et le sens de la résultante appelaient la subduction vers S créatrice de *la base de nappe Verosso-Berisal et du dos de nappe Monte-Leone.* Comme le montre clairement la carte Ossola-Grisons précédant ces pages-ci, la surface de cisaillement de cette première subduction de la série simplonique coupe dans le Val Vigezzo la dernière surface de cisaillement Sesia, avec un angle de 20 à 30°. Sur la coupe précitée (*CR.Ac.sc.* et *Eclogae*) on la voit couper dans le Val Bognanco les structures principales SB/MR de la Première phase tectogène, tandis que d'autres sectionnements, avec des angles variant de 0 à 90°, sont décrits dans un travail paru en 1954 dans ces *Archives.* Quant à la schistosité de subduction, qui est contemporaine mais pas forcément simultanée du cisaillement, on la voit sur la coupe comme sur le terrain décroître graduellement en s'éloignant de la surface de cisaillement (le plus bel exemple des Alpes).

b) Un « phénomène intercalaire » beaucoup moins important que celui qui a créé les structures Camughera et Forcola envisagées ci-avant, mais vraisemblablement analogue à ceux des subductions Sesia, a produit une nouvelle inversion de la résultante et préparé dès lors la subduction suivante.

c) Cette subduction a créé simultanément, conjointement *la base de N. Monte-Leone et le dos de N. Lebendun*, avec une schistosité de subduction marquant cette dernière nappe dans toute son épaisseur, parce qu'elle est d'une minceur extraordinaire par rapport à son étendue (voir note infrapaginale p.11).

d) Un « phénomène intercalaire » analogue au précédent.

e) La subduction créatrice de *la base de N.Lebendun et du dos de N.Antigorio*, avec sa schistosité de subduction. NB. très important: La surface de cisaillement de cette subduction a coupé obliquement, avec un faible angle, la surface dorsale de N. Lebendun, et l'a terminée à l'arrière en forme de biseau, de coin effilé; *cette nappe n'a donc jamais eu de racine;* phénomène qui n'est pas rare dans les Alpes puisque les N. Wildhorn et N. Diablerets sont dans ce cas.

f) Un « phénomène intercalaire » analogue au précédent.

g) La subduction cisaillante créatrice de *la base de N.Antigorio et de la surface dorsale Verampio*, toujours avec la même schistosité de subduction.

Telles sont, en résumé, les causes profondes, les coupures de structures antérieures, les schistosités et les autres particularités des quatre subductions et nappes simploniques; et celles des subductions Camughera et Forcola faites auparavant, *en sens inverse*, entre les Deuxième et Troisième phases.*

Remarquons que ces coupures (que la feuille Tessin de la Carte générale au 200.000 ignore complètement !) sont évidemment d'une importance capitale pour comprendre la chronologie de la formation des Alpes. Et remarquons aussi que les

---

* **PS.** Dans le vol. 67/3, p. 509, des *Eclogae* qui vient de paraître, P. Bearth m'attaque avec une violence et un simplisme dignes de son incapacité de voir et de comprendre tant les nappes simploniques et les autres structures de l'Ossola, que la pétrographie du Permocarbonifère alpin. Répondre davantage à cette violence et à cette navrante incapacité de comprendre, serait, évidemment, du temps perdu. (L.Duparc avait l'habitude de dire: faire et laisser braire.)

nappes simploniques, le dos de la N. Monte-Leone surtout, mettent admirablement en évidence ces deux caractéristiques des subductions cisaillantes dans les Alpes:

a) sous la surface plus ou moins inclinée de cisaillement, une «schistosité de subduction» constamment parallèle à cette surface et graduellement décroissante en s'éloignant de celle-ci; résultant évidemment de laminage, d'étirement, et impliquant naturellement des myriades de glissements différentiels;

b) au-dessus de cette surface de cisaillement, des coupures, des sectionnements de strates sus-jacentes, avec des angles variant de 0 à 90°; et des compressions sous forme de plissements, d'imbrications ou simplement de froncements; ces compressions étant souvent effacées par la juxtaposition de cisaillements successifs.

Quant aux terminaisons E et W des nappes simploniques, il faut bien remarquer qu'elles se font par des surfaces de cisaillement convexes, de forme conchoïdale, s'enfonçant obliquement sur les bords et correspondant à des déviations de la subduction, comme le montrent les cannelures de S.Maria in Calanca (plongeant 30° SE). Bien sûr, ces nappes, phénomènes propres au segment Ossola-Tessin, ne peuvent satisfaire les explications classiques en se prolongeant hors de ce segment.

Quatrième phase tectogène

Il semble que dans le segment valaisan il ne s'est pas fait de subduction cisaillante importante durant une partie du Mésocrétacé, et il semble que cette période d'accalmie soit due à des intensités à peu près équivalentes des deux courants subcrustaux; sans prépondérance de l'un d'eux et, partant, sans résultante inclinée créatrice de subduction rhéomorphique dans la majeure partie de l'écorce terrestre, cisaillante dans les hauts. Dans l'Ossola-Tessin, les subductions simploniques peuvent bien être mésocrétacées, et cette période d'accalmie peut bien avoir été plus courte. De toute façon, les deux courants ont pu s'équilibrer pendant quelque temps, produire une résultante verticale ou subverticale, accentuer graduellement la profondeur du « sillon valaisan » et favoriser ainsi les glissements, les écoulements, et les sédimentations du genre flysch, turbidites, etc.

Mais au Néocrétacé le «courant primordial» a sans doute pris plus d'importance que le « courant secondaire » et la résultante plongeant vers N qui en est résultée a créé la subduction canavesane, entraînant sous la zone Sesia, par un cisaillement, la zone d'Ivrée et sa couverture allant du Permocarbonifère * au Mésocrétacé (on n'a pas trouvé là d'élément plus jeune).

L'inclinaison de la surface de cisaillement varie apparemment beaucoup entre Canavese et Valteline; plongeante plutôt fortement dans le Canavese, plus ou moins plongeante dans l'Ossola-Tessin, subverticale près du lac de Côme. Dans l'ensemble

* Entre Bellinzone et le lac de Côme, au Iorio, ce Permocarbonifère canavesan comporte des rhyodacites et granodiorites transformées en roches intrusives alpines par la feuille Tessin 200.000.

cette subduction est d'un style très différent de celui des Deuxième et Troisième phases tectogènes; mais il convenait cependant de la baptiser Quatrième phase pour bien marquer la transition, avec inversion de résultante, entre les phases penniques et la Cinquième phase, analysée ci-dessous.

Cinquième phase tectogène

Durant l'Eocène une série de subductions cisaillantes a taillé, découpé le socle paléozoique Saint-Bernard et les sédiments mésozoiques accumulés dans le très important « sillon valaisan » (ces sédiments comportant en inclusions quelques lames ou autres éléments paléo- et mésozoiques Sesia, détachés de la nappe mouvante Dent-Blanche et glissés par gravité au milieu de ces sédiments). Ainsi sont nées, à l'état embryonnaire, la N. Niesen, puis les nappes Simme et Brèche, suivies des Médianes. Puis, encore quelques cisaillements et le découpage des zones de Ferret et des Brèches de Tarentaise, et celui de l'autochtone et des écailles para-autochtones contiguës. Que des phénomènes intercalaires rappelant ceux des phases Sesia et simplonique soient intervenus entre ces subductions, c'est plus que probable, mais inutile de répéter ici ce qui a été dit là.

Entre les termes supérieurs des nappes préalpines d'une part, et ceux des bandes résultant de ces subductions cisaillantes éocènes d'autre part, la concordance chronologique est nette, qu'il s'agisse des bandes radicales notées en bleu hachuré sur la carte 300.000 présentée ci-avant (p.12) ou des bandes comprises entre Courmayeur et Morgex. (Flysch crétacé sup. dans Niesen et Simme, paléocène dans Brèche, et flysch partiellement éocène inf. dans Médianes; flysch crétacé sup., paléocène ou autre éocène anté-priabonien dans ces bandes.)

Le lieu d'origine des nappes préalpines est donc évident. Mais ne devrait-on pas maintenant rompre une habitude et cesser d'enraciner les nappes helvétiques au SE du Mont-Blanc dans ces subductions éocènes? Puisque les nappes helvétiques sont pleines d'éléments priaboniens et qu'elles sont donc oligocènes.

Le caractère essentiel de ces subductions éocènes étant ainsi défini, voyons un effet important de ces diastrophismes sur des strates contiguës. Comme je l'ai noté en 1962 dans les *CR.Ac.sc.*, la structure à première vue très étrange du front des nappes simploniques s'explique tout à fait bien par ces subductions éocènes. Il y a là, en effet, des plis accentués et serrés (avec des têtes gneissiques courbées et tirées en profondeur) mis en évidence par quelques coupes de Schmidt et Preiswerk, qui montrent nettement que les parties frontales de ces nappes simploniques ont été remaniées et comprimées postérieurement à leur écoulement; car de telles compressions, de telles structures, sont évidemment à l'antipode des étalements par écoulement que devraient normalement présenter les strates en ces lieux (le régime d'écoulement par gravité des parties indemnes comprises entre cette zone frontale et les zones radicales, étant mis en évidence par l'involution du Monte-Leone-Wasenhorn).

Or, comme je l'ai dit dès 1954 et comme on peut le vérifier dans toutes les zones de subductions, dans toutes ou presque toutes les zones radicales de nappes, les parties surmontant la surface principale de cisaillement présentent (lorsqu'elles ne sont pas proches d'une subduction antérieure) des phénomènes de contraction, sous forme de plis, d'écailles, de froncements; tandis que les parties sous-jacentes sont toujours laminées, étirées, avec une schistosité parallèle à cette surface de cisaillement mais graduellement décroissante avec l'éloignement.

Il appert donc, d'après les emplacements, que les compressions et autres déformations secondaires du front des nappes Monte-Leone et Verosso-Berisal dérivent des subductions de la Cinquième phase tectogène. Elles en sont un effet accessoire. Car ce front de nappes est situé à faible distance au-dessus des surfaces de cisaillement éocènes, et c'est justement là, en cette zone limitrophe pennique, que doivent normalement se trouver les contractions caractéristiques des parties surmontant la surface principale de cisaillement lors de subductions.

Sixième phase tectogène

Durant l'Oligocène, une nouvelle série de subductions cisaillantes a découpé une zone voisine des subductions éocènes envisagées ci-dessus, une zone s'allongeant au NW soit en contiguïté soit à des distances variables. Dans la vallée du Rhône notamment, de Saxon aux abords de Brigue, le premier cisaillement de ces subductions oligocènes a sectionné les dernières surfaces éocènes, en détruisant évidemment sur cet espace les structures éocènes, et en terminant en forme de coin aigu le Paléozoique des massifs Mont-Blanc et Gotthard; tandis que plus au SW et NE l'écart actuel entre ces deux groupes de subductions atteint une dizaine de km.

Avant d'engendrer les nappes helvétiques, ces subductions oligocènes ont créé les quatre écailles ultrahelvétiques (Bex-Laubhorn, Sex-Arveyes, Anzeinde, Plaine-Morte). Il n'y a effectivement rien de plus jeune que le Priabonien dans ces écailles; tandis que les nappes Wildhorn et Diablerets comportent du flysch oligocène inférieur; de même, la N.Morcles, dernière en date.

On retrouve donc, dans cette série de subductions oligocènes, la même cinématique, le même genre de migration graduelle que dans la série Sesia et dans la série simplonique. Ici comme là, à partir de la première subduction cisaillante (Dent-Blanche, Verosso-Berisal, Ultrahelvétique), celles qui ont suivi se sont faites chaque fois à des endroits de plus en plus proches de l'avant-pays; ce qui correspond évidemment, comme il se doit, à un accroissement graduel du flanc septentrional du bourrelet subcrustal. Ce qui s'est passé en surface, dans ces divers cas, correspond donc bien aux causes qui devaient logiquement avoir lieu en profondeur. (Remarquons sur les coupes parues en 1971 dans *Eclogae* 64/1, l'accroissement continuel du bourrelet vers l'avant-pays, connexe de cette migration graduelle; et discriminons bien les

exhaussements concomitants de la tectogénèse de ceux qui dérivent de simples ajustements isostatiques, pour comprendre la succession et l'extension graduelle des exhaussements à partir du Pennique jusqu'aux Alpes bernoises et Mont-Blanc.)

Puisque, dans les séries de subductions Sesia, simploniques et helvétiques, les cisaillements se sont faits à proximité les uns des autres mais avec une migration graduelle vers l'avant-pays; et puisque cette proximité n'impliquait évidemment pas un parallélisme absolu; et puisque, dans ces séries, le dos des nappes s'est formé avant la base (abstraction faite de la première nappe); *un peu d'obliquité entre un cisaillement et le suivant, a pu créer des nappes dépourvues de racines dès leur naissance.* Le cisaillement constituant la surface basale d'une nappe, a pu, en effet, couper la surface de cisaillement constituant le dos (préalable) de cette nappe; et celle-ci s'est dès lors terminée à son arrière en forme de biseau, de coin effilé. C'est sans doute ce qui s'est passé, lors des subductions cisaillantes simploniques, pour la mince nappe Lebendun, à propos de laquelle il faut bien constater cette particularité: elle se termine à l'arrière sans racine. Et c'est sans doute aussi ce qui s'est passé, lors des cisaillements oligocènes, pour les nappes Wildhorn et Diablerets, capitales parmi les nappes helvétiques. *Ces nappes n'ont jamais eu de racines*; on le voit sur la coupe Morcles-Sembrancher de la planche insérée ci-avant (p. 12). – Voilà donc résolu le problème que posait ces deux nappes, puisque d'une part on a commis jusqu'à présent la grosse erreur d'enraciner ces deux nappes oligocènes au sud du Mont-Blanc dans des diastrophismes éocènes (sic), et que d'autre part il ne faut pas non plus les enraciner dans la zone oligocène de Chamonix.

Reste à envisager le rôle des nappes helvétiques dans le déplacement, l'écoulement des nappes préalpines, créées à l'état embryonnaire pendant l'Eocène. D'emblée, on peut dire que ce rôle est tout à fait comparable à celui des nappes Emilius et Mont-Mary lors de l'écoulement de la nappe Dent-Blanche. Les subductions oligocènes ont, en effet, agrandi la dépression longitudinale qu'avaient maintenue les subductions éocènes à peu de distance au SE; et au bord de cette dépression agrandie, les nappes préalpines se sont alors trouvées sur le dos des nappes helvétiques, dans un état qui ne différait guère de leur état initial. Dans cette grande dépression longitudinale oligocène, cet ensemble de nappes empilées devait évidemment s'écouler; ces nappes devaient glisser les unes sur les autres (avec le lubréfiant extraordinaire qu'étaient les divers niveaux de gypse triasique), et les éléments tectoniques supérieurs devaient évidemment bénéficier de la somme des glissements, des cheminements effectués par les éléments sous-jacents. Il est donc bien normal que des déplacements atteignant une cinquantaine de km aient résulté de cette *cumulation de glissements*, et que des nappes éocènes à l'origine soient aujourd'hui beaucoup plus en avant que leur substratum tectoniquement oligocène (les exhaussements Mt.Blanc-Aig.Rouges et Aar-Gotthard, lors des ajustements isostatiques, ajoutant une ultime avancée, produisant encore une cumulation de glissements les uns sur les autres).

Septième phase tectogène

Durant le Miocène et le Pliocène, quelques subductions peu cisaillantes se sont faites tout d'abord au pied NW de la chaîne alpine, dans la molasse, etc., puis au-delà, pour former le Jura; tandis qu'au pied SE de la chaîne quelques subductions encore moins importantes ont ajouté quelques dérangements mineurs (inclinaisons, etc.) aux ondulations oligocènes.

Dans la molasse subalpine et dans les éléments contigus, quelques petits cisaillements et quelques subductions mineures n'ayant provoqué que de petits plissements, se sont faits successivement et côte à côte, en effaçant, comme c'est normal lors de juxtapositions, une partie des compressions antérieures.

Dans le Jura, les subductions diffèrent de celles des Alpes. Un décollement au niveau des gypses triasiques (décollement dont on doit la découverte à Buxtorf) remplace ici le cisaillement principal des subductions alpines. Au-dessus, comme il se doit, des compressions sous forme de plissements. Au-dessous, une tendance à l'étirement, mais, étant donné la résistance très amoindrie par le décollement, pas de laminage, pas de schistosité de subduction.

Ajustements isostatiques

Au cours de toutes les subductions, faites alternativement dans un sens et dans l'autre, que nous avons analysées dans les pages précédentes et classées en sept phases tectogènes, une lente élévation de température a naturellement dû se produire dans le bourrelet infracrustal créé progressivement par ces subductions. Il appert, en effet, que les masses rocheuses qui s'enfonçaient et constituaient ce bourrelet, ont été influencées par la température plus élevée des masses magmatiques qui les englobaient; mais il appert aussi que la très faible conductibilité thermique de ces roches a rendu cet échauffement extrêmement lent.

D'autre part, aux flancs du bourrelet et surtout dans les parties basses, une fusion a dû se produire, probablement dès les premières phases mais plus rapidement croissante pendant les deux ou trois dernières phases. A la diminution de la pente qui pouvait en résulter s'ajoutait vraisemblablement une autre cause d'affaiblissement des deux courants subcrustaux, une diminution graduelle du gradient thermique horizontal, cause première des courants subcrustaux.

Dès lors, l'amortissement graduel puis la cessation des courants subcrustaux a évidemment donné libre cours à un mouvement ascensionnel du bourrelet, tendant à rétablir l'équilibre isostatique qu'avait perturbé, pendant la tectogénèse, l'équilibre dynamique correspondant aux courants à composante descendante.

Ce mouvement ascensionnel a naturellement été d'amplitude variable, au gré des irrégularités du bourrelet. Dans les hauts, ces variations d'amplitude ont beaucoup déformé les surfaces résultant des subductions cisaillantes et des écoulements. On en

voit des effets majeurs dans les modifications de pendage qui règnent au flanc NW des soulèvements Mont-Rose et Grand-Paradis, et dans les formes en voûte qui proviennent de l'exhaussement Mont-Blanc et Aar-Gotthard (exhaussement qui a fait fluer encore plus au NW les nappes helvétiques et préalpines).

Mais ces ajustements isostatiques finaux n'ont pas été les seules formes de rétablissement d'équilibre gravifique qui ont eu lieu dans les Alpes. Auparavant déjà, dès les phases penniques, des ajustements isostatiques ont été provoqués localement par les grandes subductions cisaillantes, qui ont fait naître d'un côté du cisaillement une dépression longitudinale, et de l'autre côté une surélévation, puisque des masses entraînées obliquement en profondeur augmentaient là l'épaisseur de l'écorce terrestre, et avaient donc tendance à soulever les masses se trouvant au-dessus. Les écoulements qui ont en chaque cas immédiatement suivi les cisaillements, ont évidemment contribué à rétablir l'équilibre gravifique perturbé par la subduction; mais en même temps que ces déplacements à forte composante horizontale, des mouvements de compensation verticaux ont dû se faire localement, se combinant avec l'action des courants subcrustaux en cours et se traduisant en surface par des complications dans le jeu des immersions et émersions.

Voyons maintenant un autre genre d'ajustements isostatiques, qui sont d'importance fondamentale pour la compréhension des Alpes, mais qui sont aujourd'hui encore complètement méconnus par les explications classiques dont les erreurs capitales ont été démontrées au début de ces pages-ci.

Ce sont les ajustements isostatiques qui ont produit les grands diastrophismes transversaux que l'on observe dans les zones de transition séparant l'Ossola-Tessin du segment valaisan-valdotain d'une part, du segment grison d'autre part. Ils proviennent tout naturellement d'une importante différence d'épaisseur, de profondeur, entre le bourrelet Ossola-Tessin d'une part, les bourrelets des segments contigus d'autre part; cette différence d'épaisseur allant évidemment de pair tant avec une tectogénèse de moindre ampleur qu'avec une sédimentation géosynclinale triasique et jurassique beaucoup moins importante, moins abondante dans l'Ossola-Tessin que dans les segments contigus.

Dès le ralentissement des courants subcrustaux, pour les raisons thermiques indiquées plus haut, et encore plus lors de leur cessation, les mouvements ascensionnels qui devaient forcément se produire, ont évidemment créé d'importantes dénivellations dans les zones de transition de part et d'autre du segment Ossola-Tessin; et c'est naturellement dans la zone SB/MR, au-dessus des parties médianes du bourrelet, que ces dénivellations ont dû se faire au maximum. La preuve en est dans la surrection extraordinairement importante du massif Mont-Rose, qui, avec des pendages modifiés sur son flanc septentrional, domine de plusieurs milliers de mètres les montagnes de l'Ossola. Le débordement latéral qui devait accompagner cette dénivellation, lui a donné cette forme en S (vu du N) que j'ai représentée dans *CR.Ac.sc.* en

1965, avec des pendages qui correspondent exactement à ceux que l'on observe autour d'Antronapiana; tandis qu'en ces lieux tous les pendages diffèrent de ceux des explications classiques passées en revue au début de ces pages-ci. *

Le pli transversal d'Antronapiana n'est pas la seule manifestation d'ajustements isostatiques dans l'Ossola. En voici d'autres. Tout d'abord, dans l'espace compris entre ce pli transversal et le Toce, sur beaucoup de surfaces gneissiques clivées, planes ou cylindriques, apparaissent des lignes droites ou presque droites descendant presque toujours vers l'ENE, en général à 15 ou 20°. Ces lignes correspondent à des axes d'ondulations de l'ordre du cm ou du mm, ou à des séries de stries, de cannelures sur certaines surfaces gneissiques clivées, avec parfois des alignements d'éléments micacés ou chloriteux, et un début de cisaillements microscopiques nouveaux, une tendance à une schistosité nouvelle recoupant la schistosité primordiale sous un angle généralement faible (*Arch.* 1954, p. 433). Pour discerner l'origine de ces lignes, il faut penser aux multiples diastrophismes qui ont affecté les gneiss de l'espace compris entre le grand pli transversal d'Antronapiana et le Toce: tout d'abord l'écoulement vers S des gneiss SB du triangle Domo-Prabernardo (écoulement créateur de microplis), puis les diverses subductions cisaillantes Sesia, Camughera et Loranco, Verosso-Berisal (toutes créatrices de schistosités); et il faut aussi penser à toutes les possibilités de surimposition (et non de superposition) d'une nouvelle schistosité sur une ancienne. Ainsi peuvent se comprendre ces linéaments, qui étaient probablement proches de l'horizontale lors de leur formation. Leur inclinaison actuelle vers l'ENE peut bien résulter d'un mouvement de bascule accompagnant la surrection isostatique du massif Mont-Rose et la création prédestinée, par débordement latéral, du grand pli transversal d'Antronapiana.

A ce grand pli transversal et à ces lignes dérivant d'intersections de schistosités, s'ajoute le facteur suivant pour démontrer l'erreur capitale du troisième des principes directeurs qui pèsent depuis si longtemps sur la géologie alpine. C'est l'inclinaison vers l'ENE de l'arête du dièdre constituant l'enveloppe des ophiolites MR Camughera et Loranco, enveloppe tronquée par le cisaillement qui a créé simultanément la base de N. Verosso-Berisal et le dos de N. Monte-Leone. J'en ai donné les raisons géométriques dans quelques pages venant de paraître dans *Eclogae*, vol. 67/1, auxquelles je renvoie pour ne pas surcharger ces pages-ci.

Quant à l'hydrographie de l'Ossola (où les vallées de Bognanco, d'Antrona et de Macugnaga drainent les eaux de l'W à l'E, et où le réseau est relativement jeune), elle est aussi la négation même du troisième principe directeur des explications clas-

* Un pli transversal *postérieur au déversement de masses SB dans la fosse MR* résoud la question qui a âprement opposé la conception d'Argand et celle de C.Schmidt; conceptions aussi erronées l'une que l'autre, car les gneiss de la zone triangulaire Domo-Prabernardo ne sont pas plus autochtones (Schmidt) que simploniques (Argand, Staub, etc.) et à Antronapiana et il n'y a pas plus de synclinal mésozoique pincé entre des gneiss autochtones, qu'il n'y a de pendages répondant à la culmination longitudinale du système Argand-Staub.

siques envisagées au début de ces pages-ci. Tandis qu'elle est en parfait accord avec les faits et raisonnements exposés ci-dessus.

Tels sont, pour les ajustements isostatiques, les traits essentiels de l'Ossola. Voyons maintenant, entre le Tessin et les Grisons, l'autre zone de transition du segment Ossola-Tessin au segment contigu.

Au lieu d'un grand pli résultant de la surrection du massif Mont-Rose et d'un débordement latéral concomitant, il s'est formé dans cette zone-ci deux grands plis couchés, les plis transversaux du Splugen et du San-Bernardino, comportant apparemment, par endroits, flanc normal et flanc inverse. Dans le Val San-Giacomo, celui du Splugen est accompagné, dans les gneiss minuti, de plongements E et W, et de plis transversaux bien nets de l'ordre du m. Et près de Chiavenna aussi, 600 m à l'W de Bette, on peut observer des charnières de plis transversaux de l'ordre du m dans les gneiss albitiques minuti inclinés vers l'E.

Mais surtout, un phénomène d'importance capitale pour la compréhension de l'orogénèse alpine attire l'attention près de Chiavenna. C'est d'une part l'arrêt net de la schistosité de subduction Cabbiolo-Soazza-Forcola (l'équivalent de la schistosité Camughera !) contre le jeune diastrophisme transversal Splugen-Mezzola; et c'est d'autre part l'arrêt également net des ophiolites MR de Chiavenna contre ce même diastrophisme. Cette schistosité de subduction, créée entre la phase Sesia et la phase simplonique, et cette couverture mésozoique de la zone Mont-Rose apparaissant en fenêtre près de Chiavenna, n'étaient évidemment pas en regard l'une de l'autre comme aujourd'hui, avant que naîsse ce diastrophisme transversal issu tout naturellement d'ajustement isostatique et en quelque sorte prédestiné.

Il appert donc que les bandes mésozoiques NS du Splugen et du San-Bernardino correspondent à des plis transversaux; et cette évidence s'ajoute encore à d'autres raisons pour montrer l'inanité des nappes Tambo et Suretta, nappes classiques mais imaginaires (cf. nappe Mont-Rose), qu'ont engendrées les trois principes directeurs enregistrés au début de ces pages-ci pour l'Historique de la géologie alpine.

CONCLUSIONS

Récapitulons sous ce titre **les notions nouvelles** qu'apportent en géologie alpine les trente années que j'ai passées dans les Alpes occidentales:

1) Les vastes recouvrements Saint-Bernard sur Mont-Rose résultent du déversement de masses SB dans la fosse géosynclinale MR, lors d'une Première phase tectogène, à la fin du Jurassique. Ce déversement, par subduction cisaillante suivie d'écoulement, représente la conséquence ultime de l'accentuation progressive du courant subcrustal créateur de géosynclinal (départ de magma sous la zone Sesia;

accélération et intensité maximum sous la zone Mont-Rose, d'où affaissement relativement rapide, avec étirement, fissuration et très important volcanisme basaltique; amortissement graduel du courant sous la zone Saint-Bernard). *Cf. les subductions analogues, avec séismes profonds, qui se font aujourd'hui autour du Pacifique.*
(En montrant que les recouvrements SB/MR résultent des premiers grands mouvements alpins, je pense faire œuvre utile, car jusqu'à présent toutes les publications traitant de ces recouvrements, d'importance fondamentale, les ont malheureusement attribués aux derniers grands mouvements de la formation des Alpes.)

2) Le bourrelet infracrustal créé par la Première phase tectogène devait être très asymétrique, puisque créé par un seul courant; comme sont très asymétriques les dunes. Et sous le flanc raide de ce bourrelet devait forcément naître un second courant subcrustal, de sens contraire et plus vigoureux que le courant primordial, puisque plus incliné. D'où, les subductions et écoulements Sesia (tout d'abord Dent-Blanche, puis Mont-Mary, puis Emilius; les cheminements Dent-Blanche bénéficiant de la somme des glissements des deux nappes sous-jacentes).

3) Dans le segment Ossola-Tessin les subductions Sesia ont été restreintes et en grande partie remplacées par les quatre subductions simploniques. La première de celles-ci a créé simultanément la base de N. Verosso-Berisal et le dos de N. Monte-Leone; dans le Val Vigezzo et près de Roveredo, elle coupe obliquement les surfaces de cisaillement Sesia (voir carte et coupes insérées ci-avant).

4) Entre les subductions Sesia et les subductions simploniques, il s'est créé dans l'Ossola-Tessin des subductions et des schistosités en sens inverse: celles qui subsistent à Camughera-Loranco d'une part, au sud du C. Forcola d'autre part. Elles proviennent d'une inversion de la résultante des forces d'entraînement par friction issues des courants en action sous les deux flancs du bourrelet infracrustal.

5) L'habitude d'enraciner les nappes Wildhorn et Diablerets au SE du Paléozoique Mont-Blanc dure depuis très longtemps; mais c'est là une erreur. Car ces nappes, pleines d'éléments priaboniens, sont sans doute oligocènes; tandis qu'au SE de ce Paléozoique les subductions cisaillantes sont anté-priaboniennes; ni les unités affleurant là, ni les Médianes, ni Brèche, Simme, Niesen, n'ayant livré le moindre Priabonien. Ces nappes ne s'enracinent donc pas là; elles ne s'enracinent pas non plus à Chamonix, car, comme la N. Lebendun, elles n'ont jamais eu de racines (voir § 11 et coupe Morcles-Sembrancher insérée ci-avant).

6) Dans le segment Ossola-Tessin la sédimentation géosynclinale et la tectogénèse ont eu moins d'ampleur que dans les segments contigus; partant, le bourrelet infracrustal a dû être moins important, moins profond. Dans ces conditions, lors des ajustements isostatiques et des exhaussements, il devait nécessairement se produire des diastrophismes transversaux dans les parties faisant transition entre ces segments. D'où, d'une part le grand pli transversal d'Antronapiana, par débordement latéral

lors de la surrection Mont-Rose, et le drainage des eaux de l'W à l'E par les vallées de Bognanco, Antrona et Macugnaga; et d'autre part, les plis transversaux du Splugen et du San-Bernardino, avec l'arrêt net contre le diastrophisme Splugen-Mezzola que montrent tant les ophiolites MR de Chiavenna que les schistosités de subduction Cabbiolo-Soazza-Forcola (l'équivalent des schistosités Camughera-Loranco).

7) Le pli transversal d'Antronapiana ne peut se concevoir qu'avec cette notion nouvelle résultant de mon travail dans l'Ossola: les gneiss de la zone triangulaire Domo-Prabernardo appartiennent aux masses Saint-Bernard déversées dans la fosse géosynclinale Mont-Rose lors d'une Première phase tectogène. Les deux conceptions qui s'affrontaient là auparavant étaient aussi erronées l'une que l'autre. Car les gneiss Domo-Prabernardo ne sont pas plus autochtones (C. Schmidt) que simploniques (Argand-Staub, etc.) et à Antronapiana il n'y a pas plus de synclinal mésozoique pincé entre des gneiss autochtones, qu'il n'y a de pendages répondant à la culmination longitudinale du troisième principe directeur des explications classiques.

8) Les principales nappes de la chaîne alpine résultent, à mon sens, de subductions plus ou moins cisaillantes suivies d'écoulement dans les dépressions créées par ces subductions elles-mêmes. Il me paraît donc nécessaire de bien distinguer dans les diastrophismes alpins: d'une part le phénomène *primordial* que constituent les subductions provenant d'entraînement par les courants subcrustaux, et d'autre part le phénomène *complémentaire et amplificateur* que représentent les écoulements par gravité. Et il me paraît d'autant plus utile et important de bien faire cette distinction de causes et d'effets, qu'elle n'a apparemment jamais été faite jusqu'à présent dans les considérations émises tant sur la schistosité en général que sur le mode de formation des nappes. (CR.Ac.sc., 1957)

9) Autre conclusion découlant de mon travail dans les Alpes occidentales. Lors des subductions cisaillantes, il se produit régulièrement ce phénomène-ci: *a) laminage et étirement* au-dessous de la surface principale de cisaillement, avec « schistosité de subduction » parallèle à cette surface; *b) compression* au-dessus de cette surface, sous forme d'écailles, plis ou simplement froncements, et *coupure* de strates, avec des angles variant de 0 à 90°. (Cf. la compression faite par la cinquième phase tectogène à l'avant des nappes simploniques dans le Haut-Valais.)

(Ne doit-on pas retrouver ailleurs dans le monde ce corollaire des subductions cisaillantes que montrent si clairement les Alpes; ne doit-on pas retrouver dans toutes les chaînes comportant des nappes, ces étirements (avec *schistosité de subduction*) et ces compressions connexes, de part et d'autre des surfaces de cisaillement? Ce phénomène inhérent à la tectogénèse alpine, n'est-il pas également inhérent à toutes les subductions cisaillantes de l'écorce terrestre...?)

10) Lors de subductions cisaillantes faites en série, successivement et l'une à côté de l'autre, le mode de formation des nappes est à concevoir ainsi: la première des nappes a la surface du sol comme dos et le premier cisaillement comme base (par ex. Verosso-Berisal et Donnaz-Dt.Blanche), mais pour toutes les suivantes, par ce système de cisaillements, le dos de la nappe se forme avant la base.

11) Un peu d'obliquité dans ces séries de cisaillements successifs, peut faire couper une surface de cisaillement par la suivante, et ainsi peut se créer une nappe dépourvue de racine dès sa naissance. Ainsi, la coupure de la surface dorsale par le cisaillement basal doit terminer l'arrière d'une nappe en forme de biseau, de coin effilé. Tel est le cas de la nappe Lebendun (voir coupe Ossola 1965) et des nappes Wildhorn et Diablerets, qui n'ont jamais eu de racines.

12) *La chaîne alpine résulte d'une série de subductions alternant tantôt vers l'avant-pays, tantôt vers l'arrière-pays, et impliquant une série d'inversions pour les inclinaisons de la résultante des forces d'entraînement émanant des deux courants en action sous le bourrelet infracrustal.* En corrélation continuelle avec ces inversions de la résultante, à la fois causes et effets, doivent être considérées les variations de forme du bourrelet, la succession des translations rhéomorphiques plongeant obliquement tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, et *les alternances de l'asymétrie du bourrelet*, éminemment déformable, quasi fluidal. Pour ces variations de forme et ces alternances dans le segment Ossola-Tessin, voir *Eclogae* 64/1.

13) Entre les étirements et les compressions qui se produisent de part et d'autre des surfaces de cisaillement lors des subductions, il se fait en majeure partie une compensation volumétrique; la partie non compensée se trouvant dans le bourrelet créé par l'orogénèse. Même en tenant compte d'une fusion partielle, il y a donc loin du rétrécissement de 20 à 30% qu'implique probablement ce bourrelet, au rétrécissement de 60 ou 80% invoqué par des auteurs plus stratigraphes que tectoniciens.
(Voir *CR.Ac.sc.*, 28 mars 1966, *Le domaine alpin s'est-il beaucoup contracté lors de sa tectogénèse?*)

14) Jusqu'à ce que j'aie fait remarquer (*Archives* 1951, 54 et *CR.Ac.sc.* 1955, 66) que les gneiss albitiques à grain fin des Alpes occidentales (gneiss minuti) proviennent de roches volcaniques permocarbonifères altérées pendant le cycle alpin, toutes les études pétrographiques et toutes les conclusions relatives à ces gneiss les attribuaient, non à des roches volcaniques permocarbonifères, mais à un métamorphisme allochimique, à des sédiments paléo- ou mésozoiques modifiés par des apports sodiques, par des circulations hydrothermales. Il était donc temps, pour une meilleure compréhension des structures alpines, que fut reconnue la véritable origine (et en conséquence l'âge) de ces roches, qui occupent un tel espace dans les Alpes et qui constituent, maintenant, un élément stratigraphique fondamental pour la tectonique.
(Pour la pétrographie de la nappe Emilius, lorsque je l'ai abordée, il n'existait que deux lignes sur la Carte italienne 100.000 et deux lignes sur le Guide géologique suisse 1934; et l'on ignorait complètement l'origine essentiellement volcanique et l'âge permocarbonifère des gneiss de cette nappe; origine et âge que j'ai ensuite discernés et démontrés avec de multiples arguments, de multiples preuves. Or, les mêmes conclusions, basées sur les mêmes arguments, paraissent pouvoir s'appliquer à l'ensemble dénommé *Série d'Arolla* dans les nappes Dent-Blanche et Mont-Mary, ensemble fortement prédominant dans ces nappes; et il serait donc temps de comprendre, maintenant, que ce vaste ensemble est vraisemblablement d'origine en grande partie volcanique et d'âge permocarbonifère.)

PS. Les conclusions du travail que j'ai effectué, seul, pendant trente ans dans les Alpes occidentales, je les ai souvent confrontées avec les idées, avec les conclusions de deux géologues qui ont joué un rôle prédominant dans l'avancement des sciences, Em. Argand et Alf. Rittmann. Pour l'un d'eux, à propos de cette confrontation, je ne peux mieux faire que de reproduire ici ce que j'ai noté en 1971:

Pour la compréhension de l'orogénèse en général, on ne doit jamais manquer de rendre hommage au magnifique travail d'Alf. Rittmann dans ce domaine de la science, travail d'importance primordiale, que je lui ai demandé d'exposer dans ces *Archives* en 1951. Pour les courants subcrustaux, pour la distribution des températures dans l'écorce terrestre, pour le volcanisme, les ajustements isostatiques et d'autres phénomènes qui accompagnent l'orogénèse en général, il y avait là une conception globale: « phase d'engloutissement » suivie d'une « phase de surrection » qui convenait très bien pour des montagnes simples et qui a beaucoup fait progresser la géologie, mais en une première approximation, comme cela a constamment lieu en science. Les Alpes, beaucoup plus complexes, demandaient, elles, pour être comprises, une deuxième approximation et, pour cela, quelques notions fondamentales complètement nouvelles, notamment: les inversions successives de la résultante des forces dérivant des courants subcrustaux, la distinction du « phénomène primordial » et du « phénomène complémentaire et amplificateur » lors des subductions cisaillantes et écoulements, et la distinction des étirements (avec schistosité de subduction) et des compressions de part et d'autre de la surface principale du cisaillement. Elles demandaient aussi, les Alpes, non pas une conception globale, mais une chronologie tout-à-fait nouvelle, une succession de phases où tectogénèse et ajustements isostatiques sont concomitants, constamment liés et non séparés en deux périodes: engloutissement et surrection. Et dans cette chronologie il fallait surtout comprendre que les vastes et classiques recouvrements Saint-Bernard/Mont-Rose constituent les premiers grands mouvements de la chaîne alpine (et non les derniers, comme tous les traités et toutes les publications considérant cette question l'ont affirmé jusqu'à présent). La parfaite convergence qui s'est, malgré cette évolution, maintenue entre la théorie de Rittmann et ces notions nouvelles, notions comportant l'antériorité des recouvrements SB/MR (que j'ai publiée alors que je ne connaissais ni Rittmann ni ses idées), est donc d'autant plus remarquable que celles-ci sont tout-à-fait indépendantes de sa théorie, de sa conception. Partant, il n'y aurait probablement pas là une telle convergence si les raisonnements de Rittmann pour l'écorce terrestre et les courants subcrustaux n'étaient pas justes, et si les notions nouvelles que j'ai avancées n'étaient pas également justes.

Quant aux vues d'Em. Argand, adoptées par Staub et tant d'autres géologues pour expliquer les structures alpines, j'ai dû, par objectivité scientifique, m'opposer à leurs principes directeurs. Mais mon admiration pour la partie juste de l'œuvre d'Argand est évidemment très grande et je tiens à répéter ici ce que j'ai maintes fois dit et écrit: la découverte des nappes Emilius et Dent-Blanche est sans doute l'une des plus importantes découvertes faites en géologie, l'une des plus belles découvertes de la science; et la géologie alpine serait certainement loin d'être aussi avancée qu'elle l'est aujourd'hui, si Em. Argand n'avait découvert ces nappes.

2me PS. Ci-après sont reproduites onze coupes schématisant l'évolution du segment Ossola-Tessin jusqu'à 10 km de profondeur, du Trias à l'état actuel, au long de la transversale Berne - L. Majeur tracée sur la carte présentée ci-avant (p.13). Ce sont des agrandissements de la zone superficielle des coupes au travers de l'écorce terrestre parues en 1971 dans les *Eclogae* (t. 64, p.149), avec flèches indiquant l'évolution des champs de forces.

Évolution du segment Ossola-Tessin, jusqu'à 10 km de profondeur, au 1/1.200.000, par A. Amstutz

État actuel

Septième phase tectogène, périalpine, miocène et pliocène.

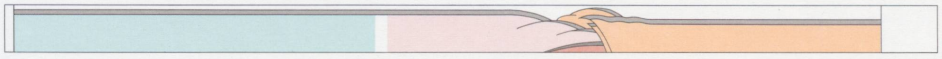
Sixième phase, oligocène: nappes helvétiques.

Cinquième phase, éocène: nappes préalpines à l'état embryonnaire.

Quatrième phase tectogène, Canavese, néocrétacée.

Troisième phase tectogène, simplonique, mésocrétacée.

Subductions intercalaires: replis Camughera et Loranco.



Deuxième phase tectogène, éocrétacée: subductions Sesia.

Première phase tectogène, fin jurassique: déversements SB dans fosse MR.

Phase géosynclinale au Mésojurassique.

Phase géosynclinale au début du Trias.

200 km

Les phases tectogènes sont figurées à leur état final.

L'orange clair indique l'arrière-pays, devenant la zone Sesia s.str. orange foncé et la zone d'Ivrée brune lors de la phase Canavese.
Le vert-bleu représente l'avant-pays, devenant bleu, puis vert, jaune, au cours des phases préalpine, helvétique, périalpine.