Zeitschrift: Eclogae Geologicae Helvetiae
Herausgeber: Schweizerische Geologische Gesellschaft
Band: 64 (1971)
Heft: 1

Artikel: Formation des Alpes dans le segment Ossola-Tessin
Autor: Amstutz, André
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-163974

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: 14.07.2025

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

Eclogae geol. Helv.	Vol. 64/1	Pages 149–150	1 planche (I)	Bâle, Avril 1971

Formation des Alpes dans le segment Ossola-Tessin

Par ANDRÉ AMSTUTZ[1])

Les vues que j'expose dans le tableau ci-joint résultent d'observations et de réflexions faites pendant plus de vingt ans dans le segment valaisan-valdotain, dans le segment Ossola-Tessin et dans les autres segments de la chaîne alpine.

Elles envisagent les Alpes occidentales dans leur ensemble et retracent l'essentiel de leur histoire, l'essentiel des diverses phases de leur formation; mais elles s'attachent ici particulièrement au segment le plus complexe de la chaîne alpine, le segment Ossola-Tessin, parce que cette complexité en fait certainement la zone la plus significative et la plus probante pour comprendre le mécanisme orogénique de cette chaîne, pour comprendre la pluralité des mouvements de l'écorce terrestre qui ont créé sa structure, son architecture.

Il appert, en effet, que dans ce genre de phénomène ce qui est dans le plus complexe comporte ce qui est dans le plus simple; et il est également évident qu'une explication apparemment satisfaisante pour l'orogénèse d'autres segments des Alpes ne pourra pas faire comprendre ce qu'il y a non seulement de très particulier mais de complet dans l'Ossola-Tessin; tandis que, inversément, la compréhension du segment Ossola-Tessin facilite et entraîne en majeure partie celle des autres segments de la chaîne alpine, cette chaîne qui est sans doute l'une des plus compliquées de notre globe, si ce n'est la plus compliquée.

En regard de cette complication il fallait évidemment schématiser, élaguer tout ce qui n'est pas strictement essentiel. Je me suis efforcé de le faire en abrégeant le plus possible les textes mais en indiquant graphiquement tous ou presque tous les traits essentiels des diverses phases tectogènes dont dérive cette complexité, cette complication. J'ai, pour cela, figuré sur la planche ci-jointe une série de coupes au travers de la croûte terrestre: une série de coupes qui représentent dans le segment Ossola-Tessin, du début à la fin du phénomène, tant l'évolution des causes profondes de cette orogénèse, que les subductions et variations de forme ayant abouti aux structures actuelles de la chaîne alpine entre Berne et le Lac Majeur. Ces coupes constituent donc un ensemble schématique qui correspond à ce que l'on peut actuellement discerner dans la zone la plus complexe de l'orogénèse alpine, mais, bien entendu, comme en toute science, elles ne peuvent être autre chose qu'une approximation, aussi proches de la réalité qu'elles puissent être. Dans les années à venir elles seront reprises et, je l'espère bien, améliorées par de nouvelles données, des critiques et de nouvelles réflexions.

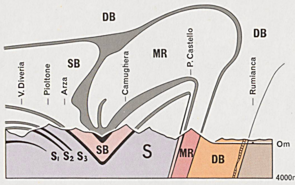
[1]) 41, Quai Wilson, 1200 Genève

Quant à la carte qui devrait normalement accompagner ces coupes, elle paraîtra bientôt et suffira à compléter la géométrie qu'impliquent celles-ci, mais lorsqu'elle sera reprise, elle aussi, ce ne sera qu'un élément d'une carte tectonique qui couvrira également le Canavese, le Val d'Aoste, les Alpes bernoises et le Chablais, et qui, avec quelques coupes, indiquera les caractéristiques et la tectogénèse du vaste segment valaisan-valdotain, que j'ai parcouru en tout sens et scruté patiemment pendant tant d'années.

BIBLIOGRAPHIE

AMSTUTZ, A. (1950): *Pennides au sud d'Aoste et nappe du Mont-Rose.* Archs. Sci. *3*, 231.
– (1950): *Sur les Pennides près de Domodossola.* Archs. Sci. *3*, 233.
– (1951a): *Sur la zone dite des racines.* Archs. Sci. *4*, 319.
– (1951b): *Sur l'évolution des structures alpines.* Archs. Sci. *4*, 323.
– (1951c): *Sur le Paléozoïque des Pennides au sud d'Aoste.* Archs. Sci. *4*, 329.
– (1952a): *Inversion dans la tectogénèse des Pennides. 234*, 1895.
– (1952b): *Différenciations longitudinales dans le géosynclinal alpin. 234*, 1987.
– (1952c): *Complément à deux notes sur la tectogénèse alpine. 234*, 2095.
– (1954a): *Pennides dans l'Ossola et problème des racines.* Archs. Sci. *7*, 411.
– (1954b): *Nappe de l'Emilius.* Archs. Sci. *7*, 463.
– (1955a): *Structures alpines ; Ossola, cœur du problème.* C.r. hebd. Seanc. Acad. Sci. Paris *241* 888.
– (1955b): *Subductions successives dans l'Ossola. 241*, 967.
– (1955c): *Chronologie et causes profondes. 241*, 1060.
– (1955d): *Sur le Permocarbonifère des Pennides. 241*, 1060.
– (1955e): *Pennides au nord du lac de Côme.* Archs. Sci. *8*, 417.
– (1957): *Subductions et nappes simploniques. 243*, 2531.
– (1959): *Roches Saint-Bernard entre Etroubles et Liddes.* Archs. Sci. *12*, 669.
– (1961): *Conclusions de recherches géologiques. 253*, 2386 et 2552.
– (1962a): *Carte géologique de la vallée de Cogne, etc. et Notice.* Archs. Sci. *15*, 1.
– (1962b): *Zones Courmayeur-Airolo et Chamonix-Urseren. 255.* 2998.
– (1963a): *Zones radicales Chamonix-Urseren et Courmayeur-Airolo. 257*, 2862.
– (1963b): *Compte rendu d'une session spéciale dans les Alpes.* Bull. Soc. belge géol. *71*, 343.
– (1965): *Notions fondamentales pour la géologie de l'Ossola-Tessin. 261*, 1040, 1347 et 1559.
– (1966a): *Le domaine alpin s'est-il beaucoup contracté? 262*, 1414.
– (1966b): *Caractères essentiels du Permocarbonifère alpin. 262*, 2439.
ARGAND, E. (1911): *Les nappes de recouvrement des Alpes occidentales.* Mat. carte géol. suisse (ns) *31.*
– (1934): *La zone pennique.* Guide géol. Suisse, fasc. *3*, 146.
BEARTH, P. (1939): *Über Zusammenhang der Monte-Rosa- und Bernhardecke.* Eclogae geol. Helv. *32*, 101.
– (1952): *Geologie und Petrographie des Monte-Rosa.* Beitr. geol. K. Schweiz (NF) *126.*
BLUMENTHAL, M. (1952): *Beobachtungen über Bau und Verlauf der Muldenzone von Antrona.* Eclogae geol. Helv. *45*, 219.
SCHMIDT, C. (1907): *Über die Geologie des Simplongebietes.* Eclogae geol. Helv. *9*, 484.
STAUB, R. (1924): *Der Bau der Alpen.* Beitr. geol. K. Schweiz (NF) *52.*
– (1937): *Gedanken zum Bau der Westalpen zwischen Bernina und Mittelmeer.* Vjschr. naturf. Ges. Zürich *82*, 3/4, 197.
– (1958): *Klippendecke und Zentralalpenbau.* Beitr. geol. K. Schweiz (NF) *103.*

Formation des Alpes, causes profondes, et variations de forme à la base de l'écorce terrestre, dans le segment Ossola-Tessin selon A. Amstutz



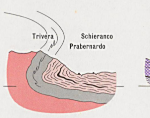
Coupe d'Argand au travers de l'Ossola; 1/400.000

Les coupes de Staub et celles de Bearth, Blumenthal, sont analogues, basées sur les mêmes principes directeurs.

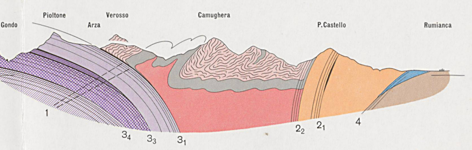
Cette coupe est à la base du système imaginé par Argand puis repris par Staub pour expliquer la structure des Alpes occidentales et orientales. Elle est, en effet, la première des coupes données par Argand pour expliquer la chaîne alpine de l'Ossola à la Méditerranée, et, partant, elle est à la base des explications de Staub, et des Ecoles connexes, pour les Alpes comprises entre l'Ossola et Vienne.

Trois principes directeurs caractérisent cette coupe au travers de l'Ossola, cette construction fondamentale du système Argand-Staub, qui aujourd'hui encore pèse sur la géologie alpine:
1) le déversement généralisé des nappes vers l'avant-pays,
2) l'enracinement collectif de ces nappes dans une zone dite des racines,
3) une culmination longitudinale de toutes ces nappes dans l'Ossola-Tessin.

Or, le déversement de masses Saint-Bernard dans la fosse Mont-Rose lors d'une première phase tectogène, et les autres notions nouvelles qu'implique le schéma tectonique tracé ci-dessous, montrent que le premier de ces principes directeurs est contredit par les faits, que le deuxième l'est également, et que le troisième l'est aussi. Et il est donc d'autant plus nécessaire d'examiner les deux autres coupes, et de constater qu'elles correspondent exactement, elles, à tous les faits actuellement connus.

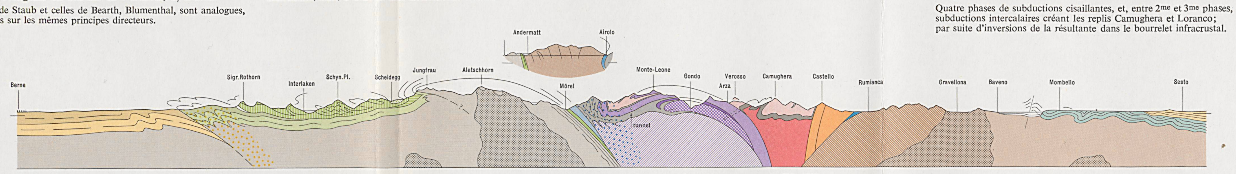


Pli transversal d'Antronapiana



Coupe au travers de l'Ossola par A. Amstutz; au 1/200.000

Quatre phases de subductions cisaillantes, et, entre 2me et 3me phases, subductions intercalaires créant les replis Camughera et Loranco; par suite d'inversions de la résultante dans le bourrelet infracrustal.



Coupe au travers du segment Ossola-Tessin, de Berne au Lac Majeur; au 1/500.000

En jaune: **7**me phase, périalpine, mio- et pliocène.
Subductions restreintes de la zone subalpine, puis subductions du Jura; avec ± de compressions au-dessus des surfaces de cisaillement, et d'étirements au-dessous.

6me phase, oligocène:
- N.ultrahelvétiques pp.
- Nappe Wildhorn
- Autochtone; Morcles
- Z.Chamonix-Urseren
- Aar-Aig.rouges
- granites prob.pc.

5me phase, éocène:
- Nappes préalpines (reprises lors de 6me ph.)
- Z.Courmayeur-Airolo
- Mt.Blanc-Gotthard
- granites prob.pc.

- Nappe Verosso-Berisal et Adula,
- Nappes M.Leone, Lebendun, Antigorio; résultant de subductions cisaillantes faites dans le Complexe SB/MR lors d'une Troisième phase tectogène, mésocrétacée
- Soubassement de Verampio

- Masses Saint-Bernard; déversées pp. dans la fosse MR, par subduction puis écoulement, lors d'une Première phase tectogène, à la fin du Jurassique
- Zone Mont-Rose (3/4 d'ophiolites mésoz. ex-volcanites) ex-fosse géosynclinale

- Zone Sesia; subductions cisaillantes, de faible envergure dans l'Ossola-Tessin, lors de la Deuxième phase, éocrétacée
- Z. Canavese / Zone d'Ivrée } tirées sous la Z.Sesia lors de la Quatrième phase tectogène, néocrétacée

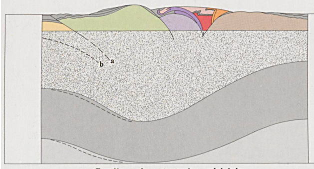
Phases **3** à **7**: (plissements, etc. à diverses reprises)
- Miocène et pliocène
- Mésozoique et éogène [émr]
- Paléoz. Zone des Lacs
- granites permocarb.

Les points bleus à l'avant des nappes simploniques correspondent à des compressions qui sont postérieures à l'écoulement de ces nappes et qui les ont beaucoup déformées. Les structures et les schistosités sont là conformes à la règle générale (très importante) que les parties radicales des nappes simploniques mettent admirablement en évidence: 1) **laminage et étirement** au-dessous de la surface principale de cisaillement, avec schistosité parallèle à cette surface; et 2) **compression** au-dessus de cette surface, avec création d'écailles, plis, froncements.
NB. Les compressions sont souvent effacées par la juxtaposition de cisaillements successifs.

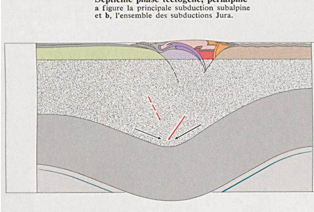
L'hydrographie de l'Ossola (où les vallées de Bognanco, d'Antrona et de Macugnaga drainent les eaux de l'W à l'E) est la négation même du système Argand-Staub et de son troisième principe directeur. Tandis qu'elle est en parfait accord avec la synthèse qui est exposée ici, tant pour les trois phases tectogènes penniques que pour les ajustements isostatiques.

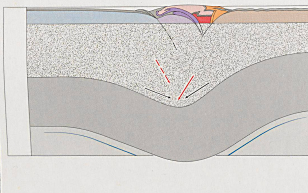
D'autre part, pour mieux comprendre les structures représentées par les coupes ci-dessus, il est utile de reproduire ici ce que j'ai noté en 1957 (CR.Ac.sc.):
« L'une des conclusions qui se dégagent de mon travail dans les Alpes occidentales a trait au mécanisme de formation des nappes et montre que les principales nappes de cette chaine résultent de subductions plus ou moins cisaillantes suivies d'écoulement dans les dépressions créées par ces subductions elles-mêmes.
Il me parait donc nécessaire de bien distinguer dans les diastrophismes alpins: d'une part le phénomène **primordial** que constituent les subductions provenant vraisemblablement d'entrainement par les courants subcrustaux, et d'autre part le phénomène **complémentaire et amplificateur** que représentent les écoulements par gravité. Et il me parait 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.»

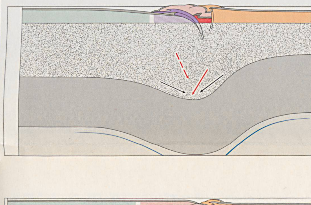
Dans ce qui précède, j'ai dû, par objectivité scientifique, critiquer le système Argand-Staub et m'opposer foncièrement aux trois principes directeurs qui le caractérisent; mais mon admiration pour la partie juste de l'œuvre d'Argand est évidemment très grande et je suis vraiment heureux de répéter ici ce que j'ai maintes fois dit et écrit: la découverte des nappes Emilius et Dent-Blanche par Em. Argand 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.

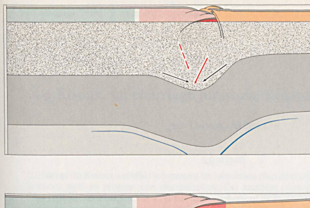


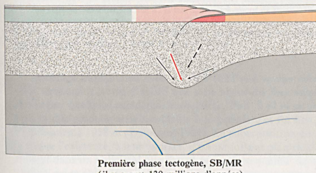
Septième phase tectogène, périalpine
a figure la principale subduction subalpine et b, l'ensemble des subductions Jura.





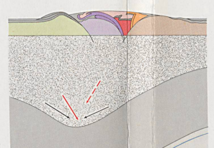






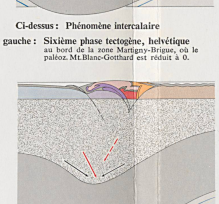
Première phase tectogène, SB/MR
(il y a env. 130 millions d'années)

Le texte ci-dessous a été rédigé en passant des phases anciennes aux phases récentes, et doit donc être lu dans le même sens, de bas en haut.



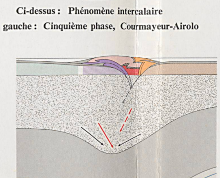
Ci-dessus: Phénomène intercalaire

A gauche: Sixième phase tectogène, helvétique
au bord de la zone Martigny-Brigue, où le paléoz. Mt.Blanc-Gotthard est réduit à 0.



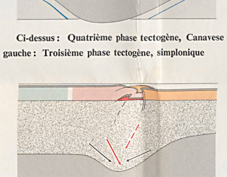
Ci-dessus: Phénomène intercalaire

A gauche: Cinquième phase, Courmayeur-Airolo



Ci-dessus: Quatrième phase tectogène, Canavese

A gauche: Troisième phase tectogène, simplonique



Ci-dessus: Phénomène intercalaire, Camughera

A gauche: Deuxième phase tectogène, Sesia

Ech. horizontale: 1/2.000.000

Les phases sont figurées à leur stade final.

Septième phase tectogène, périalpine, miocène et pliocène; plis, écailles de la zone subalpine; puis plissement principal du Jura:
Compressions au-dessus de subductions prob. miocènes dans la zone subalpine avoisinant Thoune. Puis, subduction, décollement au niveau des gypses triasiques (Buxtorf) et plissements mio- et pliocènes du Jura; en parfait accord avec la règle énoncée ci-dessus à propos d'étirement et de compression lors des subductions. (Remarquer sur la coupe qu'à ce stade final la base du bourrelet, dont dépendent les ajustements isostatiques, est au-dessous des Alpes bernoises, et que l'exhaussement final de celles-ci a dû faire encore fluer vers le N les nappes helvétiques et préalpines.)

Phénomène intercalaire: analogue au Phénomène qui s'est intercalé entre Cinquième et Sixième phases tectogènes (voir ci-dessous); quelques faibles diastrophismes dans le sudalpin.

Sixième phase tectogène, helvétique, oligocène; subductions Chamonix-Urseren et nappes helvétiques, avec reprise des nappes préalpines embryonnaires:
La zone radicale Chamonix-Urseren et les nappes helvétiques: Wildhorn, Diablerets, Morcles (et N.ultrahelvétiques comportant du Priabonien) dérivent d'une série de subductions oligocènes suivie d'écoulement dans la dépression longitudinale créée par cette série à son avant. — Entre Nendaz et Viège, ces subductions cisaillantes oligocènes ont coupé et partiellement détruit la zone radicale éocène Courmayeur-Airolo (voir CR.Ac.sc. 62 et 63 cités ci-dessous); ce qui explique un certain manque de racines à l'arrière des nappes préalpines romandes, charriées vers le N au dos des nappes helvétiques. (Remarquer sur la coupe que la vallée du Rhône existe déjà, créée à l'état embryonnaire par les subductions éocènes et oligocènes.)

Phénomène intercalaire: déformation du bourrelet et inversion de la résultante, analogues à celles du Phénomène qui s'est intercalé entre Deuxième et Troisième phases tect. (voir ci-dessous); dans les hauts: plissements du sédimentaire sudalpin, et légère accentuation du basculage de surfaces de cisaillement penniques.

Cinquième phase tectogène, éocène (et peut être aussi fin néocrétacé); subductions Courmayeur-Airolo et nappes préalpines à l'état embryonnaire:
Une série de subductions cisaillantes éocènes a créé la zone radicale (isoclinale) Courmayeur-Airolo et, à l'état embryonnaire, les nappes préalpines (Niesen, Simme, Brèche, Médianes, Externes, et peut-être Ultrahelvétique en partie); les nappes helvétiques s'enracinant à Chamonix et non pas à Courmayeur, comme on se l'imagine malheureusement encore aujourd'hui. Les raisons chronologiques et spatiales de cette nouvelle façon de voir, je les ai indiquées dans CR.Ac.sc. 26 nov. 1962 et 4 nov. 1963, auxquels je renvoie, car je ne peux les mentionner ici faute de place. Mais remarquons cependant ici même, parmi ces raisons, que: Ni les nappes préalpines, ni les strates Courmayeur-Morgex, ni la couverture à faciès helvétique du massif Mont-Blanc, n'ont livré le moindre Priabonien; tandis que toutes les nappes helvétiques et la zone radicale de Chamonix en comportent. — Lors de leur écoulement dans la dépression longitudinale créée par les subductions cisaillantes à leur avant, les nappes M.Leone et Verosso-Berisal se sont évidemment étalées; et si elles sont aujourd'hui, à leur front, très plissées et comprimées, c'est parce qu'elles se sont trouvées là, ensuite, au-dessus des surfaces de cisaillement des subductions de la Cinquième phase. En parfait accord avec ce que j'ai fait remarquer dans CR.Ac.sc.1957: Lors des subductions, laminage et étirement au-dessous des surfaces de cisaillement, et compressions au-dessus, constituent un phénomène général dans les Alpes.

Quatrième phase tectogène, néocrétacée; subduction Canavese:
Cette subduction cisaillante a enfilé sous des gneiss Sesia la zone diorito-kinzigitique d'Ivrée et sa couverture faite de sédiments, dits du Canavese, allant de volcanites permocarbonifères à des calcaires mésocrétacés. — Quelques plissements dans le Mésozoïque sudalpin. — (Pour que la stratigraphie de la Z.Canavese soit juste, il importe de corriger une erreur de taille à propos des roches considérées comme des tonalites intrusives d'âge tertiaire par la feuille Tessin de la Carte géologique générale au 200.000, entre Bellinzone et le lac de Côme, au Iorio; ce ne sont en réalité que des éléments permocarbonifères de la « couverture postorogénique hercynienne »; voir Arch.sc. 1955.)
Les déformations du bourrelet et les inversions concomitantes de la résultante, dont dérivent les diastrophismes ci-dessus, sont analogues à celles qui sont expliquées ci-dessous. Inutile, donc, de répéter ici l'explication, le tableau devant être lu de bas en haut, et les coupes figurant ces nouvelles déformations et inversions.

Phénomènes de déformations transversales dus à l'isostasie; dès la fin de la Troisième phase, jusqu'à la fin du Tertiaire:
La sédimentation mésozoique du géosynclinal alpin a été certainement moins abondante dans l'Ossola-Tessin que dans les segments contigus; pour s'en rendre compte il suffit d'examiner un instant les cartes géologiques, sporadiques mais suffisantes pour cela*. Il est donc normal que la tectogénèse et les ajustements isostatiques de l'Ossola-Tessin aient été différents de ce qui s'est passé dans les segments contigus, et il faut donc s'attendre à trouver là des diastrophismes transversaux. Ces diastrophismes ont créé:

* Peut-être cette différence de sédimentation provient-elle d'une morphologie initiale qui a fait déboucher vers ces segments contigus plutôt que vers l'Ossola-Tessin des fleuves chargés d'éléments détritiques.

1) A l'W: le pli transversal d'Antronapiana, qui résulte de la surrection du massif Mont-Rose et d'un débordement latéral sur le flanc E, très abrupt, de ce massif. Comme le montre la coupe EW ci-dessus, ce pli déforme localement le complexe gneiss SB/ophiolites MR, et correspond très bien aux pendages que l'on observe en ces lieux, tout en mourant rapidement au NE et SE du massif Mt.Rose. Il résoud la question qui a aprement opposé la conception d'Argand et celle de C.Schmidt, aussi erronée l'une que l'autre, car les gneiss de la zone triangulaire Prabernardo-Domodossola ne sont pas plus autochtones (Schmidt) que simploniques (Argand, 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 système Argand-Staub. (Cf. le pli transversal du bord W de la nappe Emilius, qui provient aussi d'un ajustement isostatique et d'un débordement latéral.)

2) A l'E: les plis du Splugen et du San-Bernardino, qui ont apparemment des formes plus aiguës et semblent être des écailles transversales, où la part de subduction latérale dérivant de courants subcrustaux + ou − longitudinaux est probablement plus grande qu'à Antronapiana, par rapport au simple débordement latéral résultant d'ajustement isostatique.
(PS. Rittmann suggère que la différence de style entre les plis du Splugen et d'Antronapiana pourrait provenir de la rotation de la terre et d'une translation vers l'E plus rapide dans les parties basses du sial que dans les parties hautes. L'idée est en tout cas extrêmement intéressante; de même que celle, connexe, d'une dérive de l'Italie, Corse, etc. vers l'E.)

3) Dans le Val Maggia: une importante dépression transversale (occupée, remplie aujourd'hui encore par la nappe Verosso-Berisal); et quelques plis transversaux (provenant d'écoulement dans cette dépression); et une bande transversale de granodiorites (dont la montée diapirique du magma a été facilitée par des distensions connexes des diastrophismes du Splugen et San-Bernardino).

De la sédimentation géosynclinale moindre dans l'Ossola-Tessin que dans les segments contigus, on doit logiquement inférer que le bourrelet sialique résultant de la tectogénèse était moins important, moins profond sous l'Ossola-Tessin que sous les segments contigus. Il appert donc qu'après les grandes phases tectogènes penniques, sous le cœur du Pennique que constitue la zone Mont-Rose, lorsque les courants subcrustaux descendant obliquement ont ralenti leur action (le réchauffement aidant), des ajustements isostatiques ont alors pu commencer, créant progressivement d'importantes différences de soulèvements, d'exhaussements, et créant donc obligatoirement des plis transversaux par débordement latéral. Le pli d'Antronapiana en est un produit relativement simple, tandis qu'au Splugen et au San-Bernardino, une subduction latérale s'est probablement ajoutée au débordement dérivant de simple dénivellation. Entre les deux segments, en effet, l'inclinaison de la sous-face devait créer des courants subscrustaux dirigés approx. WE, et devait ainsi, logiquement, créer des subductions, cisaillantes ou non, agissant dans le même sens que le débordement latéral. D'où, des plis apparemment plus aigus. — Quant à la grande dépression transversale du Val Maggia et à la bande transversale de granodiorites qu'elle comporte, elles dérivent vraisemblablement d'une distension créée par les courants approx. WE précédents; cette distension facilitant la montée diapirique du magma granodioritique engendré par anatexie à la base du bourrelet sialique.

Troisième phase tectogène, mésocrétacée; créatrice des nappes simploniques-tessinoises, qui n'existent que dans l'Ossola-Tessin et ne se prolongent pas cylindriquement dans les segments contigus:
Quatre subductions cisaillantes dans le Complexe SB/MR, faites successivement et côte à côte, dans l'ordre indiqué, puis écoulement dans la dépression longitudinale créée par ces subductions. J'ajoute ici les 8 précisions suivantes pour définir exactement le caractère des nappes simploniques:

1) Ces nappes sont limitées à l'W et à l'E du segment Ossola-Tessin par des surfaces de cisaillement convexes, et ne s'étendent pas cylindriquement au-dehors de ce segment. (Les cannelures de S.Maria in Calanca montrent approximativement l'orientation de la subduction 3_1 en ce lieu de la zone orientale, où N.Simano correspond à N.Monte-Leone.)

2) La première des quatre subductions simploniques coupe, cisaille les structures des phases 1 et 2 dans le Val Bognanco, dans le Val Vigezzo, et près de Roveredo (voir coupe et cartes). 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.

3) Au-dessus de la surface de cisaillement de cette première subduction, les strates de la nappe Verosso sont coupées avec des angles variant de 0 à 90°, parfois avec des ondulations et des plissotements intenses mettant en évidence une tendance à la compression. Tandis qu'au-dessous de cette surface de cisaillement, les strates Monte-Leone sont très fortement laminées, étirées, avec une schistosité parallèle à cette surface mais graduellement décroissante lorsqu'on s'en éloigne; laminage et cisaillement étant connexes.

4) De même, la schistosité de la nappe Antigorio est parallèle à la surface de cisaillement 3_3 et s'amortit graduellement du dos vers la base de la nappe. Et encore de même, au dos du soubassement de Verampio, une schistosité parallèle à 3_4; conformément à la règle indiquée sous la légende de la coupe Berne—Lac Majeur.

5) La minceur extraordinaire de la nappe Lebendun par rapport à son étendue ne peut évidemment résulter que de deux subductions cisaillantes faites successivement et côte à côte: 3_2 et 3_3; le dos de la nappe s'étant fait avant la base, comme pour la plupart des nappes des séries penniques, préalpines et helvétiques.

6) Le manque de racines à l'arrière des équivalents orientaux de la nappe Lebendun (Lucomagno et Nara) résulte vraisemblablement de la coupure de 3_2 par 3_3 (voir coupe 200.000 ci-dessus). (Cf. près de Sion, la destruction d'éléments Courmayeur par des cisaillements 6, et la très importante réduction d'épaisseur de cette zone radicale.)

7) Le pli du Wasenhorn et du sommet Monte-Leone est vraisemblablement dû à une involution faite lors de l'écoulement des masses simploniques dans la dépression longitudinale créée par les subductions cisaillantes; le régime de plissements de cette zone d'écoulement par gravité contrastant fortement avec l'allure isoclinale de la zone radicale, de la zone de subductions cisaillantes.

8) Les grands plis frontaux des nappes simploniques qui s'étendent de Gebidem à Binn, etc. sont vraisemblablement postérieurs aux structures d'écoulement et d'étalement dans la dépression longitudinale précitée, et proviennent sans doute des compressions faites au-dessus des surfaces de subductions cisaillantes éocènes de la Z.Courmayeur-Airolo. (CR.Ac.sc. 13 mai 1957, 26 nov. 62 et 4 nov. 63)

Par le phénomène intercalaire précédent, le flanc N du bourrelet sialique a certainement eu son inclinaison augmentée. D'où, encore une inversion de la résultante des forces en jeu, et en conséquence les quatre subductions cisaillantes simploniques, faites successivement et côte à côte, jusqu'à l'épuisement de l'énergie qu'impliquait cette résultante.

Phénomène intercalaire; inversion de la résultante; créant une déformation du complexe SB/MR, par deux replis: Loranco et Camughera; et un début de basculage des surfaces 2_1 et 2_2
Les subductions de la Deuxième phase ont sans doute modifié la forme des masses éminemment plastiques et déformables du bourrelet simatique, et augmenté l'inclinaison du flanc méridional. D'où, une réactivation du courant magmatique primordial, une nouvelle inversion de la résultante des forces en jeu, et dans les hauts la déformation de la nappe et le début de basculage.

Deuxième phase tectogène, éocrétacée; faible dans l'Ossola-Tessin, mais créant, dans les segments contigus, les déversements Sesia sur le complexe SB/MR: Emilius, etc. et nappes grisonnes:
Subductions cisaillantes (2_1 2_2 etc.) très importantes dans les segments valaisan-valdotain et grison, et suivies d'écoulement de masses Sesia (nappes Emilius, Dent-Blanche, etc.), mais sans doute beaucoup moins importantes dans le segment Ossola-Tessin et apparemment non suivies d'écoulement (on n'a jamais découvert la moindre nappe Sesia dans ce segment). — Comme le montre la coupe, le front de la nappe SB/MR a été coupé par les cisaillements de cette Deuxième phase. — A l'E, la coupure de SB/MR par la Deuxième phase passe entre Roveredo et le lac Mezzola, puis dans le Val Bregaglia, près des serpentines de Chiavenna, qui appartiennent vraisemblablement à la couverture mésozoique de la zone Mont-Rose et qui apparaissent ici en fenêtre.
Le bourrelet infracrustal créé par la Première phase tectogène comportait évidemment un flanc N beaucoup plus abrupt que l'autre flanc, et là devait forcément naître un second courant magmatique, beaucoup plus incliné que le courant primordial et d'autant plus vigoureux. En conséquence, la résultante des forces d'entrainement engendrées à la base de l'écorce terrestre par ces deux courants, devait être, à ce moment, inclinée vers le S, càd. en sens inverse de la force agissant lors de la Première phase. D'où, les cisaillements et écoulements en sens inverse de ceux de la Première phase. Quant à la mobilité et au déplacement transversal important du bourrelet sialique entre les 1re et 2me phases (et aussi entre les phases suivantes), il ne faut pas s'en étonner; car les conditions de température et de stress à ces niveaux sialiques et simatiques rendent les masses rocheuses très déformables et leur donnent une quasi fluidité (rock flowage), avec multiples métamorphismes, et même, bien avant la fin de la tectogénèse, anatexie à la base du bourrelet sialique. (Pour l'écart latéral entre le cisaillement et la résultante des forces, voir le NB. de légende flèches rouges.)

Première phase tectogène, à la fin du Jurassique; créant les déversements de masses Saint-Bernard dans la fosse Mont-Rose:
Subduction cisaillante (phénomène primordial) puis écoulement par gravité (phénomène complémentaire et amplificateur) de masses paléozoiques et mésozoiques Saint-Bernard dans la fosse Mont-Rose, plus exactement: écoulement de ces masses SB sur la couverture mésozoique essentiellement basaltique de la fosse Mont-Rose. — Les conglomérats mésozoiques de la zone Saint-Bernard peuvent dériver d'une émersion créée, lors de la subduction cisaillante, par l'élévation des masses sises au-dessus de la surface principale de cisaillement. Mais peut-être auparavant, dans cette zone SB s'affaissant beaucoup plus lentement que la zone MR, existait-il déjà des rides émergées.
(Dans le Val d'Aoste, le retroussement d'importantes écailles SB/MR par l'écoulement des lourdes masses Sesia vers le N, démontre que les déversements SB/MR sont antérieurs aux nappes Emilius et Dent-Blanche, et prouvent donc que les vastes et classiques recouvrements Saint-Bernard sur Mt.Rose—Gr.Paradis résultent tout simplement d'une Première phase tectogène; alors que tous les traités et toutes les autres publications considérant cette question, les attribuent aux derniers mouvements de la formation des Alpes.)
A la base de l'écorce terrestre, dans des zones plus ou moins plastiques ou visqueuses, le courant magmatique créateur de géosynclinal a dû entrainer par adhérence certaines parties basales et accentuer ainsi la pente de la sous-face tout en la raccourcissant (cf. les schémas Eotrias et Mésojurassique). Dès lors, par l'augmentation continuelle de son inclinaison et, partant, de son intensité, ce courant a dû augmenter sa puissance jusqu'à déclancher une subduction cisaillante au travers de la croûte terrestre. Cette translation descendante de masses infracrustales et ce cisaillement oblique étaient, en effet, la conséquence logique et normale du jeu des forces dérivant du sens et de l'emplacement du courant créateur de géosynclinal; un peu de mécanique élémentaire permet de s'en rendre compte. (Pour l'écart latéral entre le cisaillement et la résultante des tensions, voir le NB. de légende flèches rouges.)

N'est-ce pas à une subduction cisaillante analogue à la subduction Mont-Rose sous Saint-Bernard, qu'il faut attribuer, autour du Pacifique, les séismes profonds dont le lieu des hypocentres peut être représenté schématiquement par une surface s'enfonçant obliquement sous le continent jusqu'à 700 km ? N'y a-t-il pas là une Première phase tectogène (SB/MR) d'un Cycle orogénique actuel ? Mais peut-être les Alpes sont-elles exceptionnelles parmi les montagnes du globe, et peut-être l'importance des déversements vers l'avant-pays est-elle due essentiellement à un sial relativement épais sous la Thetys, créant une sous-face et une évolution du bourrelet très différentes de celles des bords du Pacifique, où le sial s'effile et se réduit à 0.

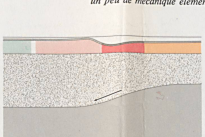
Flèches noires: *forces existant à la base de l'écorce terrestre et dérivant d'entrainement par des courants subcrustaux. Ces flèches ne sont pas des vecteurs! Elles symbolisent simplement l'ensemble des forces réparties dans cette écorce. Leur épaisseur correspond approximativement à l'intensité; leur direction, à l'inclinaison moyenne du courant magmatique.*
(NB. Ces forces dérivent de courants subcrustaux, qui résultent eux-mêmes de forces issues essentiellement de gradients thermiques horizontaux, représentés notamment par les diverses inclinaisons du géoisotherme sima/magma.)

Flèches rouges: *direction de la résultante des forces précédentes.*
(NB. Cette résultante crée tout d'abord, à côté du bourrelet, une flexure, puis, au travers de celle-ci, une rupture sous forme de subduction cisaillante, lorsque la résistance cède aux tensions accumulées.)

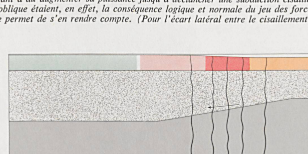
Flèches bleues: *mouvements du magma subcrustal. L'épaisseur de ces flèches est approximativement proportionnelle à la vitesse du mouvement.*

Les **flèches discontinues** *correspondent aux forces ou mouvements* **ayant eu lieu** *à la base de la croûte terrestre pour produire la structure représentée. Tandis que les* **flèches continues** *correspondent aux forces ou mouvements* **ayant lieu** *au moment considéré.*

SIAL
SIMA — *manteau*
ZONE MAGMATIQUE (low velocity layer)
La limite rectiligne sial-sima figurée à l'Eotrias, càd. au point de départ du phénomène alpin, est évidemment une limite simplifiée faisant abstraction des irrégularités d'ordre mineur qui existaient prob. entre sial et sima.



au Mésojurassique (env. 150 millions d'années)



au début du Trias (il y a env. 200 millions d'années)

Phase géosynclinale, durant le Trias et le Jurassique:
Dès le début du Trias, étirement, fissuration et affaissement relativement rapide de la zone Mont-Rose, créant un abondant volcanisme basaltique géosynclinal (env. 80% d'ophiolites) mais ne créant qu'une sédimentation calcaréo-dolomitique restreinte et sporadique, quasi nulle dans la partie médiane de cette zone MR.
Dans la zone Saint-Bernard, approfondissement et étirement moindres, créant une sédimentation dolomitique et calcaire plus importante, mais un volcanisme géosynclinal beaucoup moins abondant (très peu d'ophiolites).
Dans la zone Sesia, un affaissement et un volcanisme apparemment moindres que dans la zone MR.*
Puis, des sédimentations gréso-marneuses, mais persistance de grandes différences entre ces zones penniques: volcanisme beaucoup moindre dans la zone SB que dans la zone MR, mais sédimentation détritique et calcaire importante dans la zone SB; la zone MR étant devenue une fosse géosynclinale.
La conjonction de ces divers genres d'étirement, de fissuration, et d'affaissement, ne peut s'expliquer mécaniquement, ne peut se comprendre dynamiquement, que 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, puis s'amortissant graduellement, dès la zone St-Bernard, vers l'avant-pays. Il appert, en effet, qu'aucun courant vertical, qu'aucun autre phénomène subcrustal, ne pourrait créer une telle conjonction et de telles différences lithologiques entre les trois zones penniques.
* Pour la profondeur moyenne des mers, des lignes droites m'ont paru préférables à des ondulations fantaisistes.

Pendant le **Permocarbonifère**, dans les quelques zones hercyniennes qui furent ensuite reprises par l'orogénèse alpine, ce sont vraisemblablement les phénomènes suivants qui ont prévalu et préparé le point de départ du géosynclinal alpin:
1) émersion dérivant des ajustements isostatiques consécutifs à la tectogénèse hercynienne; érosion décapant jusqu'aux migmatites les parties élevées de l'orogène; et sédimentations détritiques de nature continentale;
2) montée diapirique des magmas granodioritiques engendrés par la fusion partielle du bourrelet infracrustal (ces magmas se sont maintenus comme tels pendant des temps très longs, les parties internes d'un orogène d'aussi grande envergure ne pouvant se refroidir que très lentement);
3) longue activité volcanique, dacitique et rhyolitique, dérivant de cette montée diapirique et des exutoires qu'ont trouvés ces magmas dans les distensions et fissures continuellement créées dans les parties supérieures de l'orogène par les ajustements isostatiques;
4) désagrégation relativement rapide d'une grande partie des cinérites et ignimbrites prédominantes dans cette activité volcanique; sédimentation détritique connexe; et, en même temps que se pénéplainait l'orogène hercynien, formation de cet ensemble de produits volcaniques et détritiques permocarbonifères qu'il convient de nommer « couverture postorogénique hercynienne » (de la fin du Jurassique à l'Eocène le métamorphisme alpin a converti une grande partie de cette couverture hercynienne en gneiss albitiques à grain fin);
5) quelques déformations tectoniques dérivant d'ajustements isostatiques et de montées diapiriques, mais déformations probablement très restreintes par rapport à celles qui ont pu affecter, dans les phases précédentes, les sédiments dévoniens et siluriens de l'orogène hercynien.