

Structures alpines autour de San Lorenzo et mécanismes orogéniques

Autor(en): **Amstutz, André**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **67 (1974)**

Heft 1

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-164281>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

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

Structures alpines autour de San Lorenzo et mécanismes orogéniques

Par ANDRÉ AMSTUTZ

41, quai Wilson, 1200 Genève

RÉSUMÉ

L'auteur indique les structures des éléments Saint-Bernard, Mont-Rose et Monte Leone qui s'étendent entre le Toce et le massif Mont-Rose, et plus particulièrement autour de San Lorenzo; ces structures correspondent à des nappes dérivant de subductions cisailantes, et à des déformations longitudinales et transversales de ces nappes. Il indique aussi les raisons qui l'ont amené à considérer les recouvrements Saint-Bernard sur Mont-Rose comme des déversements de masses SB dans la fosse géosynclinale MR lors d'une première phase tectogène; et, en connection avec les variations de forme du bourrelet infracrustal, il envisage les mécanismes qui ont eu lieu lors des subductions cisailantes et des écoulements consécutifs.

Avant-propos

Pour comprendre l'orogénèse alpine, les structures de l'Ossola qui apparaissent autour de San Lorenzo, dans le Val Bognanco, sont sans doute d'une très grande importance, car non seulement elles donnent des indications majeures pour la chronologie des principaux diastrophismes du segment Ossola–Tessin (le plus complexe de la chaîne alpine), mais elles montrent aussi, par un très bel exemple, le mode de formation des grandes nappes alpines.

Voyons donc, autour de San Lorenzo, ces structures typiques de nappes, et aussi de déformation de nappes, et pour cela subdivisons le tour d'horizon en quatre zones. Dans un premier quadrant, de l'E au N, examinons le dos de la nappe Monte Leone dans ses parties radicales; voyons ensuite, dans les quadrants NW et SE, le groupe des gneiss Verosso–Berisal et le groupe des gneiss Domo–Prabernardo, qui sont tous deux sus-jacents à la nappe Monte Leone et qui sont tous deux ondulés avec des déversements vers S; puis nous verrons dans le quadrant SW les strates ophiolitiques typiques de la zone Mont-Rose, également déversées vers S.

Nappe Monte Leone

Dans le quadrant NE envisagé ci-dessus s'étendent les parties dorsales de la nappe Monte Leone, entre la rivière Bogna, le torrent Acquamorta, les lieux dénom-

més Arza et Monscera, et les parois gneissiques qui surplombent le Toce au N de Domodossola. Sous une couverture mésozoïque très amincie, extrêmement amincie par un intense laminage, ces parties dorsales de cette grande nappe simplonique sont faites de gneiss paléozoïques comportant une grande épaisseur de «couverture postorogénique hercynienne» où prédominent fortement des gneiss albitiques à grain fin, gneiss dérivant (on peut le savoir, maintenant) de rhyolites et dacites permocarbonifères plus ou moins diaphtorisées pendant l'alpin. Le Mésozoïque, lui, est fait de calcaires dolomitiques, schistes lustrés, ophiolites, souvent réduits en lentilles, et, en quelques endroits, fait de roches extraordinairement biotitiques dérivant de la recristallisation d'un mélange broyé de gneiss et d'ophiolites.

Un peu de géométrie élémentaire découlant du pendage des strates mésozoïques et gneissiques, montre que la surface-limite de ce dos Monte Leone est ici une surface conchoïdale, proche d'une calotte sphérique; elle plonge 60° S le long de la Bogna, approximativement 30° SSW dans les parages d'Arza, et s'enfonce vers l'W ou WSW entre ces deux zones, tout simplement parce que les nappes simploniques s'enfoncent longitudinalement à l'E et à l'W du segment Ossola–Tessin, s'arrêtent en profondeur, ne se prolongent pas au-delà des bords de ce segment (alors que tant de coupes les promènt de la Méditerranée à Vienne).

Mais ce qui est particulièrement frappant dans les parties dorsales de cette grande nappe simplonique, et ce qui est là extrêmement important pour bien comprendre la formation des nappes alpines dans leur zone radicale, ce sont les schistosités tant du Paléozoïque que du Mésozoïque. Ces schistosités, qui proviennent évidemment d'un intense laminage, sont: a) constamment parallèles à la surface-limite envisagée ci-dessus, b) très accentuées près de cette surface-limite, c) graduellement décroissantes en s'abaissant, en s'éloignant de celle-ci. Tandis qu'au-dessus de cette surface-limite, qui est évidemment une *surface de cisaillement*, rien de pareil. Les strates gneissiques Verosso, les strates gneissiques Domo–Prabernardo et les strates ophiolitiques Mont-Rose, sont là: soit coupées, sectionnées nettement, avec des angles variant naturellement de 0 à 90° ; soit quelque peu comprimées, avec plissements, imbrications ou simplement froncements.

Il appert donc que de part et d'autre de la surface principale de cisaillement connexe de la première subduction simplonique, celle qui a créé simultanément la nappe Verosso–Berisal et le dos de la nappe Monte Leone *avant même que naisse la base*¹⁾, deux groupes de transformations se sont produits: au-dessus de cette surface, des sectionnements et une tendance à la compression; au-dessous, des laminages et des étirements, avec des myriades de glissements différentiels, et une schistosité générale constamment parallèle à la surface de cisaillement, pour laquelle je propose le terme de *schistosité de subduction*.

Ajoutons, bien que ce ne soit pas dans le cadre fixé ici (les alentours de San Lorenzo), que ce phénomène est général dans les Alpes. Je le montrerai encore par nombre d'exemples, mais ici-même, remarquons, dans l'Ossola, que ce qui s'est passé lors de la première subduction cisailante simplonique, s'est répété lors des

¹⁾ Lorsque des subductions se font en série, successivement et côte à côte, la première des nappes a évidemment son dos déjà constitué par la surface du sol, mais pour toutes les suivantes le dos de la nappe se forme avant la base.

trois subductions suivantes, avec des résultats exactement du même genre: laminage et «schistosité de subduction» sous la surface principale de cisaillement; sectionnement et tendance à la compression au-dessus. Toutes ces schistosités, caractéristiques des parties radicales des nappes, et si démonstratives pour comprendre leur mode de formation, sont merveilleusement observables dans le Val Diveria, de Crevola à Gabi, et dans le Val d'Antigorio, en aval et en amont de Verampio. Je les ai figurées, je l'espère clairement, sur la coupe au $1/250000$ ci-jointe, avec la chronologie, l'ordre de formation des nappes.

Aux faits précédents et aux conclusions qui en découlent, il me paraît utile, pour deux raisons, d'adjoindre une description sommaire du Mésozoïque laminé, très aminci, qui est au dos de la nappe Monte Leone et qui affleure de Cisore, à l'entrée du Val Bognanco, jusqu'au col de Monscera, près d'Arza, endroit devenu classique par la coupe primordiale d'Argand. Tout d'abord, pour que le géologue examinant les lieux avec le panorama et la carte tectonique ci-joints, n'ait pas à rechercher cette description (une huitaine de pages) dans un travail que j'ai fait paraître en 1954. Ensuite, pour l'importance déterminante qu'a eu alors cette *jonction mésozoïque Arza-Cisore* quant à l'enracinement collectif des nappes du système Argand-Staub. Cette jonction Arza-Cisore montrait, en effet, que le cœur du problème qu'est l'espace triangulaire Domo-Prabernardo n'est pas fait de racines simploniques ployées, mais de masses Saint-Bernard (déversées dans la fosse géosynclinale MR); ce qui mettait fin à ce fondement utopique des conceptions structurales qui prévalaient alors et que l'on retrouvait à la base des deux principales études tectoniques et pétrographiques faites auparavant dans cette zone de l'Ossola.

Résumons donc ici, très brièvement, les particularités de ce Mésozoïque Arza-Cisore, couverture de la nappe Monte Leone.

De Cisore, à l'entrée du Val Bognanco, jusqu'au km 4, une série d'amphibolites et serpentines plongeant 60° S ou SSE; puis un écroulement masquant cette couverture mésozoïque laminée et réduite aux seuls éléments ophiolitiques. Un peu plus loin, sous le pont de Torno, des amphibolites plongeant 60° S visibles sur 2 m d'épaisseur seulement; puis, encore dans la Bogna, 120 m à l'W, des bancs amphibolitiques et serpentineux, même plongement; et, toujours dans la Bogna, un petit affleurement ophiolitique, suivi, sous le km 5, d'un très bel affleurement de mêmes roches, visibles sur 15–20 m d'épaisseur, avec pendage 60° S. Au confluent Molezzano-Bogna, des amphibolites enserrées entre des gneiss laminés, étirés Monte Leone plongeant $50-60^\circ$ S, et des gneiss plissotés, comprimés Domo-Prabernardo plongeant 20° S.

Entre San Marco et la grande route, le complexe laminé comportant le Mésozoïque a env. 50 m d'épaisseur et une schistosité plongeant $50-60^\circ$ S dans les endroits épargnés par le fauchage; dans la masse des roches vertes et gneissiques mylonitisées subsistent, étonnement, quelques lentilles calcaires dont l'épaisseur varie de 1 dm à 1 m. Ensuite, au-delà du quaternaire, à env. 400 m en aval du grand pont des Terme, ce complexe laminé comportant le Mésozoïque traverse la grande route avec les mêmes caractéristiques si ce n'est une schistosité un peu contorsionnée.

De là, ce complexe laminé passe sous la Bogna et le quaternaire des alentours de Valpiana, et se retrouve dans le ravin de l'Acquamorta sous forme de roches broyées, mélangées et recristallisées, souvent très biotitiques (orthose des gneiss et fémiques des ophiolites), dont la description, qui occuperait trop de place ici, se trouve dans AMSTUTZ (1954). Près du petit pont sur l'Acquamorta, entre Moraso et San Lorenzo, existe encore une mylonite gneissique et calcaire; mais de là les restes du Mésozoïque sont sous le quaternaire jusqu'à Rosalpe, jusqu'à trois affleurements de calcaires dolomitiques posés sur des gneiss Monte Leone plongeant dans cette zone-ci $25-35^\circ$ WSW-SSW.

De Rosalpe à Arza, le Mésozoïque n'affleure pas, mais son emplacement sous le glaciaire et la masse glissée de Pragio est indiquée clairement; d'une part, par la schistosité de subduction 30°

SW des gneiss Monte Leone; d'autre part, par la nature massive, ou cataclasée mais non étirée, des gneiss Verosso qui s'étendent à l'WSW de la chapelle San Bernardo.

Dans les alentours d'Arza et Monscera, les structures engendrées par la première subduction cisailante simplonique sont typiques. Elles apparaissent admirablement de part et d'autre des calcaires dolomitiques d'Arza et des petits affleurements de calcaires, schistes lustrés et prasinites de Monscera et Micalcesti, que j'ai cartographiés et décrits en 1954. Sous cette couverture mésozoïque laminée, étirée, réduite, les gneiss Monte Leone sont également laminés, étirés, isoclinaux; une *schistosité de subduction* typique plongeant SSW. Tandis qu'au-dessus du Mésozoïque, à quelques centaines de m à l'W et SSW d'Arza, les gneiss Verosso ont été comprimés et présentent les caractères suivants: a) à la base, sur quelques m d'épaisseur, une zone de mylonitisation bien caractérisée; b) au-dessus, sur 10 ou 15 m d'épaisseur, dans des strates plongeant vers N, une zone de froncement intense, faite de plissements souvent très serrés, dont la grandeur varie du cm au dm, et dont les axes de charnières sont généralement EW; c) une zone d'ondulations dont les rayons de courbure sont de l'ordre du m ou du décamètre, avec des inclinaisons très variables mais avec une direction généralement EW des strates, ces ondulations résultant aussi de compressions et de torsions ou gauchissements; avec des passages plus ou moins graduels entre ces trois zones.

Gneiss Verosso et gneiss Domo-Prabernardo

Entre ces deux groupes de gneiss il y a beaucoup d'analogies. Les deux comportent beaucoup de gneiss albitiques à grain fin qui proviennent d'une série de rhyolites et dacites permocarbonifères et d'un cortège de roches détritiques dérivant de ces volcanites; ils englobent aussi nombre de lentilles granodioritiques qui proviennent vraisemblablement des foyers ou des appareils volcaniques ayant engendré ces roches permocarbonifères. Quant aux éléments gneissiques antécarbonifères, il est très probable qu'ils dérivent en majeure partie de sédiments dévoniens et siluriens; ils présentent naturellement des types divers, dont quelques-uns correspondent à une granitisation très accentuée.

Tectoniquement aussi il y a beaucoup d'analogies; les strates sont généralement ondulées, le plus souvent avec des déversements vers S. De plus, dans le Val Bognanco, on voit tous ces gneiss cisailés dans leurs parties inférieures par la première des subductions simploniques.

Ces deux groupes sont cependant séparés par les grandes masses ophiolitiques qui s'étendent à l'E du massif Mont-Rose entre les vallées d'Antronapiana et de Bognanco; et l'on comprend que jusqu'en 1954 on en ait fait deux entités bien distinctes d'origine toute différente, tant que sévissait en géologie alpine l'idée d'une culmination longitudinale de toutes les nappes penniques dans le segment Ossola-Tessin, et tant que l'on voyait dans l'Ossola une inclinaison générale vers l'W, alors qu'en réalité c'est l'inverse.

Mais maintenant on doit se dire que: a) la surface-limite septentrionale de ces masses ophiolitiques plonge en moyenne approx. 25° vers N; b) la surface-limite méridionale plonge en moyenne approx. 60° vers NNW; c) l'intersection de ces deux surfaces est donc inclinée $12-15^\circ$ vers N 60° E, et cette inclinaison est évidemment aussi celle du dièdre correspondant à l'enveloppe de ces masses ophiolitiques; d) cette inclinaison correspond à celle qui dérive des ajustements isostatiques en cette zone des Alpes, ajustements s'amortissant à l'E de l'énorme soulèvement du massif Mont-Rose (le dièdre ayant été vraisemblablement horizontal ou subhorizontal à l'origine, et ayant ensuite subi cette inclinaison comme toutes les autres structures en cette zone); e) le dièdre ophiolitique s'enfoncerait réellement et pas seulement

virtuellement sous les gneiss Verosso et Domo–Prabernardo réunis, si le cisaillement de la première des subductions simploniques n'avait pas coupé gneiss et ophiolites au niveau où elle s'est faite; f) si ce cisaillement s'était fait à un niveau un peu inférieur, on verrait sur la carte géologique ces deux groupes de gneiss se rejoindre, s'unifier, à l'E d'un coin vert qui ne serait pas tronqué par le cisaillement.

Ces faits et ces corollaires faisant bien apparaître que gneiss Verosso et gneiss Domo–Prabernardo sont solidaires, voyons maintenant d'où proviennent ceux-ci, et nous verrons en même temps que l'espace gneissique triangulaire Domo–Prabernardo constitue vraiment le cœur des grands problèmes qu'il fallait résoudre non seulement pour l'Ossola mais aussi pour l'orogénèse alpine en général.

Dans le système Argand-Staub, cet espace triangulaire Domo–Prabernardo est fait de racines des nappes simploniques, racines ployées et reployées pour accorder la nature à la théorie. Tandis que dans la conception de C. Schmidt, considérée avec ironie par Argand, cet espace est fait de gneiss *autochtones*, ce qui rend géométriquement, structuralement, impossible le pli transversal d'Antronapiana tel qu'il est envisagé par cette conception.

Ces deux conceptions sont aussi erronées l'une que l'autre, car, en considérant attentivement toutes les structures visibles, et en considérant très soigneusement toutes les hypothèses possibles, on ne peut, raisonnablement, qu'aboutir à cette solution, à cette conclusion: *cet espace triangulaire Domo–Prabernardo est fait de gneiss Saint-Bernard déversés dans la fosse géosynclinale Mont-Rose, plus exactement: déversés sur les ophiolites constituant la couverture mésozoïque de cette fosse.*

Les raisons en sont les suivantes:

1. La sédimentation géosynclinale et la tectogénèse ayant eu beaucoup plus d'ampleur dans le segment valaisan–valdotain que dans l'Ossola–Tessin, des diastrophismes transversaux devaient inmanquablement se produire entre ces deux segments, dans les parties faisant transition, dès la fin de la grande tectogénèse pennique, lors des ajustements isostatiques. Et c'est surtout dans la zone géosynclinale Mont-Rose que les dénivellations engendrant ces diastrophismes transversaux devaient avoir lieu, car c'est là que la différence de profondeur entre ces deux bourrelets infracrustaux était la plus grande. Dès lors, l'énorme soulèvement du massif Mont-Rose devait créer sur son flanc E, par débordement latéral, le grand pli transversal qui est schématisé sur la coupe ci-jointe *avec des pendages qui correspondent exactement à ceux que l'on observe autour d'Antronapiana*; tandis qu'en ces lieux tous les pendages diffèrent du système Argand-Staub.

2. La prédominance des ophiolites et le développement restreint des calcaires dolomitiques dans la zone Mont-Rose alors que c'est l'inverse dans la zone Saint-Bernard, l'absence complète de ce Trias néritique dans les parties médianes de la zone Mont-Rose, l'absence de tout conglomérat mésozoïque dans la zone Mont-Rose (notons-le bien) alors qu'il en existe dans les schistes lustrés de la zone Saint-Bernard, tous ces faits démontrent que la zone Mont-Rose s'est étirée, fissurée, en même temps qu'elle s'affaissait; tout démontre qu'elle est rapidement devenue la grande fosse du géosynclinal alpin. Comme d'autre part la zone Sesia présente à un degré moindre les caractères principaux de la zone Mont-Rose, tout cela ne peut s'expliquer sérieusement que par un courant subcrustal, plus exactement: par un départ de magma

basaltique sous la zone Sesia, une accentuation au maximum de cette translation sous la zone Mont-Rose, et un amortissement graduel de cette translation sous la zone Saint-Bernard et l'avant-pays, le continent.

Or, une telle translation magmatique, un tel courant subcrustal, devait forcément créer dans les zones sus-jacentes deux groupes de forces, avec effort tranchant dérivant de différence angulaire: a) forces actives dirigées vers l'avant-pays mais descendantes, plus ou moins parallèles au courant, dérivant d'entraînements par friction dans les zones visqueuses à la base de l'écorce terrestre, entraînements transmis de proche en proche dans les zones plus ou moins plastiques sus-jacentes; b) forces horizontales ou subhorizontales, passives, constituant la résistance offerte par l'avant-pays aux entraînements par adhérence. Et ces groupes de forces, par les mouvements et les lentes déformations qu'elles impliquent, devaient graduellement augmenter, sous la fosse Mont-Rose, l'inclinaison de la sous-face de l'écorce terrestre, et donner ainsi d'autant plus de vigueur au courant subcrustal; jusqu'à vaincre finalement les résistances de cette écorce, produire tout d'abord une flexure, puis, à un moment paroxysmal, une subduction à cisaillement net et tranchant dans les hauts de l'écorce terrestre (15, 20 km) et au-dessous une subduction telle qu'elle peut se faire dans des masses plastiques, quasi-fluidales²⁾. Et dès lors, avec l'accentuation des dénivellations initiales engendrée par la subduction cisailante (phénomène primordial), il appert que des écoulements (phénomène complémentaire et amplificateur) ont déversé dans la fosse Mont-Rose les parties méridionales de la zone Saint-Bernard, *jusqu'à remplir entièrement cette fosse*³⁾.

D'où, les structures ondulées des gneiss Verosso et des gneiss Domo-Prabernardo, et le recouvrement des ophiolites mésozoïques Mont-Rose par ceux-ci; structures et recouvrement schématisés sur la coupe ci-jointe.

3. Ce qui précède s'accorde parfaitement avec ce qu'il y a de meilleur, de plus juste dans l'œuvre admirable d'Argand: les déversements de masses Sesia vers le nord. En rectifiant la chronologie des diastrophismes, en comprenant l'asymétrie du premier bourrelet subcrustal et ses conséquences, et en comprenant que les nappes Emilius, Mont-Mary et Dent-Blanche d'E. Argand correspondent à des *subductions cisailantes du Complexe SB/MR sous la zone Sesia*, on voit que l'espace gneissique triangulaire Domo-Prabernardo est tout-à-fait normalement délimité au S par le cisaillement rectiligne qui se poursuit de Mugnalp à S. Maria Maggiore.

Tels sont les trois groupes de raisons qui montrent que les gneiss de l'espace triangulaire Domo-Prabernardo et les gneiss Verosso, autrefois solidaires, sont des éléments Saint-Bernard appartenant au Complexe SB/MR. Pour les particularités structurales de ces gneiss l'essentiel est représenté sur la coupe ci-jointe, mais pour une multitude de détails à propos de leur nature autour de San Lorenzo et à propos

²⁾ Un tel mouvement était prédestiné, comme sont prédestinés, par exemple, les mouvements analogues avec séismes qui se font aujourd'hui autour du Pacifique.

³⁾ Que ce déversement sous-marin SB/MR soit le premier grand diastrophisme alpin, on en trouve une pleine confirmation dans: a) les retroussements de digitations Saint-Bernard lors du cheminement des masses Sesia vers le N, près de Cogne et dans le Valtournanche; b) les structures laminées, étirées, à peu près isoclinales, sur le flanc septentrional des massifs Mont-Rose et Grand-Paradis, et, conjointement, l'absence de tout élément Sesia entre MR et SB; c) l'absence de tout conglomérat mésozoïque dans la zone MR alors qu'il en existe dans les schistes lustrés de la zone SB.

de leurs très nombreuses intercalations mésozoïques, ophiolitiques ou calcareuses, qui ne peuvent être résumés ici comme je l'ai fait plus haut pour la jonction Arza-Cisore, je ne peux que renvoyer à mon travail de 1954. Tandis que ci-dessous nous allons voir pourquoi de grandes masses ophiolitiques, épaissies tectoniquement, s'intercalent, séparent aujourd'hui gneiss Verosso et gneiss Domo-Prabernardo, autrefois solidaires.

Couverture ophiolitique Mont-Rose

La fosse Mont-Rose ayant subi au maximum l'affaissement et simultanément les fissurations du géosynclinal alpin, il est bien normal que sa couverture mésozoïque ne comporte pas ou presque pas de calcaires dolomitiques dans ses parties médianes, et qu'elle soit faite essentiellement d'ophiolites (approximativement 80 % d'après les évaluations d'Argand et de moi-même).

Basaltes et péridotites sont devenus prasinites, amphibolites, serpentines, mais à ce propos il me paraît utile et même important de noter ici qu'en parcourant le Val d'Aoste j'ai le plus souvent remarqué une prédominance de prasinites par rapport aux amphibolites, tandis qu'en parcourant l'Ossola j'ai remarqué l'inverse. A mon sens, ceci doit s'expliquer surtout par les différences de température qu'implique une épaisseur de bourrelet orogénique moindre sous l'Ossola-Tessin que sous le segment valaisan-valdotain, et il me semble que l'idée classique de «surcharge tectonique déterminant l'intensité du métamorphisme» est ici fortement mise en défaut.

Mais ne poursuivons pas ici ces quelques remarques à propos de la nature de ces roches, et revenons aux structures acquises dans l'Ossola par la couverture mésozoïque Mont-Rose et les gneiss encaissants.

Pour le flanc E du massif Mont-Rose, j'ai indiqué plus haut les raisons qui m'ont fait schématiser sur la coupe ci-jointe cette couverture et les gneiss MR et SB sous forme d'un immense pli en S résultant du débordement latéral lors de l'énorme soulèvement. Les pendages de la coupe correspondent exactement à ceux du terrain, et il est sans doute inutile d'épiloguer sur cette question.

Pour les strates plongeant N ou NW qui séparent gneiss Domo-Prabernardo et gneiss Verosso, entre la vallée d'Antrona et celle de Bognanco, il faut reprendre ici l'ensemble orogénique bourrelet-superficie et comprendre ce qui a dû se passer en profondeur entre la phase Sesia et la phase simplonique.

Rappelons pour cela qu'à l'accentuation graduelle du courant primordial créateur du géosynclinal, est due la série de subductions cisailantes suivies d'écoulements qui a créé dans les hauts le déversement SB/MR, et dans les bas un bourrelet très asymétrique, comparable à celui des dunes. Et remarquons que sous le flanc raide de ce premier bourrelet a forcément dû naître un second courant subcrustal, plus vigoureux que le premier parce que plus incliné et parce que l'intensité, la vitesse d'un courant croît avec l'inclinaison des géoisothes; ce qui impliquait évidemment la naissance dans cette zone de forces déformantes plus vigoureuses que les premières et plongeant en sens contraire (tandis qu'auparavant les forces plastiquement déformantes puis cisailantes, engendrées par entraînement, étaient toutes dirigées vers l'avant pays).

D'où, entre ces nouvelles forces et la persistance des premières, une résultante plongeant vers S, qui devait produire d'une part les subductions cisailantes du Complexe SB/MR sous zone Sesia et d'autre part des translations dans le bourrelet infracrustal (éminemment plastique et même fluidal, translations augmentant évidemment la pente du flanc méridional et revigorant ainsi le courant primordial).

Ceci devait, en conséquence, faire basculer la résultante précédente et recréer des subductions à déversement vers S, beaucoup moins importantes et moins cisailantes que les subductions MR sous SB de la première phase tectogène, mais suffisantes cependant pour produire les grands plis-failles Camughera et Loranco, schématisés sur la coupe ci-jointe.

Ensuite, encore un processus du même genre mais en sens inverse, une nouvelle inversion de la résultante des forces plongeantes dérivant des deux courants en action, et en conséquence les quatre subductions cisailantes de la phase simplonique. Et ainsi de suite, jusqu'à la fin de l'orogénèse alpine; des inversions, des alternances de la résultante, comme je l'ai schématisé récemment dans les *Eclogae* (64/1, 1971).

Ainsi s'explique bien normalement, par deux subductions de faible amplitude, la présence en ces lieux de la couverture ophiolitique Mont-Rose, plongeant N ou NW, épaissie tectoniquement, séparant les gneiss Domo-Prabernardo des gneiss Verosso, et comportant en son intérieur deux digitations, deux pointes anticlinales de gneiss Mont-Rose (voir coupe) dont l'une affleure au bord de la route Bognanco-Terme et San Lorenzo. Ainsi s'explique bien normalement cette déformation longitudinale de nappe Saint-Bernard sur Mont-Rose par des mouvements ultérieurs.

Pour des détails pétrographiques et structuraux à propos de ces strates ophiolitiques et des gneiss encaissants, je ne peux ici que renvoyer à mon travail de 1954.

Conclusion

Telles sont les structures des deux nappes penniques qui apparaissent autour de San Lorenzo, et telles sont les causes profondes qui les ont fait naître et qui les ont ensuite déformées, soit longitudinalement, soit transversalement. Elles mettent en évidence, me semble-t-il, l'importance de ces quatre notions nouvelles, sans doute nécessaires pour résoudre la plupart des problèmes que posent encore d'autres segments de la chaîne alpine:

1. Les vastes et classiques recouvrements Saint-Bernard sur Mont-Rose proviennent tout simplement d'une première phase tectogène; ils résultent des premiers grands mouvements de l'orogénèse alpine, et non des derniers.
2. Dans les diastrophismes alpins il faut bien distinguer: d'une part *le phénomène primordial* que constituent les subductions cisailantes provenant d'entraînement par les courants subcrustaux, et d'autre part *le phénomène complémentaire et amplificateur* que représentent les écoulements par gravité dans les dépressions créées par les subductions elles-mêmes.
3. Lors des subductions cisailantes alpines, il s'est produit constamment: au-dessous de la surface principale de cisaillement, des laminages et étirements, avec une *schistosité de subduction* parallèle à cette surface; au-dessus de celle-ci, des coupures de strates et une tendance à la compression.

4. L'orogénèse alpine s'est faite avec une série de subductions alternant tantôt vers l'avant-pays, tantôt vers l'arrière-pays, et impliquant une série d'inversions de la résultante des forces issues, par entraînement, des deux courants en action sous les flancs du bourrelet orogénique; pour l'évolution et les variations de forme de ce bourrelet, voir la série de schémas parue récemment dans *Eclogae* (64/1).

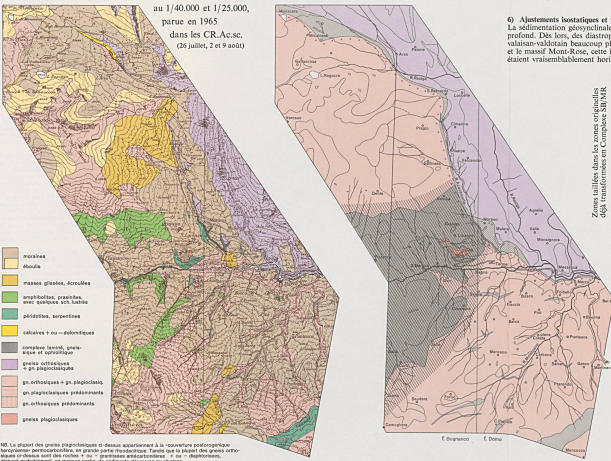
BIBLIOGRAPHIE

- AMSTUTZ, A. (1954): *Pennides dans l'Ossola et problème des racines*. Arch. Sci. 7, 411.
– (1965): *Notions fondamentales pour la géologie de l'Ossola*. C.r. Acad. Sci. Paris 261, 1040, 1347 et 1559.
ARGAND, E. (1911): *Les nappes de recouvrement des Alpes occidentales*. Mat. carte géol. suisse [n.s.] 31.
BEARTH, P. (1939): *Über Zusammenhang der Monte-Rosa- und Bernhardecke*. Eclogae geol. Helv. 32, 101.
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. Karte Schweiz [N.F.] 52.

PS – A ces pages-ci est adjointe une carte tectonique avec une légende récapitulant l'évolution du segment Ossola–Tessin en cette zone occidentale. Et, pour donner une claire vision de ce qui apparaît autour de San Lorenzo, est joint aussi un panorama dont l'essentiel du dessin a été fait par Augustin Lombard; qu'il me soit permis de lui dire ici encore tous mes remerciements pour avoir si bien réussi ce dessin.

Rédaction au 1/50,000 de la Carte géologique au 1/40,000 et 1/25,000, parue en 1965 dans les CR.Ac.sc. (26 juin, 2 et 9 août)

Carte tectonique du Val Bogaanco autour de San-Lorenzo, au 1/50,000, par A. Amstutz



6) Ajustements tectoniques et phénomènes conus

La sédimentation géosynclinale et la tectogenèse ont eu beaucoup plus d'ampleur dans le segment valaisain-valdôtain que dans l'Ossola-Tessin et il en est forcément résulté un bourrelet subcrustal beaucoup plus important, beaucoup plus profond. Dès lors, des distorsions transversales étaient prévisibles dans les zones de transition. Dès la fin des phases penniques, les ajustements tectoniques ont, en effet, graduellement soulé le segment valaisain-valdôtain beaucoup plus que l'Ossola-Tessin, créant par débordement latéral, l'impression plus transversal d'Autonopagna, et créant ici, autour de San-Lorenzo, une inclinaison longitudinale proche, en moyenne, de 20°. Entre le Toge et le massif Mont-Rose, cette inclinaison axiale se remarque en maints endroits par l'inclinaison vers FE des lignes B de l'Ossola (lignes ou arcs provenant d'intersections d'une schistosité antérieure, lignes qui étaient vraisemblablement horizontales à l'origine). Cette inclinaison axiale, exactement contraire à celle du système Argand-Saia, se manifeste aussi dans l'hydrographie de l'Ossola, où les principales vallées drainent les eaux de l'W à l'E.

NE. Le schist des gneiss plagioclase de l'Arca appartient à la couverture post-orogénique hercynienne-permo-carbonifère, et n'est pas un schist de la zone de déformation SB/MR. Les gneiss plagioclase de l'Arca sont des gneiss primaires, et ne sont pas des gneiss de la zone de déformation SB/MR.

5) Zone simplonique

Mésozoïque de la nappe Monte-Leone, comportant (nachtri) des masses hercyniennes de roches dolomiques, calcoschistes, ophiolites et gneissiques plus ou moins broyées, mélangées et recristallisées. Antécarbonifère et « couverture post-orogénique permo-carbonifère » de la nappe Monte-Leone, analogues à ceux des zones SB et MR, sur failles dans le Complexe SB/MR lors de la première des subductions simploniques.

La première des quatre subductions cisaillantes de la Troisième phase tectogène a engendré simultanément la base de la nappe Verosio-Bernas et le dos de la nappe Monte-Leone (dos créé avant la base!). Entre Arca et Clivio, apparaissent admirablement les effets primordiaux de cette subduction cisaillante (tandis que les effets complémentaires et amplificateurs apparaissent plus au N, sous forme d'éroulements dans la dépression créée par la subduction). Ici, de Clivio à Arca, on observe: 1) au dos de N. Monte-Leone, les étirements et laminages, avec *schistosité de subduction* parallèle à la surface principale de cisaillement, qui caractérisent les parties radicales des nappes alpines; 2) à la base de N. Verosio-Bernas, des compressions, plus imbrications ou simples frottements, et des coupures cisaillant les strates basses, avec des angles variant, comme il se doit, de 0 à 90°; ces deux groupes de phénomènes étant figurés sur la carte par des points violets.

4) Zone de déformation du complexe SB/MR lors d'une « Phase intermédiaire »

Les plis Camugera et Lorenno, avec schistosité de subduction, sont déversés vers S et ont abaissé les gneiss Domo-Prabernardo par rapport aux gneiss Verosio; ils proviennent donc de subductions de même sens que celles de la Première phase tectogène, mais d'ampleur beaucoup moindre. Or, comme ceci a été figuré sur les coupes au travers de l'Arca par Amstutz (1964), la prépondérance du second courant lors de la Deuxième phase tectogène a dû, normalement, créer un bourrelet subcrustal (faiblement plastique et fluant) à flanc N plus raide que l'Arca, une reprise de subductions à déversement vers S, et la formation des plis Camugera et Lorenno. Et d'où, ensuite, par le même processus, un nouveau bourrelet à pente raide du côté N, près des subductions simploniques. Cf. sur les coupes d'Edggar 641: les inversions successives de la résultante des forces issues du courant principal et du second courant, la série d'alternances du jus de ces forces, jusqu'à la fin de l'orogénie alpine.

3) Zone Sesia

Mésozoïque très ophiolitique, mais apparemment moins important que dans la zone MR. Permo-carbonifère très ex-phyllacitique, analogue à celui des zones MR et SB; Antécarbonifère différent.

Lors d'une Deuxième phase tectogène, recristallisation, des subductions cisaillantes, en sens inverse des précédentes, ont coupé les parties méridionales du Complexe SB/MR; constituant ainsi un phénomène qui devait nécessairement faire suite à la Première phase tectogène, sur celle-ci a certainement créé, sous la zone MR, un bourrelet très géotectonique comparable à celui des dunes (cf. le coupé Edggar 641), d'où devait forcément naître un second courant subcrustal, opposé au premier, plus vigoureux parce que plus incliné. Mais ces subductions cisaillantes n'ont pas eu dans l'Ossola-Tessin l'ampleur des déversements de masses Sesia effectués dans les segments conus, valaisain-valdôtain et grison; laissant ainsi à la Troisième phase, simplonique, la continuation des déversements penniques vers le N.

2) Zone Saint-Bernard

Trias calcareo-dolomique et sédiments détritiques ou calcoschistes ultérieurs beaucoup plus développés que dans la zone MR; ophiolites en proportions restreintes. Antécarbonifère et « couverture post-orogénique hercynienne, permo-carbonifère » présentant, sous deux, les mêmes caractéristiques que celles de la zone MR.

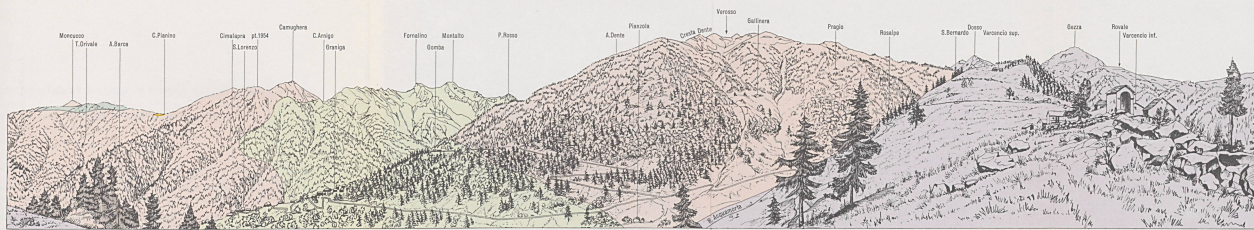
Pendant la phase géosynclinale, affaissement, étirements et fissurations beaucoup moindres que dans la zone MR. Vers la fin du Jurassique, lors d'une Première phase tectogène, des subductions cisaillantes, suivies d'éroulements, ont déversé dans la fosse géosynclinale MR, jusqu'à la limite méridionale, les parties méridionales de la zone SB; ces subductions n'étant qu'une conséquence de l'accrétion paroxysmale du courant subcrustal créateur du géosynclinal. Les gneiss Verosio et Domo-Prabernardo, à structures ondules, appartiennent à ces parties SB déversées dans la fosse MR.

1) Zone Mont-Rose

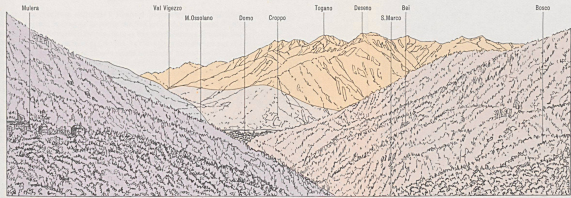
Trias et Jurassique essentiellement ophiolites, avec peu de schistes latérés; Trias métrique très restreint, nul dans les parties médianes de la zone. Silurien et Dévonien; Permo-carbonifère post-orogénique en grande partie ex-phyllacitique.

Ex-fosse géosynclinale, correspondant au maximum des étirements et des fissurations ophiolitiques et des fissurations basaltiques, qui ont accompagné l'affaissement relatif rapide de cette zone MR dès le début du Trias (la conception de ces fissurations et de cet affaissement se pouvant évidemment provenir que d'un courant magmatique radicaux à sous-face de l'écorce terrestre.

* Autour du Pacifique se font aujourd'hui des subductions cisaillantes du même genre, des subductions correspondant à cette Première phase tectogène SB/MR, que créent des courants dirigés vers le continent.



Panorama pris de Varenco, à 1½ km au N de San-Lorenzo, dans le Val Bogranco

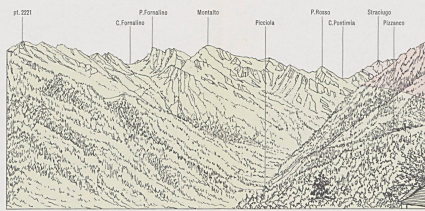


Vue de San-Lorenzo vers l'E

A gauche, sur le flanc septentrional de la vallée, ce sont les gneiss du dos bombé de la zone M. Leone, plongeant S. Tandis qu'en face, sur le versant méridional, ce sont les gneiss de la zone triangulaire Domo-Praderarò, qui sont cédulés et qui appartiennent aux masses de Bernarò observées dans la zone M. Rose.

La surface de cisaillement entre ces gneiss M. Leone et ces gneiss de Bernarò apparaît généralement dans le fond de la vallée, ainsi qu'on le voit sur la R. Bogranco.

Au sortir de la vallée, on aperçoit l'empilement de la Toca (et les crêtes de C. Droppo) et on a une belle vue en entaille du Val Bogranco. Plus loin, le Val Vigorò et les montagnes qui au sud du complexe Domo-Praderarò, appartiennent à la zone Sesia.



Vue de San-Lorenzo vers l'W

A gauche du panorama, jusqu'à la C. Campegna, s'étendent des gneiss du complexe Domo-Praderarò, qui appartiennent aux masses de Bernarò observées dans la zone M. Rose lors d'une Première phase tectonique. Les serpentines de Montacco et les calcères dolomitiques du Piatto séparent des unités de ces gneiss de Bernarò, dont les ondulations correspondent bien à ces structures d'écoulement.

Plus à l'W, de la Campegna au Matello, ce sont d'épaisseurs strates amphibolitiques plongeant N, avec très peu de schistes lustrés; elles appartiennent à la couverture monoclinalique de la zone M. Rose, mais surmontent les gneiss de Bernarò par suite d'une subsidence postérieure à la première phase tectonique, ce même sens étant beaucoup moins important (voir coupe et texte).

Le contact opalin M. Basso SB passe entre les pt. 1906 et 1714, et traverse la vallée sous San-Lorenzo. Encore plus à l'W, sur les versants de la Cima Rosso, il a ses alternances de gneiss et d'ophiolites avec schistes lustrés, qui correspondent à des roches ou schistes.

Dans la partie médiane du panorama, affleurent les gneiss de Bernarò de la Cima Varenco et de la Crête del Dente, et les gneiss des pentes qui descendent jusqu'à l'Acquarotta, que l'on voit à droite des schistes de Piatto. Ces gneiss plongent vers N, avec quelques ondulations, et se raccordent à ceux de Domo-Praderarò par-dessus les ophiolites M. Basso de Montacco-S. Lorenzo; le contact passant près de Gerra sur la crête qui se profile ici en courbe. Au nord, ces gneiss de Bernarò s'étendent jusqu'à Bernarò, sur le dos de la nappe Monte-Leone; le contact passant ici dans l'Acquarotta et remontant tout au long de celui-ci les gneiss plongeant N de la nappe Varenco-Bernarò causés par la subsidence des gneiss amphibolitiques Monte-Leone plongeant S avec une déformation constamment parallèle à la surface principale de cisaillement.

À droite, au-delà du pylône, sur la crête de Varenco, qui sépare l'Acquarotta du grand versant Raisig, dont on aperçoit le flanc E entre la chabotte et l'Arbe, ce sont des gneiss du dos bombé de la nappe M. Leone. De même, c'est dans les gneiss M. Leone que sont situés le P. Rosale et les autres sommets de la crête qui se profile au loin et qui sépare le Val Bogranco de la grande vallée descendant de Simpona.

A gauche, sur le flanc méridional de la vallée et dans les montagnes au fond, ce sont les strates amphibolitiques constituant la couverture monoclinalique de la zone M. Rose, plongeant vers N par suite d'une subsidence postérieure à la Première phase tectonique. Sur le flanc septentrional, les strates plongeant Varenco-Bernarò reposent sur les ophiolites précédentes et se raccordent par-dessus celles-ci aux masses Domo-Praderarò. Au fond de la vallée, des alternances de gneiss et d'ophiolites avec schistes lustrés, correspondant aux replis Lorenco et Campegna de la subsidence post-tect.