

Du Pèlerin aux Pyrénées

Autor(en): **Trümpy, Rudolf**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **69 (1976)**

Heft 2

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-164506>

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.

Du Pèlerin aux Pyrénées

Par RUDOLF TRÜMPY¹⁾

ABSTRACT

Ligurian and Insubric-Lombardian facies belts occur on one hand in the western part of the Southern Alps, on the other in the highest nappes of the Prealps (Col des Gêts, Simme) and the upper Penninic – lower Austroalpine sheets of Graubünden (Platta-Arosa, Err-Bernina). To interpret this anomaly, the hypothesis of a large left-lateral displacement during the Upper Cretaceous is advanced. It might represent the eastern prolongation of the North-Pyrenean transform fault, or at least of one of its branches. This hypothesis could explain some peculiarities of Alpine history and structure (such as the arc of the Western Alps); but there are a number of contradictions, mainly connected with the age of high-pressure metamorphism in the Western Alps.

1. Une anomalie de la paléogéographie alpine

Les idées que je vais présenter dans ce travail ont pris naissance il y a très longtemps, lorsque nous étudiâmes, avec Arnold Bersier (1954), les galets des conglomérats oligocènes du Mont Pèlerin. Nous nous aperçûmes que la grande majorité de ces galets provenait de la nappe de la Simme; SPECK (1953) était arrivé à la même conclusion pour les poudingues de la Rigi. Il fut possible de reconstituer la série stratigraphique de cette nappe, en tenant compte des observations qui ont été faites depuis. Elle comportait un cristallin banal, des granites du type Baveno, des arkoses et des roches volcaniques (rhyolites, granophyres, porphyrites) appartenant vraisemblablement au Permien, des dolomies saccharoïdes du Trias, des lumachelles du Rhétien, un Lias représenté soit par des calcaires à entroques et des calcaires noduleux, soit par une puissante masse de calcaires spongolithiques à lits et nodules de silex, des «Fleckenmergel» du Lias supérieur – Dogger inférieur et moyen, des radiolarites, un Jurassique supérieur – Crétacé inférieur de faciès Maiolica ou de faciès néritique, une série de «scisti con palombini» et enfin du flysch crétacique (voir ELTER et al. 1966, 361–362). Il importe peu que cette série provienne d'un remaniement à partir de galets de conglomérats du type Mocausa ou de la destruction d'un «corps de nappe», dont l'actuelle nappe de la Simme, qui ne comporte que quelques lambeaux ou olistolithes de terrains anté-cénomaniens emballés dans le flysch, serait un diverticule avant-coureur. Si la première hypothèse se défend pour la transversale de la Suisse romande, il n'en est pas de même en Suisse centrale, où l'on connaît des poudingues dont la plupart des galets sont des

¹⁾ Institut de Géologie de l'EPFZ, Sonneggstrasse 5, CH-8092 Zurich.

granitoïdes et des rhyolites, avec très peu de galets du type flysch (p. ex. SCHLANKE 1974).

L'analogie frappante entre la série stratigraphique de cette nappe Super-Simme (ou de l'unité fournisseuse des galets de la Mocausa, ce qui revient essentiellement au même) et celle des Alpes Méridionales lombardes des alentours du Ceresio et du Verbano fut, à l'époque, un casse-tête majeur. Ces analogies n'ont fait que se confirmer depuis; mentionnons la parenté étroite du Jurassique de la coupe de la Gueyras (SCHWARTZ CHENEVART 1945; ELTER et al. 1966) et des séries du bassin du Monte Nudo, à l'E du Verbano (KÄLIN & D. TRÜMPY 1976). Comment se pouvait-il qu'une série stratigraphique pratiquement identique se trouvait, d'une part, dans la couverture autochtone et tranquille des Alpes Méridionales et d'autre part dans une nappe de charriage de l'édifice préalpin? Où devons-nous rechercher l'origine de la nappe de la Simme, puisque Aristote nous avait enseigné qu'un seul objet ne saurait se trouver, au même temps, en deux endroits différents?

Le remarquable travail des frères ELTER, de STURANI et de WEIDMANN (1966) a apporté des précisions très importantes, sans pour autant résoudre le problème. Ces auteurs purent mettre en évidence le fait que le Canavese occidental, lié au sous-bassement sud-alpin de la zone d'Ivrée, était apparenté au domaine ligure; ce domaine fut également reconnu dans le Monferrato. Quant à la nappe de la Simme, elle se rattacherait à la partie tout à fait occidentale du domaine lombard, séparé du domaine ligure par une «ride insubro-lombarde», à vrai dire assez mal définie (voir p. ex. CARRARO & STURANI 1972). Mais sur la transversale des Préalpes, le domaine insubrien et lombard occidental, dont la vaste nappe de la Simme serait partie, se trouve bel et bien en position autochtone sud-alpine. ARGAND (1909) avait clairement démontré les analogies entre la nappe de la Simme et le Canavese; mais le problème géométrique et palinspastique était plus simple tant que l'on pouvait interpréter le Canavese comme couverture de la zone Sesia, ce qui n'est plus guère possible aujourd'hui (voir BAGGIO 1965 *a* et *b*; AHRENDT 1972).

Deux autres «curiosités» de la paléogéographie alpine demandaient une explication. Le domaine ligure, le plus large et le plus océanique des eugéosynclinaux alpins, devait se terminer très brusquement vers le NE, aux environs d'Ivrée. De même, la zone de Sesia (Sesia-Dentblanche au sens large) se termine «en queue de poisson» vers le SW, dans la vallée de la Stura di Lanzo, entre deux complexes ophiolithiques (voir NICOLAS 1968, 1974).

2. Eléments «ligures» dans les Grisons

Dans la transversale des Grisons, on rencontre les unités suivantes du Pennique interne et de l'Austroalpin inférieur (pour plus de détails et pour la bibliographie, voir TRÜMPY & HACCARD 1969; TRÜMPY 1975):

1. La nappe du Suretta, puissant ensemble de cristallin anté-carbonifère, avec des restes d'une couverture mésozoïque.
2. Les schistes lustrés de l'Avers, formant plusieurs nappes de décollement superposées, riches en intercalations de prasinites qui prédominent dans la partie S (Piz Lizum). Au-delà du décrochement tardif de l'Engadine, les serpentinites

du Val Malenco, localement accompagnées de gabbro mais sans couverture sédimentaire, occupent une position analogue et peuvent représenter le soubassement océanique d'une partie des schistes lustrés de l'Avers.

3. La nappe de la Margna, avec un noyau cristallin comportant deux séries anté-triasiques distinctes, dont le complexe du Fedoz n'est pas sans analogie avec le complexe de la Valpelline. La couverture sédimentaire, assez mince, comprend des dolomies triasiques, des calcaires du Lias, des radiolarites et des calcaires à *Aptychus*, ainsi que des calcschistes d'âge incertain, qui peuvent appartenir soit au Lias supérieur – Dogger, soit au Crétacé. Il n'y a guère d'ophiolites.
4. La nappe du Platta, à laquelle correspond la nappe d'Arosa des Grisons septentrionaux, consiste surtout en ophiolites et en une série sédimentaire avec des schistes du Jurassique moyen, des radiolarites, des calcaires à *Aptychus*, des schistes à Palombini, un «pré-flysch» (albo-aptien?) et un flysch cénomaniens. Les termes plus anciens (cristallin, Trias et Lias) forment des copeaux dont les relations avec les autres formations ne sont pas encore connues de façon adéquate.
5. Les nappes austroalpines inférieures (Err et Julier au NW, Corvatsch et Bernina au SE de l'accident de l'Engadine). Elles sont caractérisées par de puissants complexes cristallins, où prédominent les granitoïdes varisques, et par une série sédimentaire très variable, généralement peu épaisse, dont les brèches sédimentaires sont les termes les plus typiques.
6. Les Alpes Calcaires Septentrionales, dont le soubassement cristallin est inconnu (nappe du Languard?).
7. L'Austroalpin Central: les blocs cristallins Campo, Sesvenna, Silvretta, Ötztal et leur couverture.

Rappelons que pour certains auteurs, notamment pour A. Tollmann, l'ordre des unités 6 et 7 serait inversé.

Pour notre problème, il est important de noter que le Pennique interne (Piémontais s.l.) des Grisons comporte au moins deux sillons eugéosynclinaux à ophiolites (2 et 4), séparés par le «mini-continent» de la Margna (3).

En outre, il est frappant de noter le caractère «ligure» de certaines séries (STURANI 1973). C'est notamment le cas pour la zone Platta-Arosa, où nous retrouvons pratiquement toute la série ligure (voir HALDIMANN 1975; WEISSERT 1975). Les schistes à calcaires fins du type Palombino sont particulièrement typiques («Mandelschiefer» du Rhaetikon, voir RICHTER 1957). Des séries tout à fait analogues se rencontrent dans les parties externes du domaine austroalpin inférieur (écailles de Roccabella-Carungas, sous la nappe de l'Err; écaille du Piz Nair, dans le dos de cette nappe). Depuis les radiolarites du Dogger supérieur – Malm inférieur jusqu'au flysch cénomaniens, le cachet ligurien ne fait pas de doute; on trouve également, dans certaines parties de la nappe d'Arosa, des zones de schistes froissés à olistolithes de terrains divers que l'on n'hésite guère à appeler argille scagliose. La formation de Saluver (FINGER 1975) n'est pas sans rappeler la brèche de Levone, dans le Canavese. Dans des parties plus internes de l'Austroalpin inférieur (nappe du Bernina) et dans les unités les plus externes des Alpes Calcaires Septentrionales

(nappe de l'Allgäu), les faciès rappellent soit ceux de la nappe de la Simme proprement dite, soit ceux du Canavese oriental (Montalto). Il faut toutefois noter l'absence du Flysch à Helminthoïdes, dans la transversale des Grisons aussi bien que dans celle de la Suisse centrale.

D'après les faciès, on est donc amené à faire provenir le Canavese occidental, la nappe du Col des Gêts et la zone d'Arosa de domaines voisins. D'ailleurs, la nappe à ophiolites des klippes d'Iberg (HANTKE & TRÜMPY 1965) fournit un jalon intermédiaire de ces unités. Les analogues de la nappe de la Simme seraient à rechercher dans l'Austroalpin inférieur, peut-être aussi sur la marge NW des Alpes Calcaires Septentrionales. Ceci dépend évidemment aussi de la position relative de la Simme et de la nappe du Col des Gêts (voir CARON 1972).

Certaines analogies générales de faciès entre les Alpes Méridionales de la Lombardie occidentale et du Mendrisiotto d'une part, les nappes austroalpines inférieures d'autre part furent relevées, il y a longtemps, par DE SITTER (1947). Mais un raccord paléogéographique direct n'est guère possible, pour des raisons géomé-

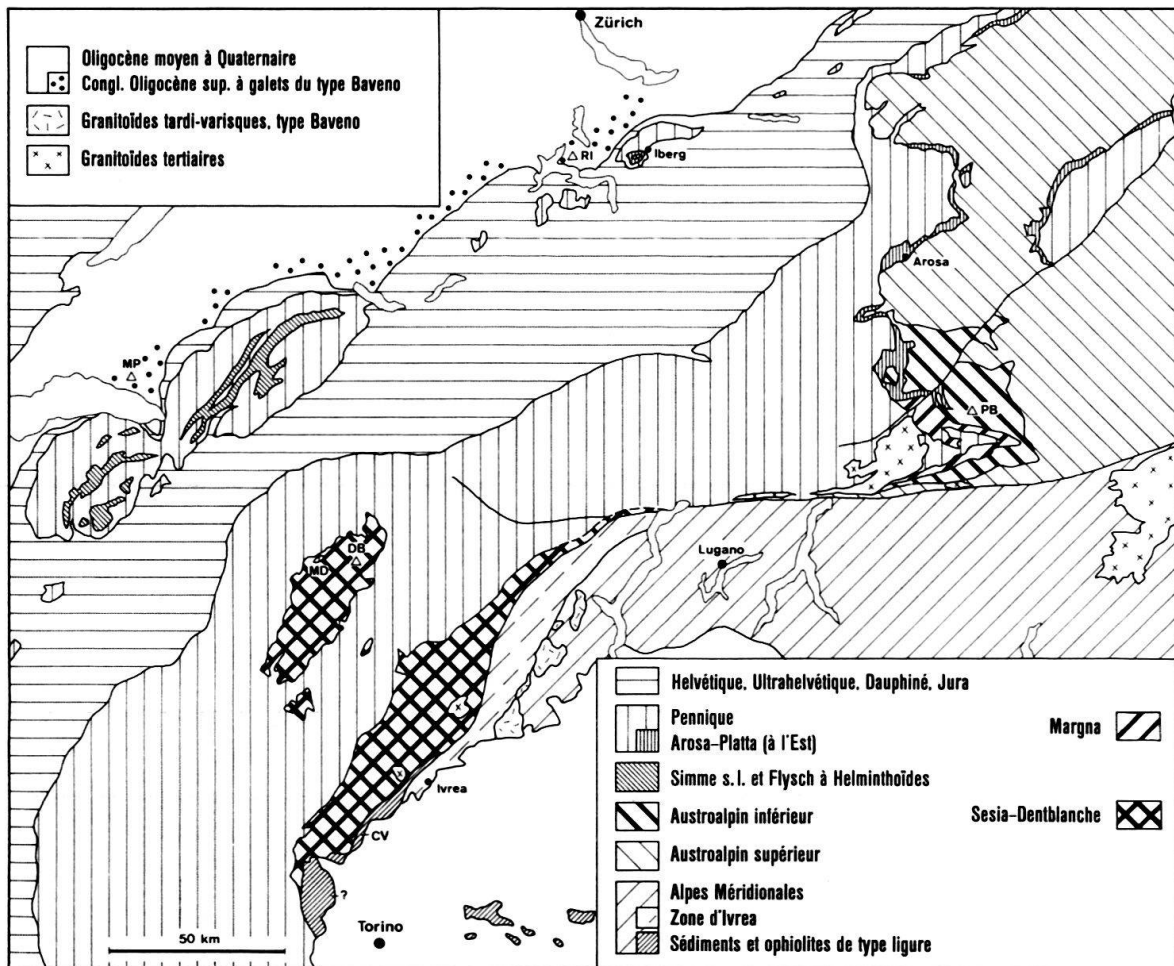


Fig. 1. Répartition des faciès «ligures» dans les Alpes Centrales.

CV = Canavese
DB = Dentblanche
MD = Mont Dolin

MP = Mont Pèlerin
PB = Piz Bernina
RI = Rigi

triques. A leur bord d'érosion occidental, en Engadine, les nappes austroalpines inférieures ne donnent aucun indice de se terminer vers l'W; les structures majeures sont disposées E-W, même si des éléments structuraux mineurs à direction N-S ne manquent pas. Sur la transversale Lugano-Altendorf, et probablement bien à l'W de celle-ci, les équivalents de l'Austroalpin inférieur doivent bien se trouver en position «alpine», au N de la ligne insubrienne, et non pas en position sud-alpine. Ceci d'autant plus que même le domaine austroalpin supérieur des Alpes Calcaires Septentrionales est encore présent sur cette transversale, sous forme des couches de Raibl et du Hauptdolomit absolument typiques qui couronnent les petits sommets de la Mördergrueb et du Roggenstock, dans les klippen schwytzoises.

Depuis la prise de position de STAUB (1937), la plupart des auteurs (dont le signataire de cette note, encore en 1975) ont admis la parallélisation de l'ensemble Sesia-Dentblanche avec l'Austroalpin inférieur des Grisons. L'argument le plus important pour cette hypothèse est fourni par les sédiments du Mont Dolin (WEIDMANN 1974), qui ont en effet un «cachet grisonide» assez net. A ce moment, l'Austroalpin inférieur se continue, vers l'W, jusqu'à la Pointe d'Otemma et jusqu'à la Stura di Lanzo, et la nappe de la Simme peut être rattachée, d'une façon ou d'une autre, à la nappe de la Dentblanche s.l. Les équivalents de la nappe du Platta devraient alors se trouver juste sous la nappe de la Dentblanche, dans les parties les plus internes de la zone de Zermatt. C'est cette solution que nous avons adoptée pour la construction de la figure 2.

Mais il faut bien reconnaître que ce n'est pas l'unique solution possible. A l'origine, STAUB avait comparé la nappe de la Dentblanche avec la nappe de la Margna (1924). Si cette corrélation était basée sur des arguments peu valables, notamment sur les ressemblances du matériel cristallin, elle ne peut cependant être totalement écartée. On arriverait ainsi à la corrélation paléogéographique suivante

Domaine ligure du Canavese occidental, nappe du Col des Gêts (?)	— Platta, Arosa
Dentblanche s.l. («mini-continent»), nappe de la Simme s.s. (?)	— Margna
Zone de Zinal-Zermatt (Piémontais s.str.)	— Malenco, Avers

Tant que l'appartenance de la Dentblanche (ou d'une partie de la Dentblanche, p.ex. la nappe du Cervin, paléo-alpine, à matériel Valpelline; DAL PIAZ et al. 1972), à l'Austroalpin inférieur n'est pas prouvée de manière certaine, nous sommes obligés de tenir compte des deux hypothèses.

3. Une hypothèse: coulissage sénestre au Crétacé supérieur

Pour expliquer cette anomalie - existence, sur une même transversale, des faciès ligures (col des Gêts) et lombards (Simme) à la fois dans les nappes de charriage et dans l'Autochtone des Alpes Méridionales - nous faisons appel à une hypothèse de travail: à l'existence d'un grand coulissage sénestre, qui aurait joué pendant le

Crétacé supérieur. Cette hypothèse rejoint, par certains aspects, celle de P. ELTER & PERTUSATI (1973) et surtout celle de DEBELMAS (1975).²⁾

Sur la transversale Préalpes-Ivrea, cet accident se placerait forcément entre les «racines» (voir la nappe-porteuse) de la Simme et les Alpes Méridionales. Il est possible que la ligne du Canavese (tronçon occidental de la ligne Insubrienne, aux mouvements complexes; voir BADOUX 1969) en emprunte le tracé. D'autre part, on pourrait aussi envisager qu'une partie de contacts anormaux entre les complexes Valpelline - Secunda zona dioritico-kinzigitica avec les complexes Sesia et Arolla soit due à ces mouvements crétaciques.

Le coulissage aurait dû s'effectuer après le dépôt des terrains qui sont communs aux secteurs piémontais et lombards des Alpes Méridionales, aux nappes supérieures des Préalpes et aux unités Platta-Arosa et Err-Bernina des Grisons, donc en tout cas après le Crétacé inférieur et probablement après le Cénomanién. Il a dû jouer avant la mise en place de la nappe de la Simme s.l., qui n'a pu se produire qu'après l'Eocène moyen (Lutétien du Col du Corbier; BADOUX 1962). Ceci nous laisse la période du Turonien au Lutétien pour les mouvements coulissants, sans que l'on puisse en préciser le moment davantage. Nous penserions volontiers que les mouvements soient contemporains du dépôt du Flysch à Helminthoïdes, donc essentiellement du Crétacé supérieur.

Quant à l'ampleur du coulissage, il est difficile de la chiffrer, puisque les reconstructions palinspastiques sont entachées d'un grand nombre de sources d'erreur possibles. En outre, la valeur du déplacement diffère suivant la corrélation que l'on adopte pour les unités Dentblanche-Sesia. Pour la figure 2, nous avons admis la parallélisation Dentblanche - Austroalpin inférieur, et nous arrivons ainsi à un coulissage de 150 à 200 km. Si la Dentblanche représentait l'équivalent de la nappe de la Margna, le déplacement se réduirait à environs 100 km.

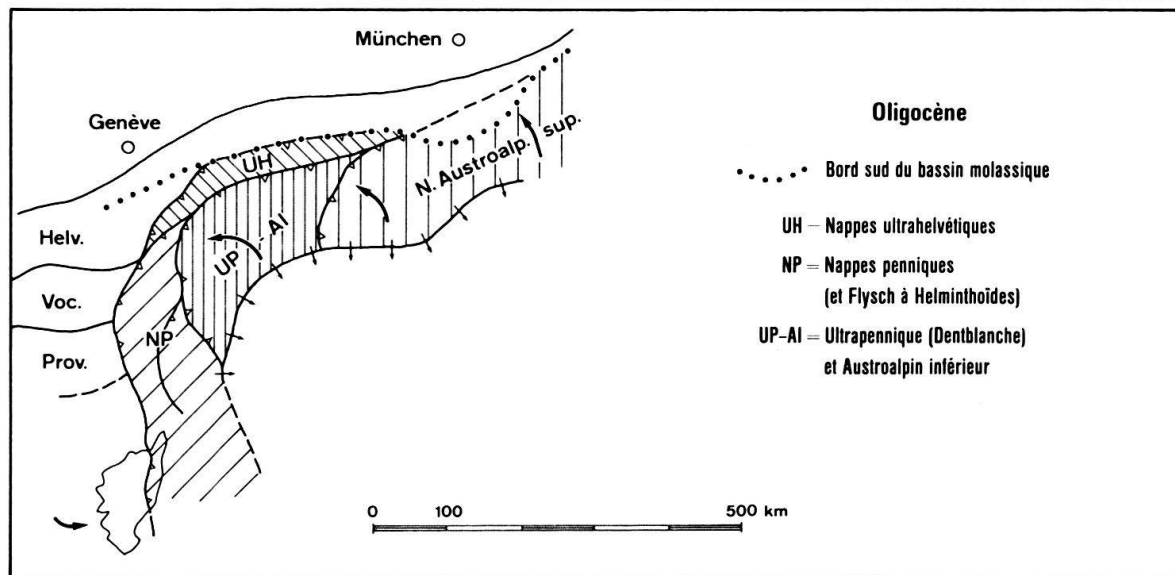
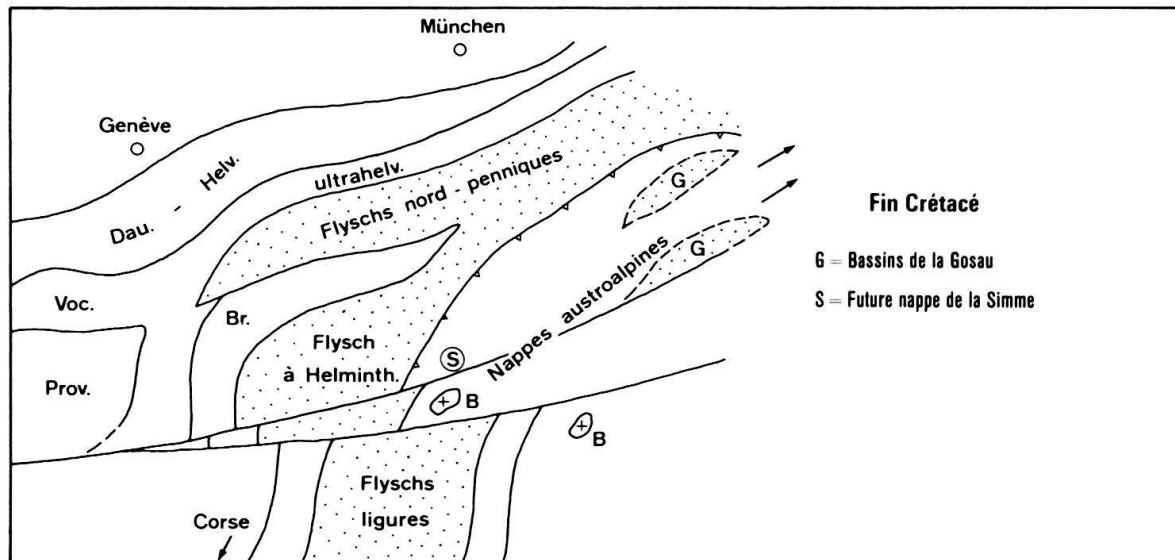
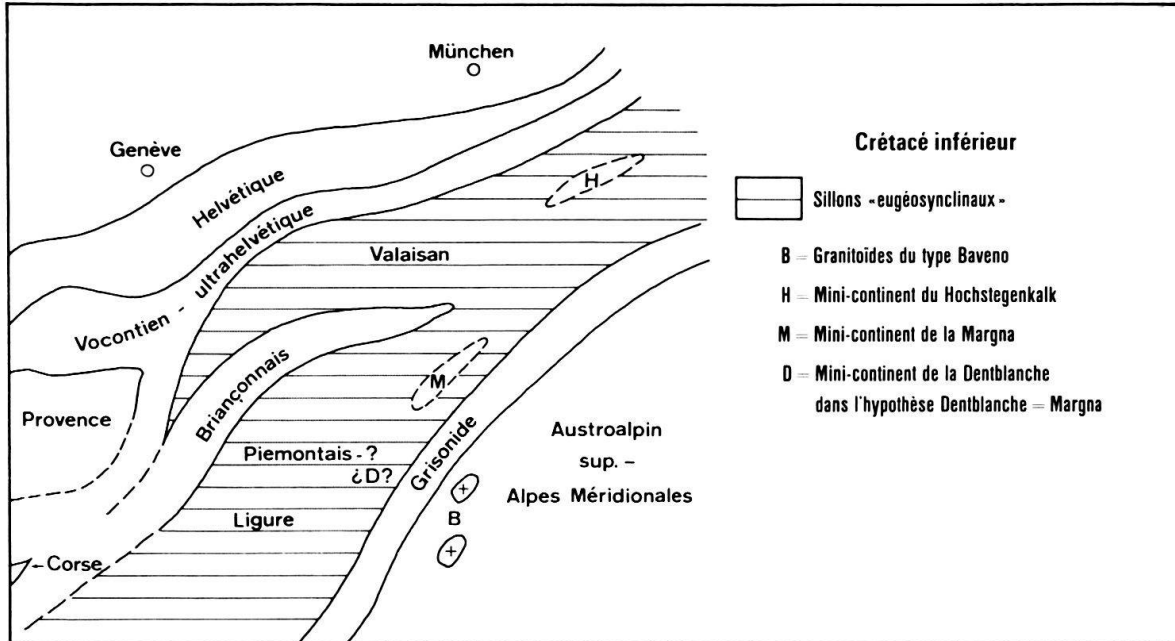
4. La prolongation vers l'E de l'accident nord-pyrénéen

L'hypothèse d'un important déplacement sénestre le long des accidents nord-pyrénéens est en train de gagner de vraisemblance, et ceci par diverses voies indépendantes.

Les données sur l'ouverture de l'Océan Atlantique, fournies par l'alignement des anomalies magnétiques - même si leur origine reste discutable - mais surtout par les campagnes de sondages profonds, ont démontré de façon concluante que l'Atlantique moyen, entre l'Afrique et l'Amérique du Nord, a pris naissance tout d'abord, puis le tronçon en face de l'Ibérie et en dernier l'Atlantique Nord (PITMAN & TALWANI 1972). De ce fait, il devient nécessaire d'admettre des mouvements

²⁾ Ce n'est que lorsque ce manuscrit était achevé que nous avons eu connaissance du travail de J. Debelmas, présenté à la Société Géologique de France le 26 mai 1975, qui énonce une hypothèse presque identique à celle que nous esquissons dans cette note.

Fig. 2. Evolution paléogéographique des Alpes Occidentales et Centrales, selon l'hypothèse du coulissage pyrénéo-alpin.



transformants entre l'Afrique et l'Ibérie du Jurassique au Crétacé inférieur, entre l'Ibérie et l'Europe au Crétacé. Il n'est plus guère possible de douter de l'existence de ces coulissages, même si leur location, leur date et leur ampleur ne sont pas établis d'une façon absolument certaine. Car enfin, la beauté cartésienne des constructions géométriques que nous présentent nos collègues océaniques ne doit pas nous faire oublier qu'une partie des bases de ces constructions restent bien fragiles. Ceci vaut pour l'âge des anomalies mésozoïques aussi bien que pour l'assemblage original. La plupart des reconstructions partent de celui de BULLARD, EVERETT & SMITH (1965), qui est le plus «parfait» du point de vue purement géométrique, mais non pas le plus satisfaisant du point de vue géologique.

Le tracé du coulissage ibéro-africain a donné lieu à des discussions nombreuses, puisque de toute évidence il ne peut passer par l'actuel détroit de Gibraltar, que traversent toutes les unités tectoniques et paléogéographiques (DIDON, DURAND-DELGA & KORNPORST 1973), à peine décalées par un léger déplacement dextre. Nous plaçons cet accident mésozoïque entre le domaine subbétique-pénibétique au N et le domaine, franchement africain, d'Almarchal-Tanger (DIDON 1969) au S, rattachant ainsi le Campo de Gibraltar à l'Afrique crétacique; et nous croyons que les sillons dont sont issus les flyschs crétacés, entre le domaine des zones internes et le Tell africain, relèvent de ces grands mouvements sénestres, plutôt que d'effets de compression, dont on ne connaît pas d'indices certains.³⁾

Quant au coulissage ibéro-européen, il ne saurait passer ailleurs – s'il existe – qu'au pied nord des Pyrénées.

L'étude bathymétrique et géophysique du Golfe de Gascogne fournit des indices pour une ouverture complexe de ce coin océanique (SIBUET et al. 1971; et autres travaux dans «Histoire structurale du Golfe de Gascogne», Paris 1971). A vrai dire, les structures ne semblent pas être du type classique, et le doute subsiste aussi bien sur l'âge de l'ouverture que sur le mécanisme du mouvement. LE PICHON et al. (1970, 1971) admirent un pôle de rotation fixe, au N de Paris, pour le mouvement relatif Europe-Ibérie, alors que CHOUKROUNE (1974) et CHOUKROUNE et al. (1973) restituent un modèle avec un pôle de rotation qui se déplace vers le S.

CAREY (1958) fut le premier à suggérer une rotation de l'Ibérie, en se basant sur des mesures paléomagnétiques encore assez frustes. Depuis, des données ont été multipliées (VAN DER VOO 1969) et semblent bel et bien indiquer une rotation de 20 à 30°, dans le sens contraire aux aiguilles de la montre.

Mais ce sont les observations directes sur le terrain qui donnent les indices les plus convaincants pour de grands déplacements latéraux le long de la faille nord-pyrénéenne. Nous renvoyons à la remarquable thèse de CHOUKROUNE (1974), qui put notamment mettre en évidence des plis à axes subverticaux au voisinage de l'accident. Les mouvements sont accompagnés d'un métamorphisme thermique très localisé et de la mise en place de corps ultrabasiques. Les variations de faciès très brusques aux alentours de l'accident (voir aussi MATTAUER & HENRY 1974, pour un résumé très clair) semblent indiquer que le coulissage aurait put débiter dès

³⁾ Ceci implique que nous penchons pour une origine des flyschs massyliens et maurétaniens (Numidien exclu) d'une cicatrice située entre les zones externes et les zones internes du Maghreb.

l'Albien (mouvements «anté-cénomaniens»); la collision oblique finale se serait produite à la fin du Crétacé, sans que l'on puisse en préciser la date.

L'histoire de l'Océan Atlantique, la structure du Golfe de Gascogne, les données du paléomagnétisme et avant tout la géologie de terrain suggèrent donc l'existence d'un grand mouvement coulissant le long de la faille nord-pyrénéenne, pendant le Crétacé supérieur. L'ampleur et la date du mouvement ne sont pas encore établis avec certitude.⁴⁾

Or, il s'avère que l'accident *sénestre des Alpes Occidentales*, que nous avons soupçonné dans le chapitre 3 de ce petit travail, se trouve dans la prolongation orientale de l'*accident nord-pyrénéen*, lorsque l'on essaie de reconstituer la situation palinspastique des Alpes au Crétacé supérieur et lorsque l'on admet un pôle de rotation de l'Ibérie voisin de celui préconisé par LE PICHON. Ou, pour expliquer le titre quelque peu saugrenu de cette communication: c'est grâce au déplacement de l'Ibérie, le long du front des Pyrénées, que l'on trouve des galets du granite de Baveno dans les vignobles au pied du Pèlerin.

5. Si c'était vrai

Nous venons d'établir un lien possible entre une hypothèse bien fragile (celle des Alpes Occidentales) et une hypothèse un peu mieux étayée (celle des Pyrénées). Si cette relation peut apporter un appui à la vraisemblance des deux théories, il n'en reste pas moins que l'édifice tout entier reste instable, puisqu'il est bâti sur deux piliers dont la solidité reste à être prouvée.

Examinons quelles seraient les conséquences éventuelles d'un coulissage pyrénéo-alpin, afin de chercher les moyens permettant de confirmer, de modifier ou de réfuter une telle hypothèse.

On peut d'abord se demander jusqu'où la plaque ibère s'étendait vers l'E. En principe, le mouvement de cette plaque aurait pu être absorbé par une subduction dans le sillon océanique ligurien. On ne connaît toutefois guère d'indices d'une déformation crétacique majeure dans les nappes issues de cette zone.⁵⁾ Bien plus, les études paléomagnétiques de LOWRIE & ALVAREZ (1974, 1975; voir aussi KLOOTWIJK & VAN DEN BERG 1975), dans les unités parautochtones de l'Ombrie, indiquent une rotation supracrétacique qui pourrait signifier que l'Italie faisait, à cette époque, partie de la même plaque que l'Ibérie. Il se pourrait que même le bloc pannonique appartenait à cette plaque.

L'hypothèse du coulissage pyrénéo-alpin fournit d'abord une explication plausible pour la partie pré-orogénique de l'arc des Alpes Occidentales (DEBELMAS

⁴⁾ Il faut dire que l'importance de ce coulissage nord-pyrénéen vient d'être mise en doute (PEYBERNÈS & SOUQUET 1975); ces auteurs relèvent notamment que certaines zones de faciès ne sont apparemment pas décalées de part et d'autre de la zone nord-pyrénéenne. Les relations entre les accidents nord-pyrénéens et des accidents de direction SW-NE restent à être éclaircies.

⁵⁾ Lors de la réunion extraordinaire de la Société Géologique de France en Corse (avril 1976), M. Mattauer a toutefois invoqué, avec des raisons très valables, une déformation crétacique importante dans la zone des Schistes lustrés de cette île (note ajoutée pendant l'impression).

1975). De la transversale de Genève jusqu'à celle de Gap, la courbure des unités tectoniques semble être originale; les zones de faciès des Chaînes Subalpines sont plus ou moins parallèles aux ensembles structuraux. A partir de Gap, les Alpes se recourbent brusquement vers la Méditerranée, alors que le sillon vocontien, prolongation du domaine ultrahelvétique⁶⁾ des Alpes Suisses, s'en détache vers l'W. Le décalage entre les massifs du Haut Dauphiné et de l'Argentera fait également penser à des coulissages sénestres, qui toutefois devraient être antérieurs aux charriages éo-oligocènes, puisque l'on ne voit guère de déchirures majeures post-nappes de direction E-W⁷⁾ (GOGUEL 1963; DEBELMAS 1972; LAUBSCHER 1971).

Dans l'hypothèse du décrochement sénestre entre la Provence et la Corse, on s'attendrait à trouver des accidents satellites en Provence. Nous ignorons si certaines structures provençales pourraient être interprétés de cette sorte; la faille des Cévennes, à laquelle on penserait tout d'abord, a une autre direction et semble être d'un âge plus récent. En principe, des plis E-W peuvent naître d'une extension E-W aussi bien que d'une compression S-N.

Une autre conséquence de cette hypothèse concerne le caractère de l'orogénèse crétacique dans les zones les plus internes (Piémontais-Ultrapennique) des Alpes Occidentales. Pour la première partie du Crétacé supérieur, on s'attendrait plutôt à des mouvements coulissants; il se pourrait que le dépôt du Flysch à Helminthoïdes et des autres flyschs analogues des Alpes Occidentales, des flyschs crétaciques des Alpes Méridionales et des Appennins soit un corollaire de ces déformations. Une collision oblique ne se serait produite qu'à la fin du Crétacé. Mais c'est là que nous nous heurtons à l'objection la plus grave contre l'hypothèse Pèlerin-Pyrénées: c'est le caractère de haute pression/basse température du métamorphisme paléo-alpin, apparemment sans relation avec le métamorphisme paléo-pyrénéen (voir DAL PIAZ et al. 1972; HUNZIKER 1974; FREY et al. 1974; BOCQUET et al. 1974). Puisque ce métamorphisme a produit des assemblages quartz-jadéite, qui exigent un ensevelissement ultra-rapide suivi d'une expulsion tout aussi dramatique, la plupart des auteurs modernes admettent une subduction classique, du type circum-pacifique (ERNST 1971, 1973). Il faut dire que ce modèle n'est pas exempt de contradictions internes (voir les remarques de COMES 1975). Mais il n'en reste pas moins que l'hypothèse de déplacements essentiellement coulissants au Crétacé supérieur est difficilement compatible avec le caractère du métamorphisme alpin du même âge, à moins que l'on veuille admettre l'existence de deux mouvements distincts. La nature de l'orogénèse (ou des orogénèses) crétacique dans les Alpes Occidentales est sans doute un des problèmes majeurs de la géologie alpine.

Nous avons dit que le tracé de l'accident pyrénéen pourrait coïncider, à l'W du Verbano, avec celui de la faille Insubrienne. Vers l'E, toutefois, il devrait passer nettement au N de la ligne du Tonale, dans les nappes austroalpines supérieures.

⁶⁾ Alors que les faciès ultrahelvétiques et vocontiens sont pratiquement identiques, pour ce qui concerne le Jurassique et le Crétacé inférieur, on ne trouve pas de témoins du faciès valaisan dans la zone vocontienne. LAUBSCHER (1975) relie le bassin vocontien à un domaine ultrahelvétique-valaisan, et il établit un lien possible entre les plateformes briançonnaise et provençale; mais il faut bien dire que l'évolution de ces deux plateformes est totalement différente (DEBELMAS 1972).

⁷⁾ Les coulissages dextres apparents entre les blocs Aiguilles Rouges-Montblanc et Gastern-Aar sont probablement plus récents, mais antérieurs aux charriages helvétiques du Miocène.

Nous n'osons pas émettre des hypothèses sur sa location, tout en soupçonnant que de tel coulissages pourraient faciliter l'interprétation de certaines anomalies de faciès des Alpes Orientales (FISCHER 1965). Nous pensons, en particulier, à la position des Alpes du Gailtal.

Le décalage le long de l'accident alpin hypothétique (100 à 200 km) est nettement inférieur à celui qui est envisagé pour l'accident nord-pyrénéen. On peut esquiver cette difficulté en imaginant que l'accident pyrénéen se scinde en plusieurs branches, dont l'une passait entre les Alpes Méridionales et les racines de la Simme, une autre par la faille des Giudicarie (qui était certainement active au Crétacé; voir CASTELLARIN 1972) et une troisième pourrait être responsable du décalage sénestre entre l'Apennin et les Alpes Méridionales (BOSELLINI 1973). Mais là, nous bâtissons des hypothèses à partir d'hypothèses. Un tracé du coulissage sénestre reliant l'accident de Sestri-Voltaggio à la faille des Giudicarie a déjà été proposé par ELTER & PERTUSATI (1973).

Si vraiment il fallait compter avec une plaque ibéro-italique cohérente au Crétacé supérieur, on s'attendrait à ce que les orogénèses bien datées des Alpes Orientales (OBERHAUSER 1968) correspondent à une collision oblique, avec poussée apparente dirigée vers le NE, ce qui fut déjà soupçonné par CLIFF et al. (1971). De toute façon, il semble bien que la fermeture des océans penniques se soit faite plus tôt dans les Alpes Orientales (et dans les Carpathes) que dans les Alpes Occidentales (voir DIETRICH, sous presse; HAWKESWORTH et al. 1975). Cette fermeture serait contemporaine du mouvement de l'Ibérie, donc de l'ouverture de l'Atlantique moyen. La véritable collision frontale ne se serait produite que dans les Carpathes centrales, où nous connaissons en effet un impressionnant édifice de nappes créta-ciques et où il y a également des andésites de cet âge. C'est d'ailleurs le manque d'andésites créta-ciques dans les Alpes Occidentales qui reste surprenant, si vraiment les mouvements paléo-alpins avaient un caractère de subduction profonde.

S'il y avait vraiment une connection entre l'accident nord-pyrénéen et le décalage alpin, cette liaison pourrait enfin nous fournir un indice pour estimer la largeur initiale des sillons eugéosynclinaux, de caractère para-océanique. Elle serait alors de quelques centaines de km, et non pas de près d'un millier de km ou davantage. De cette sorte, il est plus facile de concevoir l'Italie (Sicile excluse) en tant que micro-plaque ou comme partie d'une plaque complexe ibéro-italique, plutôt qu'en tant que simple promontoire de l'Afrique.

Quant aux reconstructions que nous avons tentées dans la figure 3, elles sont purement qualitatives et certainement aussi fausses que celles que d'autres géologues ont récemment dressées. Les rotations des blocs continentaux sont moindres que ne l'exigent les données paléomagnétiques. Nous avons essayé de tenir compte de la grande largeur initiale du domaine océanique ligure (BOCCALETTI et al. 1971) et de la dérive éocène à miocène des fragments des zones internes, entre l'Andalousie et le Calabre (ALVAREZ et al. 1974). Nous avons également admis la rotation de la Corse et de la Sardaigne; sur la foi des données paléomagnétiques, et parce qu'il est difficile d'assigner une place à ces microcontinents à l'intérieur (au SE) des chaînes bétiques, dont les zones les plus externes se prolongent dans les Baléares. Les arguments basés sur la correspondance des contours bathymétriques, par contre, ne semblent pas décisifs en Méditerranée, où d'autres mécanismes que les déplace-

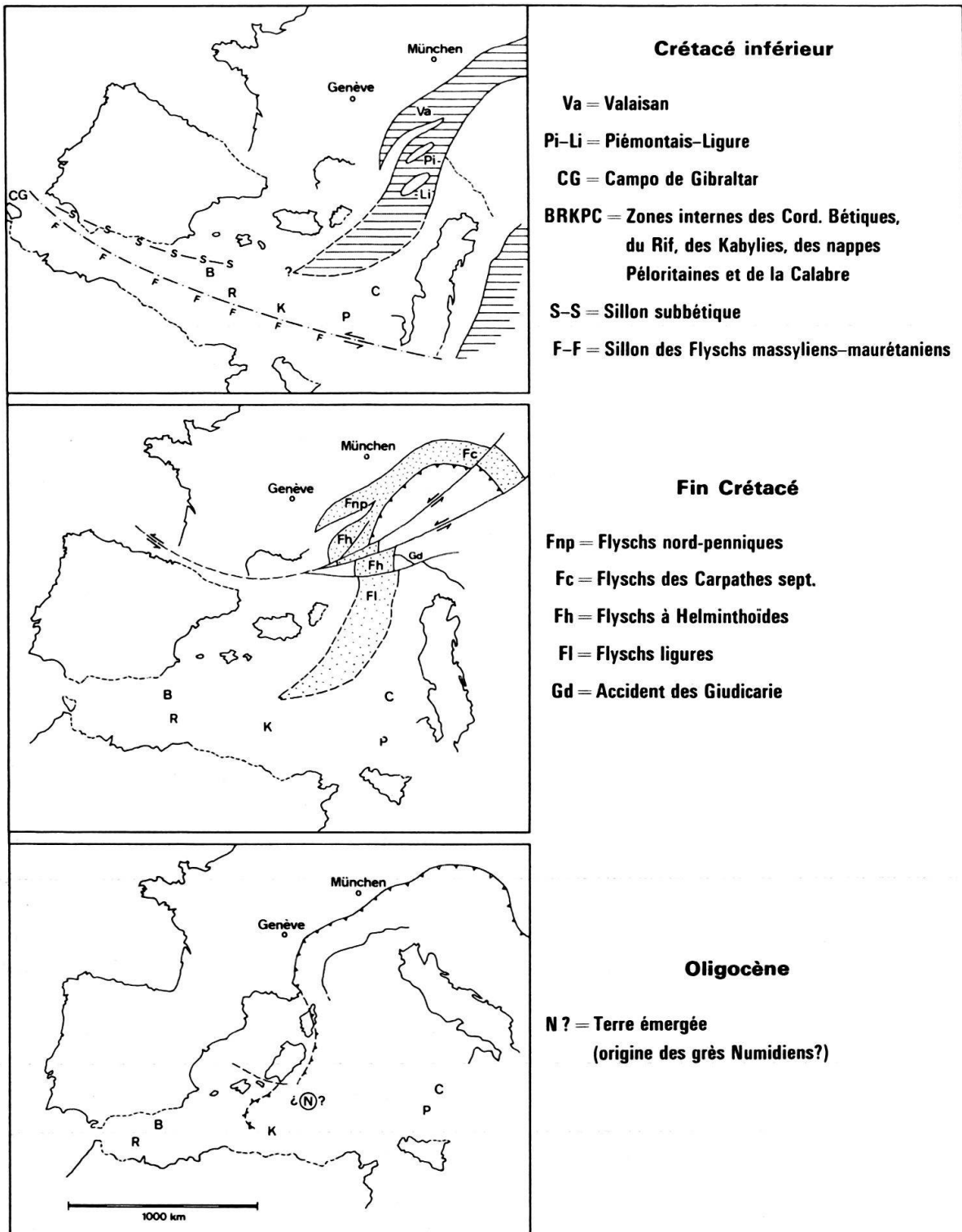


Fig. 3. Essai d'une hypothèse sur l'évolution paléogéographique de la Méditerranée occidentale.

ments horizontaux d'ensembles lithosphériques ou crustaux peuvent être invoqués pour la genèse des bassins para-océaniques (BUROLLET & BYRAMJEE 1974; LAUBSCHER 1975).

6. De la nécessité de rêver

«... et les Péninsules démarrées
n'ont pas subi tohu-bohus plus triomphants.»
(Le Bateau ivre)

Cette citation veut d'abord établir Arthur Rimbaud en tant que précurseur de la géotectonique méditerranéenne, et puis elle veut souligner le fait que les chapitres que nous venons de présenter tiennent autant de la fantaisie que de la science exacte. Ces raisonnements sont-ils futiles?

Derrière toutes ces hypothèses, il y a un fait: la mobilité des ensembles méditerranéens. Le télescopage des unités paléogéographiques dans les chaînes alpines est réel, et nous nous rendons compte que les estimations qui semblaient risquées il y a 15 ans étaient en fait trop prudentes. On ne peut pas comprendre la genèse des Alpes en gardant leurs môles en position relative fixe. Et le problème s'aggrave lorsque l'on considère les chaînes arquées des Alpes Occidentales, des Carpathes, de la Calabre ou des montagnes autour de la bizarre Mer d'Alborán.

Il faut donc que les continents, les microcontinents, les plaques aient bougé, dans les Alpes d'au moins 400 km, mais vraisemblablement de 600 km en sens transversal et d'un chiffre inconnu en sens longitudinal. Ceci n'est pas nouveau: les maîtres de la géologie alpine, en premier lieu ARGAND (1924), l'avaient clairement annoncé. La tectonique des plaques n'a pas apporté des modifications vraiment profondes dans l'interprétation du bâti méditerranéen même, sauf que des plaques et des microplaques ont pris la place des anciennes épaves crustales. Il faut d'ailleurs se demander si vraiment tous les éléments méditerranéens représentent des microplaques, et s'il n'y a pas d'importants décollements sous la croûte et à l'intérieur de celle-ci; mais c'est une autre question.

L'apport essentiel de la théorie des plaques fut, par contre, de permettre une corrélation entre l'histoire méditerranéenne et l'histoire atlantique, Si la fermeture tertiaire de la Téthys et le mouvement en ciseau des continents eurasiatique et africain avaient pu se déduire de la seule géologie des continents - ARGAND l'avait bien fait - il n'en est pas de même des grands mouvements transformants au N et au S de l'Ibérie, dont les traces sont plus délicates à suivre.

De nombreux essais de reconstructions de blocs méditerranéens ont été présentés durant ces dernières années (p. ex. HSÜ 1971, 1972; SMITH 1971; BOSELLINI & HSÜ 1973; LAUBSCHER 1975). Le travail le plus retentissant fut celui de DEWEY, PITMAN, RYAN & BONNIN (1973), qui ont tenté d'appliquer ce procédé à l'ensemble des chaînes méditerranéennes; ce qui a obligé ces auteurs d'aller parfois bien loin dans l'interprétation de portions de la chaîne dont ils étaient peu familiers. Aussitôt, un seul cri de protestation s'est élevé parmi les géologues fouillant le terrain entre le Rif et le Caucase. Mais c'était précisément le grand mérite de cet article provocant: il importe que tous les géologues s'efforcent de discuter le problème ouvertement, en apportant leurs connaissances spéciales. Ce ne sont pas seulement des questions

méditerranéennes qui sont en cause. En fin de compte, il s'agit de savoir si les chaînes mésogéennes peuvent être comprises comme simple sous-produit de l'ouverture Atlantique, si les mouvements, parfois si erratiques et si rapides, des petits ensembles lithosphériques ou crustaux sont uniquement régis par les mouvements différentiels des plaques Europe, Ibérie et Afrique, si le modèle classique de la tectonique des plaques, basé essentiellement sur la crête médio-Atlantique et sur les subductions circum-Pacifiques, peut être appliqué, tel quel, aux chaînes de la Mésogée ou si un autre mécanisme doit être invoqué.

C'est une tâche passionnante qui nous attend. Elle exigera des recherches détaillées sur de très nombreux points, dans les grands océans et dans les ravins les plus obscurs. Elle demandera surtout une discussion approfondie entre les géologues travaillant dans les différents secteurs des chaînes méditerranéennes, avec leurs collègues navigateurs et surtout avec les géophysiciens. Le rôle des hypothèses de travail n'est pas celui de fournir des solutions, mais avant tout de poser des questions. Le jeu des péninsules démarrées ne doit pas nous induire à prendre des hypothèses pour des faits établies. Mais, puisque nous savons pertinemment que les continents ont bougé, nous sommes obligés de jouer ce jeu: nous sommes obligés de rêver.⁸⁾

BIBLIOGRAPHIE

- AHRENDT, H. (1972): *Zur Stratigraphie, Petrographie und zum tektonischen Aufbau der Canavese-Zone und ihrer Lage zur Insubrischen Linie zwischen Biella und Cuornè (Norditalien)*. - Göttinger Arb. Geol. Paläont. 2.
- ALVAREZ, W., COCOZZA, T., & WEZEL, F.C. (1974): *Fragmentation of the Alpine Orogenic Belt by Microplate Dispersal*. - *Nature* 248/5446, 309-314.
- ARGAND, E. (1909): *Sur la racine de la nappe rhétique*. - *Mitt. schweiz. geol. Komm.* 1.
- (1924): *La tectonique de l'Asie*. - C.R. 13^e Congr. géol. int. 1922, 171-372.
- BADOUX, H. (1962): *Géologie des Préalpes valaisannes (Rive gauche du Rhône)*. - Matér. Carte géol. Suisse [n.s.] 113.
- (1969): *Réflexions et hypothèses à propos de la limite alpino-dinarique*. - *Eclogae geol. Helv.* 62/2, 543-545.
- BAGGIO, P. (1965a): *Geologia della Zona del Canavese nel settore occidentale Levone-Cuornè (Prealpi Piemontesi)*. - *Mem. Accad. Patavina Sci. Lett. Arti* 77, 41-72.
- (1965b): *Caratteri stratigrafici e strutturali del Canavese s.s. nella zone di Montalto Dora (Ivrea)*. - *Mem. Ist. Geol. Mineral. Univ. Padova* 25.
- BOCCALETTI, M., ELTER, P., & GUAZZONE, G. (1971): *Plate Tectonic Models for the Development of the Western Alps and Northern Apennines*. - *Nature phys. Sci.* 234/49, 108-111.
- BOCQUET, J., DELALOYE, M., HUNZIKER, J.C., & KRUMMENACHER, D. (1974): *K-Ar and Rb-Sr Dating of Blue Amphiboles, Micas, and Associated Minerals from the Western Alps*. - *Contr. Mineral. Petrol.* 47, 7-26.
- BOSELLINI, A. (1973): *Modello geodinamico e paleotettonico delle Alpi meridionali durante il Giurassico-Cretacico; sue possibili applicazioni agli Appennini*. - *Accad. naz. Lincei* 370/183, 163-205.
- BOSELLINI, A., & HSÜ, K.J. (1973): *Mediterranean Plate Tectonics and Triassic Palaeogeography*. - *Nature* 244, 144-146.
- BULLARD, E.C., EVERETT, J.E., & SMITH, A.G. (1965): *The Fit of the Continents around the Atlantic*. In: *A symposium on Continental Drift*. - *Phil. Trans. R. Soc. London (A)*, 258, 41-51.
- BUROLLET, P.-F., & BYRAMJEE, R.S. (1974): *Réflexions sur la tectonique globale: Exemples Africains et Méditerranéens*. - *Notes Mém. Cie. franç. Pétroles* 11, 71-120.

⁸⁾ Je remercie D. Bernoulli et J. Debelmas pour des critiques très utiles.

- CAREY, S. W. (1958): *A Tectonic Approach to Continental Drift*. In: *Symposium on Continental Drift 1956, Hobart*. - Geol. Dept. Univ. Tasmania, 177-349.
- CARRARO, F., & STURANI, C. (1972): *Segnalazione di Toarciano fossilifero in facies austroalpina («Fleckenmergel») nel lembo sedimentario di Sostegno (Biellese)*. - Boll. Soc. geol. ital. 91, 407-417.
- CASTELLARIN, A. (1972): *Evoluzione paleotettonica sinsedimentaria del limite tra «Piattaforma Veneta» e «Bacino Lombardo», a nord di Riva del Garda*. - G. Geol. (2). 38/1, 11-212.
- CHOUKROUNE, P. (1974): *Structure et évolution tectonique de la zone nordpyrénéenne: Analyse de la déformation dans une portion de chaîne à schistosité sub-verticale*. - Thèse Univ. Sci. Tech. Languedoc (Acad. Montpellier).
- CHOUKROUNE, P., LE PICHON, X., SEGURET, M., & SIBUET, J. C. (1973): *Bay of Biscay and Pyrenees*. - Earth and planet. Sci. Lett. 18, 109-118.
- CLIFF, R. A., NORRIS, R. J., OXBURGH, E. R., & WRIGHT, R. C. (1971): *Structural, Metamorphic and Geochronological Studies in the Reisseck and Southern Ankogel Groups, the Eastern Alps*. - Jb. geol. Bundesanst. (Wien) 114, 121-272.
- COMES, J. (1975): *Tectonique alpine de la zone Sesia en Val d'Aoste (Italie)*. - Thèse Univ. Sci. Tech. Languedoc (Acad. Montpellier).
- DAL PIAZ, G. V., HUNZIKER, J., & MARTINOTTI, G. (1972): *La zona Sesia-Lanzo e l'evoluzione tettonico-metamorfica delle Alpi nordoccidentali interne*. - Mem. Soc. geol. ital. 11, 433-460.
- DEBELMAS, J. (1972): *A propos de quelques hypothèses récentes sur la genèse de l'arc alpino-apenninique*. - Rev. Géogr. phys. Géol. dyn. 14/3, 229-244.
- (1975): *Réflexions et hypothèses sur la paléogéographie crétacée des confins alpino-apenniniques*. - Bull. Soc. géol. France (7), 17/6, 1002-1012.
- DEWEY, J. F., PITMAN, W. C., RYAN, W. B. F., & BONNIN, J. (1973): *Plate Tectonics and the Evolution of the Alpine System*. - Bull. geol. Soc. Amer. 84, 3137-3180.
- DIDON, J. (1969): *Etude géologique du Campo de Gibraltar (Espagne méridionale)*. - Thèse Univ. Paris.
- DIDON, J., DURAND-DELGA, M., & KORNPROBST, J. (1973): *Homologies géologiques entre les deux rives du détroit de Gibraltar*. - Bull. Soc. géol. France (7), 15/2, 77-104.
- DIETRICH, V. (1976): *Plattentektonik in den Ostalpen: Eine Arbeitshypothese*. - Geotekt. Forsch. 50.
- ELTER, G., ELTER, P., STURANI, C., & WEIDMANN, M. (1966): *Sur la prolongation du domaine ligure de l'Apennin dans le Monferrat et les Alpes et sur l'origine de la Nappe de la Simme s.l. des Préalpes romandes et chablaisiennes*. - Arch. Sci. Genève 19/3, 279-378.
- ELTER, P., & PERTUSATI, P. (1973): *Considerazioni sul limite Alpi-Appennino et sulle sue relazioni con l'arco delle Alpi Occidentali*. - Mem. Soc. geol. ital. 12, 359-375.
- ERNST, W. G. (1971): *Metamorphic Zonations on Presumably Subducted Lithospheric Plates from Japan, California and the Alps*. - Contr. Mineral. Petrol. 34, 43-59.
- (1973): *Interpretative Synthesis of Metamorphism in the Alps*. - Bull. geol. Soc. Amer. 6, 2053-2078.
- FINGER, W. (1975): *Jurassic Marine Breccias in the Lower Austroalpine Belt of Julier Pass (Graubünden, Switzerland)*. - IX^e Congr. int. Sédimentol., Nice, 119-124.
- FISCHER, A. G. (1965): *Eine Lateralverschiebung in den Salzburger Kalkalpen*. - Verh. geol. Bundesanst. (Wien) 1/2, 20-33.
- FREY, M., HUNZIKER, J. C., FRANK, W., et al. (1974): *Alpine Metamorphism of the Alps: A Review*. - Schweiz. mineral. petrogr. Mitt. 54/2-3, 247-290.
- GOGUEL, J. (1963): *Les problèmes des chaînes subalpines*. - Livre Fallot 2, 301-308 (Soc. géol. France).
- HALDIMANN, P. A. (1975): *Arosa- und Madrisa-Zone im Gebiet zwischen Klosters und dem Gafiental (Graubünden)*. - Eclogae geol. Helv. 68/2, 301-310.
- HANTKE, R., & TRÜMPY, R. (1965): *Bericht über die Exkursion A der Schweizerischen Geologischen Gesellschaft in die Schwyzer Alpen*. - Eclogae geol. Helv. 57/2, 609-618.
- HAWKESWORTH, C. H., WATERS, D. J., & BICKLE, M. J. (1975): *Plate Tectonics in the Eastern Alps*. - Earth and planet. Sci. Lett. 24, 405-413.
- HSÜ, K. J. (1971): *Origin of the Alps and Western Mediterranean*. - Nature 233/5314, 44-48.
- (1972): *The Odyssey of Geosyncline*. In: *Evolving Concepts of Sedimentology* (p. 66-92). - Hopkins Univ. Press.
- HUNZIKER, J. C. (1974): *Rb-Sr and K-Ar Age Determination and the Alpine Tectonic History of the Western Alps*. - Mem. Ist. Geol. Mineral. Univ. Padova 31.
- KÄLIN, O., & TRÜMPY, D. M. (1976): *Sedimentation und Paläotektonik in den westlichen Südalpen: Zur triadisch-jurassischen Geschichte des Monte Nudo-Beckens*. - Eclogae geol. Helv. 69/3 (sous presse).

- KLOOTWIJK, C. T., & VAN DEN BERG, J. (1975): *The Rotation of Italy: Preliminary Palaeomagnetic Data from the Umbrian Sequence, Northern Apennines*. – Earth and planet. Sci. Lett. 25, 263–273.
- LAUBSCHER, H. P. (1971): *The large-scale Kinematics of the Western Alps and the Northern Apennines and its palinspastic Implications*. – Amer. J. Sci. 271, 193–226.
- (1975): *Plate Boundaries and Microplates in Alpine History*. – Amer. J. Sci. 275, 865–876.
- LE PICHON, X., BONNIN, J., FRANCHETEAU, J., & SIBUET, J.-C. (1971): *Une hypothèse d'évolution tectonique du Golfe de Gascogne*. In: *Histoire Structurale du Golfe de Gascogne* (tome 2). – Publ. Inst. franç. Pétrole 22/VI.11, 1–44 (éd. Technip, Paris).
- LE PICHON, X., BONNIN, J., & SIBUET, J. C. (1970): *La faille nord-pyrénéenne: faille transformante liée à l'ouverture du Golfe de Gascogne*. – C. R. hebdom. Acad. Sci. Paris 271, 1941–1944.
- LOWRIE, W., & ALVAREZ, W. (1974): *Rotation of the Italian Peninsula*. – Nature 251, 285.
- (1975): *Paleomagnetic Evidence for Rotation of the Italian Peninsula*. – J. geophys. Res. 80/11, 1579–1592.
- MATTAUER, M., & HENRY, J. (1974): *Pyrenees*. In A. M. SPENCER (ed.): *Mesozoic–Cenozoic Orogenic Belts* (p. 3–21). – Scott. Acad. Press (Edinburgh) & Geol. Soc. London.
- NICOLAS, A. (1968): *Relations structurales entre le massif ultrabasique de Lanzo, ses satellites et la zone de Sesia–Lanzo*. – Schweiz. mineral. petrogr. Mitt. 48/1, 145–156.
- (1974): *Mise en place des péridotites de Lanzo (Alpes piémontaises). Relation avec tectonique et métamorphisme alpins. Conséquences géodynamiques*. – Schweiz. mineral. petrogr. Mitt. 54, 449–460.
- OBERHAUSER, R. (1968): *Beiträge zur Kenntnis der Tektonik und der Paläogeographie während der Oberkreide und dem Paläogen im Ostalpenraum*. – Jb. geol. Bundesanst. Wien 111, 115–145.
- PEYBERNÈS, B., & SOUQUET, P. (1975): *La chaîne des Pyrénées ne résulte pas d'un coulissage le long d'une «Faille nord-pyrénéenne»*. – Bull. Soc. Hist. nat. Toulouse 111/1–2, 204–210.
- PITMAN, W. C. III, & TALWANI, M. (1972): *Sea-Floor Spreading in the North Atlantic*. – Bull. geol. Soc. Amer. 83, 619–643.
- RICHTER, D. (1957): *Beiträge zur Geologie der Arosa-Zone zwischen Mittelbünden und dem Allgäu*. – N. Jb. Geol. Paläont. [Abh.] 105/3, 285–372.
- SCHLANKE, S. (1974): *Geologie der Subalpinen Molasse zwischen Biberbrugg SZ, Hütten ZH und Ägerisee ZG, Schweiz*. – Eclogae geol. Helv. 67/2, 243–331.
- SCHWARTZ CHENEVART, CH. (1945): *Les nappes des Préalpes médianes et de la Simme dans la région de la Hochmatt (Préalpes fribourgeoises)*. – Thèse Univ. Fribourg.
- SIBUET, J.-C., PAUTOT, G., & LE PICHON, X. (1971): *Interprétation structurale du Golfe de Gascogne à partir des profils de sismique*. In: *Histoire Structurale du Golfe de Gascogne* (tome 2). – Publ. Inst. franç. Pétrole 22/VI.10, 1–31 (éd. Technip, Paris).
- SITTER, L. U. DE (1947): *Antithesis Alps–Dinarides*. – Geol. en Mijnb. 9/1, 1–13.
- SMITH, A. G. (1971): *Alpine Deformation and the Oceanic Areas of the Tethys, Mediterranean and Atlantic*. – Bull. geol. Soc. Amer. 82, 2039–2070.
- SPECK, J. (1953): *Geröllstudien in der subalpinen Molasse am Zugersee und Versuch einer paläogeographischen Auswertung*. – Thèse Univ. Zurich.
- STAUB, R. (1924): *Der Bau der Alpen*. – Beitr. geol. Karte Schweiz [N.F.] 52.
- (1937): *Gedanken zum Bau der Westalpen zwischen Bernina und Mittelmeer* (I. Teil). – Vjschr. natf. Ges. Zürich 82.
- STURANI, C. (1973): *Considerazioni sui rapporti tra Appennino Settentrionale ed Alpi Occidentali*. In: *«Moderne vedute sulla geologia dell'Appennino»* (p. 119–145). – Accad. naz. Lincei 370/183.
- TRÜMPY, R. (1975): *Penninic–Austroalpine Boundary in the Swiss Alps: A Presumed Former Continental Margin and its Problems*. – Amer. J. Sci. 275-A, 209–238.
- TRÜMPY, R., & BERSIER, A. (1954): *Les éléments des conglomérats oligocènes du Mont-Pèlerin*. – Eclogae geol. Helv. 47/1, 120–164.
- TRÜMPY, R., & HACCARD, D. (1969): *Réunion extraordinaire de la Société Géologique de France: Les Grisons, 14–21 Septembre 1969*. – C. R. Soc. géol. France 1969/9, 330–369.
- VOO, R. VAN DER (1969): *Paleomagnetic evidence for the rotation of the Iberian peninsula*. – Tectonophysics 7/1, 5–56.
- WEIDMANN, M. (1974): *Quelques données nouvelles sur la série du Mont-Dolin (nappe de la Dent-Blanche, Valais)*. – Eclogae geol. Helv. 67/3, 597–603.
- WEISSERT, H. (1975): *Zur Geologie der Casanna bei Klosters*. – Eclogae geol. Helv. 68/1, 222–229.