

Les massifs externes alpins et leurs séries métamorphiques : problèmes de raccords stratigraphiques et géochronométriques

Autor(en): **Krummenacher, Daniel / Bordet, Pierre / Le Fort, Patrick**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen
= Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie**

Band (Jahr): **45 (1965)**

Heft 2

PDF erstellt am: **21.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-35211>

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.

Les massifs externes alpins et leurs séries métamorphiques

Problèmes de raccords stratigraphiques et géochronométriques

Par *Daniel Krummenacher* (Genève)*, *Pierre Bordet* (Paris)**
et *Patrick Le Fort* (Nancy)***)

Avec 2 figures dans le texte

Résumé

Les auteurs présentent l'hypothèse suivante: les massifs externes sont constitués d'unités qui se poursuivent de massif en massif. Deux séries bien différenciées (la série à pinite et la série à conglomérats métamorphiques) notamment se retrouvent sur de très grandes distances et représentent des horizons-repères précieux. La stratigraphie, la pétrographie, les relations structurales et les âges isotopiques de ces séries sont discutés. Les auteurs tentent également un rapprochement avec certaines séries cristallophylliennes du Massif Central et du Pennique.

Abstract

The authors present the following hypothesis: The External Massifs of the Alps are formed by units which can be followed from massif to massif. Namely, two very well differentiated series (a serie with pinite and another one with metamorphosed conglomerates) can be detected over a very long distance. The stratigraphy, the petrology, the field relationships and the isotopic ages of these series are discussed.

The authors tentatively compare these series to those of the French Massif Central and the Penninic Alps.

*) Institut de Minéralogie, Genève.

**) Institut Catholique, Paris.

***) Ecole des Mines de Nancy.

INTRODUCTION

Le présent travail est une tentative pour relier entre eux quelques faits concernant la structure des massifs externes des Alpes françaises et suisses et pour établir des corrélations entre les séries qui les constituent.

Nous ne nous arrêterons pas aux détails, qui mériteraient à eux seuls une étude systématique; nous tenterons une synthèse qui restera forcément schématique, mais montrera dans quel sens s'orientent nos recherches.

Nous allons tout d'abord énumérer brièvement quelles sont les unités reconnues dans chaque massif.

1. Le massif de l'Aar

Les auteurs qui ont étudié ce massif y ont décrit les éléments suivants, du NW au SE:

1. Une zone granitique à granodioritique, riche en enclaves et cordiérite pinitisée: granites de Lauterbrunnen et d'Innertkirchen.
2. Des granites, affleurant au NW du massif: granites de Gastern et du Tödi.
3. La zone des gneiss d'Erstfeld.
4. Des schistes cristallins, des amphibolites, et des gneiss parfois migmatisés, au N et au S du granite de l'Aar: les paragneiss du Lötschental en sont la partie la moins métamorphique.
5. Le granite central de l'Aar, avec ses différents types: Mittagfluhgranit, Grimselgranit, Puntaigliasgranit . . .
6. Au S du granite de l'Aar, à nouveau des schistes cristallins comme 4.

Selon HÜGI (1956), NEIDINGER (1948), TRUNINGER (1911) et HUTTENLOCHER (1947), les granites de Lauterbrunnen et d'Innertkirchen seraient à rattacher aux granites de Gastern et du Tödi. Les premiers se seraient formés à plus grande profondeur, avec une homogénéisation moindre et ce fait expliquerait leur composition chimique variée, leur richesse en enclaves et en cordiérite. Ces deux types de granite seraient approximativement contemporains et dériveraient d'une série plus ancienne: les gneiss d'Erstfeld.

SIGRIST (1947) pense que les gneiss d'Erstfeld seraient plus récents que les termes moins métamorphiques du type gneiss séricitique qui les surmontent (suite des paragneiss du Lötschental?) car les premiers métamorphisent et injectent les seconds.

Notons enfin la disposition synclinale des paragneiss du Lötschental dans les gneiss encaissants, signalée par SWIDERSKI (1919).

2. Massif des Aiguilles-Rouges et du Mont-Blanc

Les auteurs de la première moitié du siècle et récemment COLLET, OULIANOFF et REINHARD (1952) et KRUMMENACHER (1959) ont décrit avec beaucoup de détail

trois types de roches dans les Aiguilles Rouges et le Mont-Blanc: les schistes cristallins, les granites de Vallorcine et du Mont-Blanc et les migmatites et granodiorites à pinite de la région de Fully.

1. *Les schistes cristallins* (série des Aiguilles Rouges de KRUMMENACHER) étaient primitivement une série pélitique riche en sédiments argileux, argilo-marneux et détritiques, contenant quelques passées marno-calcaires, peut-être quelques coulées volcaniques basiques. Cette série a été ultérieurement métamorphosée en schistes et gneiss plus ou moins migmatitiques, à faciès amphibolite.

2. *Les migmatites et granodiorites à pinite* (série de Fully de KRUMMENACHER, 1959), affleurent seulement sur la rive droite du Rhône, entre Branson et Mazeimbro. Elles constituent un ensemble montrant tous les stades du développement d'une migmatisation „fondamentale“¹⁾ aboutissant à la formation d'une granodiorite à pinite et biotite. Les principales caractéristiques de cette série sont: la présence de cordiérite pinitisée et une grande richesse en enclaves et lentilles de composition soit plus basique, soit plus acide que la roche encaissante. Le faciès minéralogique est à la limite des faciès amphibolite et faciès granulite.

3. *Les granites de Vallorcine et du Mont-Blanc*. Ces deux granites sont intrusifs dans la série des Aiguilles Rouges.

L'un de nous (D. K., 1959), a pensé tout d'abord que la formation des roches des massifs des Aiguilles Rouges et du Mont-Blanc s'était faite dans l'ordre suivant:

- a) Série des Aiguilles Rouges.
- b) Série de Fully, à partir de la série précédente.
- c) Intrusion des granites du Mont-Blanc et de Vallorcine.

Il estimait le faciès minéralogique de la série de Fully plus „profond“ que celui de la série des Aiguilles Rouges, mais ne donnait pas de précision sur les relations stratigraphiques entre ces deux séries. Récemment (voir BUCHS et al., 1962), s'appuyant sur de nouvelles mesures géochronométriques, il a émis l'hypothèse que la série de Fully pourrait être la plus ancienne: nous discuterons plus loin ce problème.

La tectonique des Aiguilles Rouges a donné lieu à plusieurs études: COLLIEZ (1893) a signalé la présence de „4 anticlinaux de micaschistes et 3 synclinaux de cornes vertes dans la chaîne calédonienne des Aiguilles Rouges“, entre Martigny et Evionnaz. LUGEON et JÉRÉMINE (1913) ont avancé l'hypothèse que les calcaires métamorphiques de la rive droite du Rhône appartenaient primitivement à une même couche dont on retrouverait les restes plissés (sous forme de synclinaux) dans les Aiguilles Rouges, „ce qui limiterait 5 anticlinaux et 4 synclinaux dans le tronçon de cette vieille chaîne“.

Nous ne pensons pas que, sur des bases aussi fragiles, on puisse reconstituer la tectonique d'un massif cristallin; mais la présence d'anticlinaux et de synclinaux dans la masse isoclinale des massifs du Mont-Blanc et des Aiguilles Rouges est maintenant admise.

Se basant sur leur connaissance du massif de Belledonne, C. et P. BORDET (1960—1963) ont essayé d'extrapoler dans les massifs des Aiguilles Rouges et du Mont-Blanc la structure et la stratigraphie connues plus au S: on y retrouverait,

1) Au sens où l'entendent ROQUES et JUNG.

d'W en E, quatre anticlinaux successifs, dont le cœur serait occupé respectivement par le granite de Pormenaz, le granite de Vallorcine, la série de Fully et le granite du Mont-Blanc.

Enfin, BELLIERE (1958) a donné, à la suite d'études microtectoniques, un schéma structural de la partie SW des Aiguilles Rouges: si on le compare (p. M 128) à celui proposé par P. et C. BORDET (1960—1963) (p. 310—311), on voit que les auteurs, quoique partis de bases différentes, sont d'accord.

3. Massif de Belledonne

Selon C. BORDET (1960) et P. et C. BORDET (1960—1962), on rencontrerait, de haut en bas, les séries suivantes:

1. *Série satinée*. C'est une série de phyllades passant à des micaschistes à muscovite, grenat et tourmaline. Elle comporte localement des passées quartziteuses ou graphiteuses. On y rencontre aussi des roches volcaniques et des bancs de cipolins. Parfois elle comporte un conglomérat de base d'importance variable. Son épaisseur totale serait de 5000 m et plus.

2. *Série verte*. Elle peut être généralement divisée en deux niveaux:

a) Schistes verts supérieurs: chloritoschistes, ovardites, prasinites, dont la nature originellement volcanique ne paraît pas douteuse. On y rencontre également interstratifiés des schistes noirs graphiteux, des bancs de quartzites ou de conglomérats. Epaisseur totale: 1000 m environ.

b) Les amphibolites constituent une série épaisse de 300 à 500 m, rarement 1000 m et plus. Elles forment la base de la série précédente dont elles se distinguent par le faciès et la composition chimique: c'est une série volcanique qui contient localement (région de Belledonne S) 2 à 3000 m de formations ophiolitiques où alternent des termes acides (kératophyres) et des termes ultrabasiques (gabbros et serpentines).

3. *Série brune*. Les micaschistes de base ressemblent à ceux de la série satinée, mais ils s'en distinguent: par la présence de lits amphiboliques irrégulièrement répartis dans la masse; par leur position stratigraphique: ils sont situés sous les amphibolites; par un métamorphisme plus poussé (staurotide et disthène). L'épaisseur de cette série est inconnue, elle dépasse certainement 1000 m.

Ces séries sont granitisées ou migmatisées en diverses régions: ces phénomènes n'intéressent pas toujours de grandes surfaces et leur développement est progressif. La présence des migmatites peut être indépendante de celle du granite.

Au point de vue tectonique, le massif de Belledonne présente des plissements isoclinaux d'âge antéhouiller — ainsi que le montrent des témoins de Carbonifère reposant sur les plus hauts sommets — qui, par leur complexité, évoquent le style relativement souple d'une couverture décollée de son substratum. Les granites, intrusifs ou non, occupent les axes des anticlinaux. Ils ne sont pas nécessairement enracinés.

Dans sa partie N, les directions tectoniques du massif s'incurvent vers l'W et rejoignent celles de la partie S des Aiguilles Rouges (Pormenaz), incurvées en sens inverse. Dans son ensemble, le massif des Aiguilles Rouges est donc plus interne que celui de Belledonne.

4. Le massif du Pelvoux

La connaissance de ce massif est encore élémentaire. Elle est exprimée par la carte au 1/80 000^e (P. TERMIER, 1898) et le travail de P. BELLAIR (1948). Ce dernier auteur s'est surtout attaché à l'étude des granites.

5. Le massif d'Argentera-Mercantour

Dans son mémoire consacré à la partie française de ce massif, FAURE-MURET (1955) décrit deux grandes unités cristallophylliennes: la partie occidentale (complexe cristallin de la Tinée) est constituée de gneiss souvent assez fins à biotite, à graphite, avec ou sans sillimanite, contenant des quartzites, des amphibolites, des calcaires métamorphiques; cette série, en grande partie migmatisée, peut aboutir à une diorite quartzique migmatitique à biotite ou à une grande série d'embranchites œillées. La partie orientale (complexe Malinvern-Argentera et Chatillon-Valmasque) est séparée de la partie occidentale par une importante zone d'écrasement. Elle est formée de gneiss monotones à biotite, avec un peu d'amphibole, de sillimanite et de rares niveaux calcaires. Elle passe à des anatexites embréchitiques, puis nébulitiques, à pinité et biotite. Elle contient des enclaves de taille divers dans lesquelles on rencontre des faciès micacés, amphiboliques, calcaires, et des roches éruptives basiques. Cette unité contient également des granites aplitiques, à muscovite, concordants ou non, et un granite d'anatexie riche en enclaves. Le granite d'Argentera y forme un batholite.

Dans ce massif se retrouveraient deux cycles orogéniques: l'un hercynien probablement (phase sudète?), aurait constitué l'unité occidentale du massif (complexe cristallin de la Tinée), tandis que l'autre, soit calédonien, soit précambrien, aurait abouti à la formation de la partie orientale du massif. FAURE-MURET penche pour la deuxième solution, car, en Europe, la phase orogénique calédonienne est en général peu marquée. Les preuves avancées par l'auteur sont d'ordre tectonique (les deux unités ont des directions divergentes) et pétrographiques (une unité montre une histoire unique, l'autre une histoire complexe).

RACCORDS ENTRE LES DIFFÉRENTES UNITÉS DES MASSIFS EXTERNES

Quelques travaux ont déjà été entrepris dans ce domaine. Citons, pour les massifs de Belledonne, des Aiguilles-Rouges et du Mont-Blanc, les travaux de C. BORDET (1961) et de P. et C. BORDET (1960—1963). Ces auteurs donnent un premier schéma de raccord entre ces trois massifs: l'architecture, la pétrographie et la stratigraphie de Belledonne (plis isoclinaux plus ou moins amples formés par les trois séries — séries satinée, verte et brune — granites occupant l'axe des anticlinaux) se retrouveraient également dans les massifs du Mont-Blanc et des Aiguilles-Rouges.

Pour les autres massifs, plusieurs auteurs ont présenté des schémas

de raccords (un résumé de ces travaux se trouve dans KRUMMENACHER, 1959). La série de Fully (massif des Aiguilles-Rouges), ainsi que la série des Aiguilles-Rouges, se poursuivraient dans le massif de l'Aar par les granites de Lauterbrunnen et d'Innertkirchen, ainsi que par les gneiss d'Erstfeld et les paragneiss du Lötschental, le granite du Mont-Blanc étant l'homologue du granite central de l'Aar.

Hypothèse de travail

Quelques faits nouveaux ont été découverts depuis lors. Ceux-ci nous permettent d'avancer l'hypothèse de travail suivante :

La bordure W du Pelvoux, les massifs de Belledonne, des Aiguilles-Rouges et du Mont-Blanc, ainsi que le massif de l'Aar, sont constitués d'unités analogues qui se relayent de massif en massif.

Nous allons étudier plus spécialement deux séries bien caractérisées : la série à pinite²⁾ et les conglomérats métamorphiques, qui se retrouvent d'un bout à l'autre de ces massifs.

Nous déduirons que les séries cristallines définies dans Belledonne (séries satinée, verte et brune) existent dans tous ces massifs ; en outre, on peut assimiler la série des Aiguilles-Rouges aux gneiss d'Erstfeld et à une partie des gneiss du Pelvoux.

Le croquis (fig. 1) situe la position approximative de la série à pinite et celle des conglomérats métamorphiques dans les massifs externes.

1. Série à pinite

On sait déjà (KRUMMENACHER, 1959) que la série de granodiorites souvent migmatiques, à pinite et enclaves, dite série de Fully, affleure dans la terminaison E du massif des Aiguilles-Rouges et se poursuit vers l'E dans le massif de l'Aar par les granites de Lauterbrunnen et d'Innertkirchen. *Nous avons récemment retrouvé cette même série dans l'W du massif du Pelvoux* (série de Rif du Sap de P. Le Fort). Elle y dessine une bande d'environ 1 km de large, qui recoupe le Valgaudemar au hameau de Rif du Sap. Des blocs isolés en ont été retrouvés dans le Val Jouffray, la Vallée de la Romanche et celle du Haut-Drac.

Le massif des Aiguilles-Rouges étant plus interne que celui de Belledonne, il n'est pas surprenant que sa prolongation se trouve dans la partie W du Pelvoux et qu'on y retrouve aussi l'homologue de la série de Fully.

²⁾ Voir ci-dessous la question de la nomenclature.

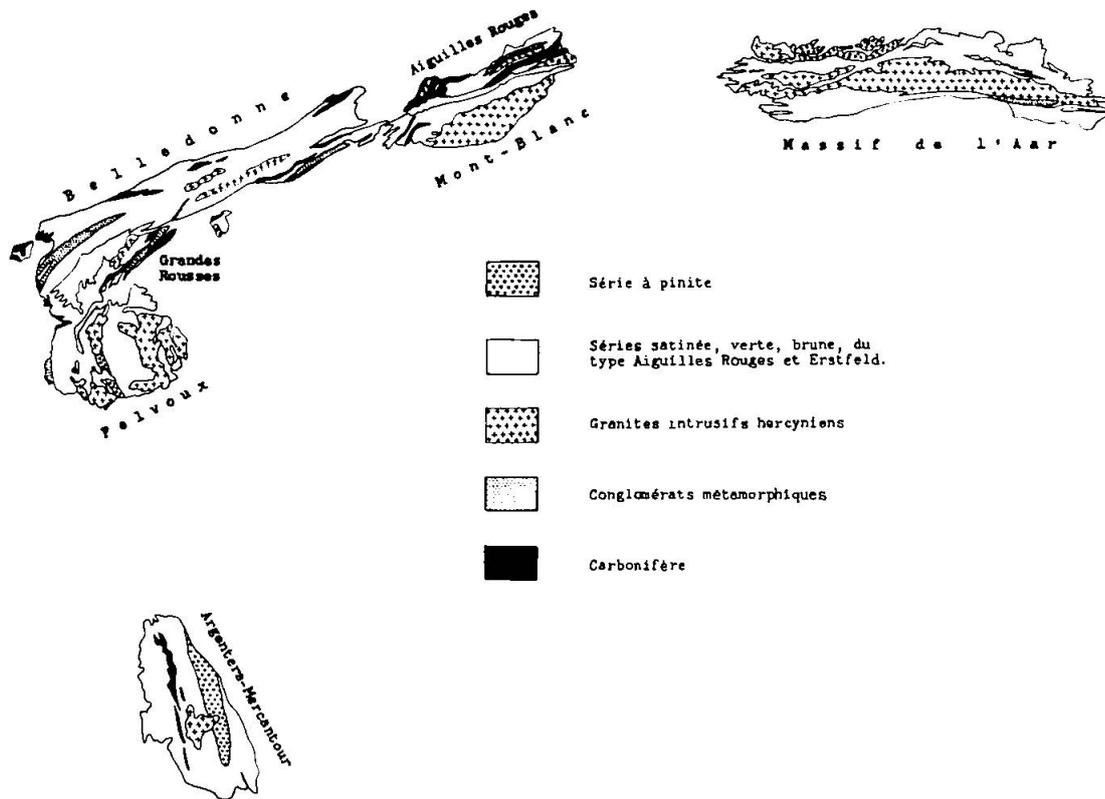


Fig. 1.

Nomenclature

Nous proposons en conséquence de désigner sous le nom unique de *série à pinite* les trois séries de Lauterbrunnen-Innertkirchen, de Fully, enfin de Rif du Sap.

Faciès minéralogique

La série à pinite est riche en cordiérite pinitisée (voir les photographies 4, 5, 11 et 15 du travail de KRUMMENACHER, 1959, et 9, 10, 11 de celui de HÜGLI, 1956). L'association biotite-cordiérite qui la caractérise est fréquente dans les roches à faciès granulite. ESKOLA (1952) décrit des granulites dans lesquelles alternent des zones riches en biotite et cordiérite; TURNER et VERHOOGEN (1960) proposent du reste d'en faire un sub-faciès du faciès „granulite“.

Aus endroits où la série à pinite passe latéralement aux roches encaissantes, on observe des zones, parallèles ou non à la foliation, qui s'enrichissent en cordiérite et en matériel leucocrate: on a l'impression, à l'échelle de l'affleurement, de se trouver à la limite entre deux faciès, l'un à biotite, l'autre à biotite-cordiérite. L'hypothèse selon laquelle

l'apparition de la cordiérite serait uniquement due à des causes chimiques (richesse en Al_2O_3) nous paraît moins plausible. Il est cependant évident qu'en moyenne, la série à pinite présente la composition chimique des sédiments argileux (voir par exemple les analyses dans HÜGL, 1956, et KRUMMENACHER, 1959).

Âges absolus de la série à pinite et des formations encaissantes³⁾

On connaît actuellement 4 âges Pb total de la série à pinite:

Migmatite de la série de Fully	770 Ma.
Granodiorite de la série de Fully	736 Ma.
Granodiorite de la série de Rif du Sap	630 Ma.
Granite d'Innertkirchen	557 Ma.

Les séries encaissantes ont donné (âges Pb total):

Gneiss d'Erstfeld (col du Susten)	443 Ma.
Gneiss des Aiguilles Rouges	410 Ma.

Les gneiss et granites des massifs de Belledonne-Aiguilles-Rouges et Pelvoux ont donné (âges Pb total):

Granite de St. Colomban (Belledonne)	525 Ma.
Idem	423 Ma.
Gneiss œillé du Rocheray	317 Ma.
„Syénite“ de Lauvitel (W Pelvoux)	308 Ma.
Granite du Pelvoux	296 Ma.
Syénite de Lauvitel	271 Ma.
Granite de Combeynot	210 Ma.
Gneiss migmatitique de Combeynot	421 Ma.

Sous réserve d'un complément d'information, ce tableau appelle les remarques suivantes:

- La série à pinite présente des âges plus anciens que toutes les autres formations (Précambrien récent).
- Les âges des séries encaissantes et ceux du granite de St-Colomban sont voisins et sensiblement plus récents (Primaire inférieur).
- L'ensemble des formations du Pelvoux occidental et central est encore plus jeunes (âge hercynien).
- Le massif du Combeynot donne l'âge le plus récent: il résulte sans doute d'un rajeunissement alpin.

³⁾ CHESSEX et al. (1964); BUCHS et al. (1962). L'âge de la granodiorite de la série de Rif du Sap, déterminé à l'Institut de Minéralogie de l'Université de Genève, n'a pas encore été publié.

(Dans cette chronologie, il n'est pas tenu compte des imprécisions introduites par la présence de Pb commun dans les zircons, de zircons relictiques dans les roches datées, et de lessivage ou adjonction éventuels de Th, d'U et de Pb.)

De plus, on a l'impression que les âges sont répartis suivant des zones parallèles à l'allongement des structures, la série à pinite étant encadrée par des séries plus jeunes qu'elle. Ceci n'est pas en accord avec l'existence de passages graduels observés entre elles (voir paragraphe suivant), mais nous proposons l'explication suivante: la série à pinite se serait formée par ultra-métamorphisme des séries encaissantes. Cet événement se placerait entre 280 et 350 Ma. environ: en effet, tous les âges isotopiques K/A et Rb/Sr, dans les massifs externes, oscillent autour de ces valeurs, lorsque la roche mesurée n'a pas été modifiée par un métamorphisme ou une tectonisation alpins. La série à pinite, avec sa migmatisation fondamentale souvent très avancée, l'atténuation de ses structures géométriques, appartiendrait à l'infrastructure et les séries encaissantes à la superstructure (WEGMAN, 1930, 1935 a et b). Souvent, au „toit“ de l'infrastructure se situe une zone très écrasée à mouvements du type de ceux rencontrés au sommet des diapirs: ce fait expliquerait l'abondance des enclaves formées à ce niveau particulier. En outre, le toit de l'infrastructure, repris dans des mouvements de surrection tardifs, aurait pu monter mécaniquement à l'intérieur de la superstructure dans la position anormale où nous le trouvons aujourd'hui. Les âges „Pb total“ de la série à pinite posent la question de l'origine du matériel qui la constitue. A cette question, on peut répondre de deux manières:

a) La série à pinite représenterait une zone primitivement argileuse (excès l' Al_2O_3 donnant la cordiérite) faisant partie du même cycle de sédimentation que celui des roches encaissantes, quoique stratigraphiquement inférieure (les associations minérales du faciès granulite se forment généralement à plus grande profondeur que celles du faciès amphibolite). Cette série sédimentaire inférieure aurait contenu des grains de zircon dérivant de roches plus anciennes que ceux des séries supérieures. L'origine des différences d'âge „Pb total“ serait donc due uniquement à des différences d'origine du matériel détritique dans la série sédimentaire originelle, donc finalement au hasard.

b) La série à pinite était primitivement un ancien socle précambrien, ultérieurement mobilisé et repris dans l'infrastructure de l'orogénèse hercynienne. Les relations géométriques et pétrographiques entre socle et couverture auraient été partiellement effacées, mais les zircons de la série à pinite porteraient encore la trace de ce cycle précédent.

KRUMMENACHER (1959) signale en effet des divergences de direction entre la série de Fully et celle des Aiguilles-Rouges, qui pourraient être interprétées comme la preuve de l'existence de structures résiduelles dans la série de Fully.

Nous pensons que la deuxième hypothèse est la plus probable. Mais une question subsiste: la série à pinite avait-elle déjà au précambrien l'aspect et le faciès qu'elle a actuellement ou les a-t-elle acquis lors de l'orogénèse hercynienne? La seule indication, permettant actuellement de répondre à cette question, est la suivante: les conglomérats métamorphiques qui forment souvent la limite entre la série satinée et la série verte, ne contiennent pas de blocs du type ordinaire de la série à pinite. Cependant, un bloc formé de monzonite gneissique du conglomérat du Vieux Chaillol a été daté: son âge „Pb total“ est de 633 Ma. (CHESSEX et al., 1964). Ce résultat, encore isolé, montre que les éléments de ce conglomérat pourraient appartenir au cycle de la série à pinite. Représentent-ils son aspect originel ou seulement la partie superficielle de celle-ci, en cours de destruction par l'érosion au moment de la formation des conglomérats? Il est pour l'instant impossible de répondre.

Passages latéraux entre série à pinite et roches encaissantes

La série de Fully passe graduellement sur son flanc W à la série des Aiguilles-Rouges; une zone fortement écrasée sépare pourtant ces deux unités (KRUMMENACHER, 1959). La série de Rif-du-Sap passe progressivement sur son flanc E aux roches encaissantes. Enfin, les granites de Lauterbrunnen et d'Innertkirchen sont limités par des accidents tectoniques, mais HUTTENLOCHER (1947) pense que ces granites se sont formés au dépens des gneiss d'Erstfeld.

Quelle est la série qui encadre la série à pinite, lorsqu'il y a passage graduel de l'une à l'autre? Les roches sont plus métamorphiques que celles de la série verte (et, partant, de la série satinée) et contiennent souvent des migmatites stratoïdes. Elles forment en gros les gneiss d'Erstfeld dans le massif de l'Aar, la partie E du massif des Aiguilles-Rouges (entre autres, l'Arpille), le flanc E de la série de Rif du Sap (W Pelvoux). Le métamorphisme de ces roches annonce, en quelque sorte, celui plus accusé encore de la série à pinite. Cependant, il est difficile de préciser si elles sont du type série verte — série satinée mais plus métamorphisée et plus transformée — ou s'il s'agit d'une unité stratigraphiquement plus basse et intermédiaire entre la série brune et la série à pinite. Nous penchons pour la deuxième solution, car d'une part la stratigraphie

de la série brune n'est pas connue vers le bas, et, d'autre part, les caractéristiques pétrographiques de la série verte ne semblent pas se retrouver dans cette série intermédiaire, qui paraît surtout formée d'un matériel primitivement schisto-détritique. Cette manière de voir s'accorderait du reste mieux avec les schémas de PETERLONGO, de FAURE-MURET et avec ce qu'on connaît généralement dans le Massif Central (voir ci-dessous). Enfin, les mesures d'âge, faites sur la série à pinite, excluent pour l'instant la simple possibilité d'une remontée du front de métamorphisme catazonal dans la partie haute de la série stratigraphique.

Nous présentons ci-dessous un schéma illustrant notre tentative pour établir les rapports entre les séries des divers massifs étudiés (voir fig. 2).

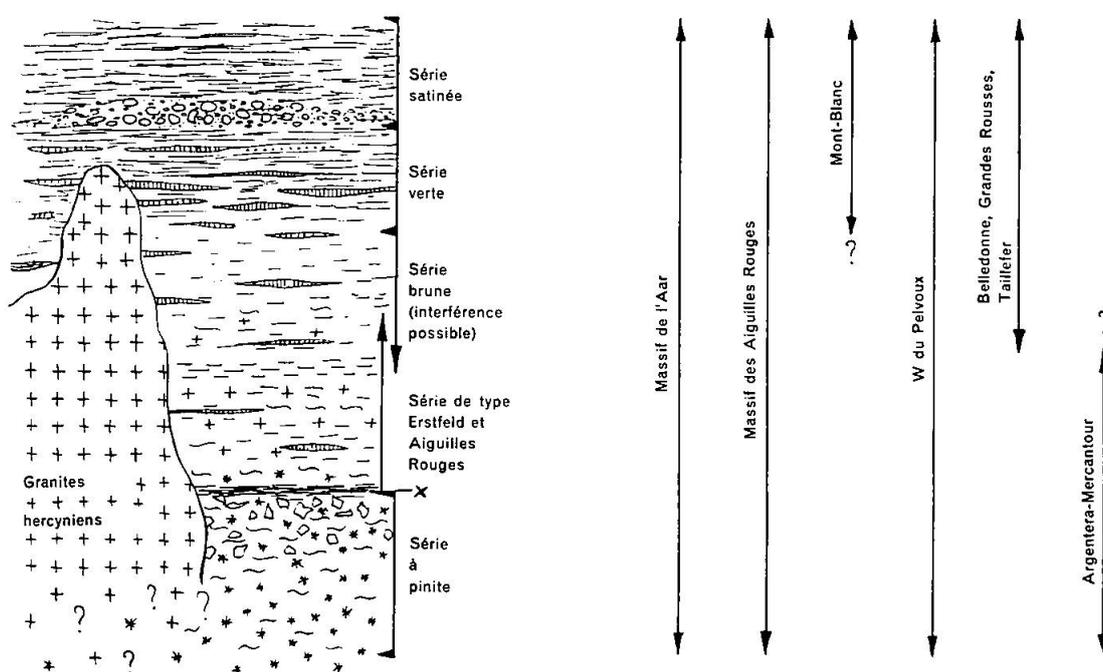


Fig. 2. Constitution des massifs cristallins externes suisses et français. (Ce schéma ne tient pas compte des phénomènes de migmatisation qui peuvent apparaître localement, en rapport ou non avec les granites.)

2. Conglomérats métamorphiques

Ces conglomérats métamorphiques forment parfois des couches très importantes dans le massif de Belledonne, des Grandes Rousses et du Vieux Chaillol (C. BORDET, 1961; VUAGNAT, 1964; P. BORDET, CARME et LE FORT, 1965). Nous les avons figurés schématiquement sur la fig. 1. Stratigraphiquement, ils forment la base de la série satinée ou sont interstratifiés dans la partie inférieure de cette série (C. BORDET, 1961).

Ils forment donc un horizon-repère très important. Les faciès de ces conglomérats sont variables. Parfois, ils passent à des arkoses à galets de quartz et grandes muscovites, ou sont tellement écrasés qu'il est presque impossible de les reconnaître; ailleurs, comme dans le Vieux Chaillol, ils peuvent contenir des éléments de plusieurs m³ montrant un granoclassement vers le haut (LE FORT, 1964). Les éléments sont alors surtout formés de granite, et, en proportion moindre, de gneiss rubanés et de migmatites, de galets de quartz et de granite aplitique. Ils passent vers le haut à des „Streifengneiss“ dont la structure provient sans doute de galets écrasés. Rappelons qu'une datation „Pb total“ a été faite sur un galet de granite et a donné 633 Ma. (CHESSEX et al., 1964; voir échantillon 126, Bd. 4). Selon C. BORDET, ce conglomérat pourrait être

- soit d'âge tournaisien et faire suite à la phase bretonne;
- soit d'âge gothlandien et faire suite à la phase calédonienne;
- soit enfin d'âge cambrosilurien et faire suite à une phase précambrienne récente.

Cet auteur penche pour la première hypothèse, tandis que VUAGNAT envisage plutôt la seconde.

Dans le massif de Belledonne et ses environs, ces conglomérats métamorphiques sont parfois difficiles à distinguer des conglomérats du Carbonifère: on peut trouver les seconds directement sur les premiers et souvent le tout a été cartographié en Carbonifère.

De chaudes discussions ont eu lieu à ce sujet. Par exemple, LLOPIS-LLADO (1951) affirme que les conglomérats métamorphiques des environs d'Entraigues sont carbonifères et qu'ils passent insensiblement à des conglomérats non métamorphiques. Dans des endroits très affectés, le Carbonifère prendrait un faciès d'anatexite, ce qui permettrait de conclure à la présence d'un métamorphisme régional en rapport avec la phase saalienne. LORY et DEBELMAS (1952) s'élevèrent contre cette affirmation et signalent que souvent, les schistes cristallins contiennent des passées „carburées“ ce qui les rend presque impossibles à distinguer des couches carbonifères.

Le problème de la distinction entre conglomérats carbonifères et antéhouillers mériterait d'être posé dans le massif de l'Aar. Les conglomérats et roches arkosiques décrits par EUGSTER (1951) dans le Val Russein (extrémité E du massif de l'Aar) en contact avec des phyllites et le granite central de l'Aar, ont été attribués au Carbonifère supérieur ou au Permien inférieur. Ils seraient pour nous l'analogue des conglomérats métamorphiques de Belledonne, du Vieux Chaillol, etc... L'âge donné par EUGSTER à ces conglomérats est basé sur la détermination par

JONGMANS (1960) de plantes trouvées dans le val Gliems. Cette découverte ne donne pas obligatoirement l'âge de toute la formation. En effet, dans le massif de Belledonne, du Carbonifère fossilifère et même du Trias peuvent se trouver pincés dans les synclinaux formés par les conglomérats métamorphiques (cas des ardoisières de Sevin).

HÜGI (1941), étudiant la pétrographie de la terminaison NE de ce massif, indique la présence possible de deux types de roches détritiques dans la région du Tödi, l'un contenant des sédiments fossilifères (conglomérats et schistes carbonifère supérieur datés par JONGMANS (1960)), l'autre plus ou moins gréseux, métamorphisé par le granite du Tödi et peut-être d'âge dévonien (?) ou carbonifère ancien. Cette opinion a été combattue par WIDMER (1949). W. HUBER (1948) reprend l'idée de l'existence de sédiments dévoniens (?) ou carbonifères anciens au N d'Ault-Stremlücke (SE du massif de l'Aar): ce seraient des schistes et cornéennes graphitiques et séricitiques, métamorphisés par le granite de l'Aar. L'auteur avoue cependant qu'il est souvent très difficile ou impossible de distinguer ces sédiments de brèches d'âge alpin.

Enfin, LAURENT (1965) pense que les séries suivantes existent dans le massif cristallin de Pormenaz (SW des Aiguilles Rouges): une série ancienne de gneiss et de granites, surmontée d'une série schisto-détritique peu métamorphique contenant des schistes carburés (analogue à la série satinée). Le Carbonifère, reposant en discordance sur ces deux séries, se subdivise en deux parties: l'une, à la base, est formée de conglomérats azoïques (Westphalien supérieur?), l'autre, en légère discordance, est constituée de schistes à plantes du Stéphanien.

En conclusion, des conglomérats et des schistes gréseux, argileux, carburés et faiblement métamorphiques, existent dans les massifs de l'Aar, des Aiguilles-Rouges, de Belledonne et du Pelvoux. Ils sont antécarbonifères. La puissante couche de conglomérats métamorphiques, horizon-repère très précieux, qui existe dans le Pelvoux, se poursuit par le Taillefer, les Grandes Rousses et Belledonne; elle existe sans doute dans la partie E du massif de l'Aar. Elle n'est pas signalée pour l'instant avec certitude dans les Aiguilles-Rouges. En effet, les galets décrits par GYSIN (1963) dans les gneiss d'Emaney sont beaucoup plus métamorphiques et les enclaves que nous avons vues dans les gneiss de cette région ont une origine difficile à définir (éléments de conglomérats ou boudins? voir photo de ces enclaves dans BELLIÈRE, 1957/58).

Après avoir montré qu'on peut suivre dans ces massifs sur une très grande distance deux horizons-repères affectés l'un par un métamorphisme très intense, l'autre par un métamorphisme relativement faible, il est logique d'imaginer la même disposition pour les autres séries du socle cristallin — intermédiaires au point de vue du faciès de métamorphisme, et sans doute également au point de vue stratigraphique — entre ces deux horizons-repères.

Nous posons donc comme hypothèse de travail que le schéma proposé par P. et C. BORDET pour le massif de Belledonne est valable — dans ses grandes lignes, avec cependant quelques adjonctions — pour les massifs de l'Aar, du Mont-Blanc, des Aiguilles-Rouges et pour la partie W du massif du Pelvoux. L'extrapolation de ce même schéma au massif de l'Argentera-Mercantour — et même aux massifs Maures-Esterel-Tanneron nous paraît possible et probable⁴⁾ mais étant donné l'état de nos recherches, elle nous semble encore prématurée.

Exemples d'endroits où apparaissent les séries verte et satinée

Massif de l'Aar

Nous prendrons comme exemple le Lötschental. SWIDERSKI (1919) y a décrit la disposition synclinale de schistes phylliteux parfois très difficiles à discerner du Carbonifère, d'autant plus que ce dernier s'est déposé sur ces schistes. La coupe, de Gampel à Ferden, est la suivante:

Entre le Mésozoïque et le point 720 m: granite de Balschieder. Entre les points 730 à 1220 m (voie ferrée traversant la route): amphibolites, gneiss à amphibole, chloritoschistes, alternant avec des gneiss migmatitiques et roches granitiques. Entre 1220 m et Ferden: schistes compacts à deux micas, chloritoschistes, gneiss schisteux à deux micas, parfois de l'amphibole, fortement écrasés et oxydés.

Le cœur du synclinal du Lötschental s'observe sur la rive gauche du Ferdenbach, dans une niche d'arrachement dont la base est à l'altitude de 1500—1550 m environ: les roches, de patine brunâtre, très cassées, formées de schistes micacés souvent très arkosiques, montrent une structure détritique visible (alternance de lits fins et grossiers, graded bedding, grains détritiques) et contiennent des lits de quartzite à nodules feldspathiques et de schistes fins, noirs et séricitiques. De grandes muscovites se développent avec du matériel leucocrate et un peu de tourmaline.

On voit qu'en grand, la succession classique de Belledonne (granite anticlinal, roches de type séries vertes inférieure et supérieure, passant à la série satinée, caractéristiques pétrographiques semblables) se retrouvent dans cette partie du massif de l'Aar. Les mêmes types de roches et de structures sont également décrits par SIGRIST (1947) dans l'E du massif de l'Aar.

Mont-Blanc et Aiguilles-Rouges

On se référera aux travaux de P. et C. BORDET (1960—1963) et C. BORDET (1961). Ces séries sont nettement définies au SE des Aiguilles-

⁴⁾ Voir dans ce n° les nouvelles déterminations d'âge „Pb total“ dans les massifs de l'Esterel et des Maures: elles se situent soit autour de 600 Ma., soit autour de 400 Ma. également.

Rouges (voir LAURENT, 1965). Le granite du Mont-Blanc forme une longue amygdale constituant le cœur d'un anticlinal bordé d'amphibolites du type série verte, et autour duquel affleure la série satinée (par exemple en face des Valettes, rive droite de la Dranse de Bagnes; route Martigny-Chemin Dessus; côté E des racines de la nappe de Morcles, au col de la Forclaz...).

Massif du Pelvoux, partie W

Dans cette partie du massif (par exemple coupe du Valgaudemar), on trouve également la succession classique des granites entourés d'amphibolites et de schistes chloriteux, passant au conglomérat métamorphique du Vieux Chaillol.

COMPARAISON AVEC LES MASSIFS CRISTALLINS LIMITROPHES

Puisque les séries constituant les massifs externes se poursuivent sur une très grande distance, il est possible qu'elles s'étendent largement vers l'W et l'E.

1. PETERLONGO (1960), dans son travail sur les *Monts du Lyonnais* et environs, décrit les séries et les étages stratigraphiques suivants:

<i>Viséen</i>	Terrains non métamorphiques discordance.						
<i>Tournaisien</i>	Roches épidotiques, gneiss chloriteux. Schistes verts, laves spilitiques, amphibolites, roches éruptives diverses. Dépôt de la série de la Brévenne.						
<i>Dévonien</i> discordance (orogénèse calédonienne).						
<i>Silurien</i> à <i>Précambrien</i>	<table> <tbody> <tr> <td rowspan="4">Série des Monts du Lyonnais</td> <td rowspan="4">}</td> <td>gneiss à deux micas.</td> </tr> <tr> <td>gneiss à biotite et sillimanite intercalés d'amphibolites.</td> </tr> <tr> <td>leptynites ± embréchitiques avec gneiss à biotite, cordiérite et grenat; migmatites stratoïdes.</td> </tr> <tr> <td>anatexites à biotite passant à des gneiss-anatexites grenues à cordiérite.</td> </tr> </tbody> </table>	Série des Monts du Lyonnais	}	gneiss à deux micas.	gneiss à biotite et sillimanite intercalés d'amphibolites.	leptynites ± embréchitiques avec gneiss à biotite, cordiérite et grenat; migmatites stratoïdes.	anatexites à biotite passant à des gneiss-anatexites grenues à cordiérite.
Série des Monts du Lyonnais	}			gneiss à deux micas.			
				gneiss à biotite et sillimanite intercalés d'amphibolites.			
				leptynites ± embréchitiques avec gneiss à biotite, cordiérite et grenat; migmatites stratoïdes.			
		anatexites à biotite passant à des gneiss-anatexites grenues à cordiérite.					

Quatre âges „Pb total“ ont été déterminés dans ces formations (PETERLONGO, op. cit.): deux présentent les valeurs de 460 Ma. et 440 M a. (migmatites stratoïdes) et deux autres celles de 620 et 660 Ma. (anatexites à cordiérite et gneiss à biotite et sillimanite). Partant de ces résultats et d'arguments géologiques, PETERLONGO envisage l'histoire

suivante: un métamorphisme précambrien aurait abouti à la formation de migmatites fondamentales du type anatexites à cordiérite (600—650 M a.). Ce métamorphisme se serait poursuivi, avec ou sans solution de continuité, dans le Primaire inférieur et aurait donné des migmatites stratoïdes et une métasomatose généralisée dans la partie supérieure des Monts du Lyonnais (autour de 400—450 M a.). Après la discordance due à l'orogénèse calédonienne, se serait déposée la série de la Brévenne équivalente des terrains dévoniens du Morvan et de la Montagne-Noire. Cette série aurait été métamorphisée ultérieurement au cours de la phase hercynienne.

2. Dans le massif Central, VIALETTE (1962) a déterminé les âges de micas et de roches totales dans les diverses formations par la méthode Rb/Sr. Les résultats obtenus suggèrent l'existence de migmatisations et granitisations successives, ainsi qu'un rajeunissement de certains âges apparents au Tournaisien. Les résultats (roche totale) de 678 et 800 Ma. ont été obtenus sur des migmatites fondamentales à cordiérite. Les âges déterminés sur des migmatites stratoïdes (roche totale et biotite), sont nettement inférieurs (entre 450 et 290 Ma.), à l'exception d'une migmatite stratoïde du Lyonnais qui donne 645 Ma. (roche totale): celle-ci fait partie de la série des Monts du Lyonnais, dont un gneiss à sillimanite avait donné 660 Ma. par „Pb total“. Les âges des granites circonscrits du massif Central oscillent entre 300 et 400 Ma., à l'exception du granite du Mendic (Montagne-Noire) qu'on sait être antécambrien (564 Ma.).

Toutes ces séries se ressemblent: mêmes types de roches: anatexites à biotite et cordiérite passant progressivement à des gneiss, puis alternance de bancs amphiboliques et migmatites stratoïdes, enfin passage par une discordance (parfois avec conglomérats) à des schistes peu métamorphiques; mêmes domaines d'âges isotopiques également, s'appliquant aux mêmes types de roches.

Notons enfin qu'une de nos interprétations présentée pour les massifs externes (voir série à pinite) est semblable à celle avancées par PETER-LONGO, FAURE-MURET et VIALETTE.

3. Nos recherches concernant les formations hercyniennes du *Pennique moyen* (nappes du Mont-Rose et Grand-St-Bernard) situé à l'E des massifs externes, sont encore très peu avancées: les comparaisons entre les séries affleurant dans ces deux régions est rendue en effet beaucoup plus délicate par suite des néogénèses et des déformations alpines. Il semblerait cependant y exister des analogies de faciès et des équivalences dans les âges absolus. Voici pour l'instant notre manière de voir:

Pennique moyen

Migmatites à pinite type Mont Rose.
 Roches type gneiss œillé à orthose
 (St. Nicolas, Randa . . .) dans ou à la
 base des schistes de Casanna.
 Granites intrusifs du type Mont-Rose.
 Roches type schistes de Casanna (à
 l'exclusion du Permo-Carbonifère).

Massifs Externes

Série de Fully (série à pinite).
 Migmatites et gneiss des séries verte
 et inférieure (séries des Aiguilles
 Rouges, d'Erstfeld).
 Granites intrusifs hercyniens.
 Séries verte et satinée (ex: coupe du
 Lötschental).

Ages „Pb total“ dans le Pennique moyen⁵⁾

Migmatite à pinite type Mont Rose	665 Ma.
Gneiss œillé type Randa	350 Ma.
Idem	337 Ma.
Gneiss œillé, schistes Casanna inférieur	439 Ma.
Gneiss de Tion, faciès granitique (Permo- carbonifère ou Casanna inf.)	340 Ma.
Idem, faciès quartzo-feldspathique	467 Ma.
Granite du Mont Rose	362 Ma.
Granite du Grand Paradis	301 Ma.
Granite du Grand Paradis	350 Ma.
Schistes de Casanna sup. (Permo-Carbonifère?)	641 Ma.
Schistes de Casanna sup. (Permo-Carbonifère?)	806 Ma.
Permo-Carbonifère certain, front nappe St Bernard	347 Ma.
Permo-Carbonifère certain, front nappe St Bernard	446 Ma.

Nous pensons donc que :

— Dans le massif du Mont-Rose se trouvent des migmatites du type de la série à pinite (même faciès minéralogique, même âge Pb total).

— Le métamorphisme principal des schistes de Casanna est hercynien (entre 340 et 460 Ma. environ); il est de même âge que celui des séries vertes, satinée, et des séries sous-jacentes... Le granite du Mont-Rose est également hercynien.

— Les âges anciens trouvés pour les schistes de Casanna supérieur, attribués parfois au permo-carbonifère, s'expliquent par le faible métamorphisme de ces roches (épizone): les zircons y sont détritiques et donnent l'âge de la roche dont ils dérivent⁶⁾. On doit du reste s'attendre à trouver également des âges Pb total anciens dans les zircons détritiques des schistes de la série satinée, âges certainement analogues à celui déterminé sur l'élément du conglomérat du Vieux Chaillol.

— Enfin, il est possible que les schistes de Casanna et les gneiss œillés du type Randa représentent les séries satinée, verte et inférieures avec leurs zones plus ou moins feldspathisées.

⁵⁾ BUCHS et al., 1962; CHESSEX et al., 1964.

⁶⁾ Voir discussion de cette question dans CHESSEX et al., 1964.

Mais nous arrivons ainsi à la limite de la notion d'analogie entre deux séries. Nous avons implicitement admis que deux séries analogues étaient deux séries primitivement de même âge et de même faciès. Il est bien difficile de définir ce qui fait l'essentiel des analogies de faciès, surtout lorsqu'on compare les formations d'un massif hercynien à celles de même âge, mais tectonisées et métamorphisées lors d'une orogénèse suivante. Il nous semble que, pour aller plus avant dans ces recherches, il faudra mettre en œuvre une connaissance des terrains plus poussée et des moyens géochimiques plus étendus (géochemométrie, éléments-trace propres à chaque série...). On connaît déjà assez bien l'âge des métamorphismes qui ont affecté ces formations et on a quelques indications sur les raccords à longue distance entre celles-ci. Une fois ceux-ci établis de manière sûre, il restera encore à déterminer avec d'autres moyens (par ex.: étude des pollens...) l'âge stratigraphique des sédiments qui ont primitivement constitué ces séries.

CONCLUSION

Retenons, de cet essai sur la structure géologique des massifs externes des Alpes suisses et françaises, les deux points suivants: 1. Des séries, définies par leurs rapports stratigraphiques, leur pétrographie particulière et, souvent, par leurs âges isotopiques, se poursuivent sur de longues distances (la distance à vol d'oiseau du Vieux Chaillol-NE du massif de l'Aar est de 300 km). 2. Les structures sont très semblables dans ces massifs: plis plus ou moins serrés, anticlinaux remplis par des granites.

Cette hypothèse de travail suppose une grande continuité des faciès et des structures tout au long de ces massifs.

La série à pinite et ses gneiss-migmatites encaissants posent un autre problème: leurs faciès particuliers sont-ils dûs à des causes sédimentaires ou métamorphiques, ou aux deux à la fois? Il n'est pas encore possible de répondre définitivement à cette question.

Enfin, il est séduisant de constater que les schémas que nous proposons pour les massifs externes coïncident avec ceux des Monts du Lyonnais et de l'E du massif Central, peut-être même avec celui du pennique, c'est-à-dire:

— première version: un socle précambrien récent, repris, avec des séries sédimentaires paléozoïques discordantes, par un métamorphisme ultérieur se développant par étapes au cours du Primaire;

— seconde version, légèrement différente: une série précambrienne passant sans solution de continuité au primaire, cet ensemble étant affecté par plusieurs phases de métamorphisme débutant au précambrien récent et se développant dans le primaire.

Remerciements

Nous remercions vivement les prof. M. Vuagnat, E. Niggli et Th. Hügi, ainsi que les Dr. R. Chessex et R. Laurent, qui ont bien voulu nous faire part de leurs remarques et de leurs idées constructives.

Bibliographie sommaire

(BSMP = Bulletin suisse de Minéralogie et Pétrographie)

- BELLAIR, P. (1948): Pétrographie et tectonique des massifs centraux dauphinois. Mém. carte géol. France.
- BELLIÈRE, J. (1957—1958): Contribution à l'étude pétrogénétique des schistes cristallins du massif des Aiguilles Rouges. Ann. Soc. Géol. Belgique, LXXXI, mém., p. MI.
- BORDET, C. (1961): Recherches géologiques sur la partie septentrionale du massif de Belledonne (Alpes françaises). Mém. carte géol. France.
- BORDET, P. et C. (1960—1963): Belledonne — Grandes Rousses et Aiguilles Rouges Mont-Blanc: Quelques données nouvelles sur leurs rapports structuraux. Livre à la mémoire du Prof. Fallot, Soc. géol. France, p. 309.
- BORDET, P., CARME, F. et LE FORT, P. (1965): Note à paraître dans les C. R. Acad. Sci., sur le conglomérat métamorphique Vieux Chaillol — Taillefer — Grandes Rousses.
- BUCHS, A., CHESSEX, R., KRUMMENACHER, D. et VUAGNAT, M. (1962): Ages „Pb total“ déterminés par fluorescence X sur les zircons de quelques roches des Alpes. BSMP 42/2, p. 295.
- CHESSEX, R., DELALOYE, M., KRUMMENACHER, D. et VUAGNAT, M. (1964): Nouvelles déterminations d'âge „Pb total“ sur les zircons alpins, 2e série. BSMP 44/1, p. 43.
- COLLET, L. W., OULIANOFF, N. et REINHARD, M. (1952): Notice explicative de la feuille de Finhaut, Atlas géol. suisse, feuille 525.
- ESKOLA, P. (1952): On the granulites of Lapland. Bowen volume. Amer. J. Sci., p. 133.
- EUGSTER, P. (1951): Petrographische Untersuchungen im Gebiete des Val Russein. BSMP 33, p. 1.
- FAURE-MURET, A. (Melle) (1955): Etudes géologiques sur le massif de l'Argentera-Mercantour et ses enveloppes sédimentaires. Mém. carte géol. France.
- GOLLIEZ, P. (1893—1896): Eclogae geol. Helv. 4, p. 106.
- HUBER, W. (1948): Petrographische Untersuchungen im südlichen Aarmassiv. BSMP 27/1, p. 555.
- HÜGI, TH. (1941): Zur Petrographie des östlichen Aarmassivs und des Kristallins von Tamins. BSMP 21/1, p. 1.

- (1956): Vergleichende petrologische und geochemische Untersuchungen an Graniten des Aarmassivs. *Mat. Carte géol. Suisse*, N. S. 94.
- HUTTENLOCHER, H. F. (1947): Über Verschiedenheiten im Verlaufe magmatischer und metamorpher Prozesse erläutert an Beispielen aus dem Aarmassiv. *Mitt. Natf. Ges. Bern*, N. S. 4, p. 85.
- GYSIN, M. (1962): Les gneiss de la région Emaney-Barberine. *Arch. Sci. Genève*, 15/3, p. 533.
- JONGMANS, W. J. (1960): Die Karbonflora der Schweiz. *Mat. Carte géol. Suisse*, N. F. 108.
- KRUMMENACHER, D. (1959): Le cristallin de la région de Fully. *BSMP* 39, p. 151.
- LAURENT, R. (1965, à paraître): Contribution à l'étude du Carbonifère de la montagne de Pormenaz (Aiguilles Rouges, Hte Savoie). *Arch. Sci.* 18/1.
- LE FORT, P. (1964): Sur l'existence d'un important conglomérat métamorphique dans le massif cristallin du Chaillol (Htes Alpes). *C. R. Acad. Sci. Paris* 258, p. 4097.
- LLOPIS-LLADO, L. (1951): Sur le Carbonifère métamorphique des environs d'Entraigues (Isère). *C. R. Soc. géol. France*, no 13, p. 254.
- LORY, P. et DEBELMAS, J. (1952): Le Carbonifère des environs d'Entraigues en Valbonnais. Observations au sujet d'une note récente de Mr Llopis-Llado. *C. R. som. Soc. géol. France*, p. 278.
- LUGEON, M. et Mme JEREMINE, E. (1913): Sur la présence de bandes calcaires dans la partie suisse des Aiguilles Rouges. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 156, p. 1473.
- NEIDINGER, E. (1948): Petrographische Untersuchungen im oberen Lauterbrunnental. *Inaug.-Diss.*, Berne.
- PETERLONGO, J. M. (1960): Les terrains cristallins des Monts du Lyonnais. *Ann. Fac. Sci. Univ. Clermont*, 4/4.
- SIGRIST, F. (1947): Beiträge zur Kenntnis der Petrographie und der alpinen Zerrklüftlagerstätten des östlichen Aarmassivs. *BSMP* 27/1, p. 39.
- SWIDERSKI, B. (1919): La partie occidentale du massif de l'Aar, entre la Lonza et la Mass. *Mat. Carte géol. Suisse*, 47, 1.
- TERMIER, P. (1898): *Bull. Soc. géol. France* 9, no 59, p. 153.
- TRUNINGER, E. (1911): Kontaktmetamorphe Erscheinungen im westlichen Teil des Aarmassivs (Gasternmassivs). *Eclogae geol. Helv.* 11/4, p. 484.
- TURNER, F. J. et VERHOOGEN, J. (1960): *Igneous and metamorphic Petrology*. Mac Graw Hill, Londres.
- VIALETTE, Y. (1962): Contribution à l'étude géochronométrique par la méthode au Sr des principaux massifs de granites et de migmatites du Massif Central français. *Ann. Fac. Sci. Clermont*, 6/6.
- VUAGNAT, M. (1964): A propos de la série cristallophyllienne du Vieux-Chaillol. *BSMP* 44/1, p. 9.
- WIDMER, H. (1949): Zur Geologie der Tödigruppe. *Diss. Univ. Zürich*, 1949.
- WEGMAN, C. E. (1930): Sur le diapirisme. *Bull. Com. géol. Finlande*, 92/III, p. 38.
- (1935a): Zur Deutung der Migmatite. *Geol. Rdsch.* 26/5, p. 306.
- (1935b): Preliminary report on the Caledonian Orogeny in Christian X's Land: *Medd. Grønland*, 103/5.