Zeitschrift: Archives des sciences [1948-1980]
Herausgeber: Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève
Band: 4 (1951)
Heft: 1

Artikel: Schistosité, foliation et microplissement
Autor: Fourmarier, Paul
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-739934

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

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

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

Download PDF: 11.12.2025

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

SCHISTOSITE, FOLIATION

ET

MICROPLISSEMENT

PAR

Paul FOURMARIER

(Avec 7 fig.)

Résumé. — Ce travail a pour objet de montrer que la schistosité, comprise entre un front supérieur et un front inférieur, est remplacée en profondeur par le microplissement; celui-ci est un stade intermédiaire entre la schistosité et la foliation. La puissance des zones de microdéformation varie suivant divers facteurs; la granitisation pourrait avoir une influence.

Dans les nombreux travaux que j'ai publiés à ce jour sur la *schistosité* ou *clivage schisteux*, j'ai gardé à ce terme le sens relativement restreint que lui attribuait Em. Haug: débitage en feuillets ordinairement obliques à la stratification.

Par contre, j'ai adopté le nom de *foliation* [1] pour désigner le feuilletage parallèle à la stratification, si caractéristique dans les séries cristallophyliennes du type des gneiss et des micaschistes.

Il était intéressant de rechercher quelle relation peut exister entre ces deux modes de feuilletage des roches schisteuses. Les observations que j'ai faites à ce sujet dans les Alpes au cours de ces dernières années vont me permettre d'aborder ce problème et de proposer une solution pour le moins provisoire.

[1] P. Fourmarier, *Principes de Géologie*, 3e éd., Liége, Vaillant-Carmanne, Paris, Masson & Cie, 1950.

Mes observations dans diverses régions du globe m'ont conduit à pouvoir affirmer que la schistosité oblique à la stratification (clivage schisteux) n'apparaît que sous une charge suffisante; en d'autres termes, il existe un *front de schistosité* au-dessus duquel le seul débitage en feuillets s'opère parallèlement à la stratification suivant des joints originels résultant de l'arrangement de la matière au cours de la sédimentation.

En-dessous de ce front, par contre, la schistosité apparaît d'abord sous forme de *schistosité de fracture*, puis, à profondeur plus grande, sous forme de *schistosité de flux*, avec écrasement et étirement de la matière au point que les éléments des roches tendent à s'orienter suivant les feuillets et que des halos d'étirement se forment autour de points durs.

L'évolution des roches par actions régionales marche de pair avec le développement du clivage schisteux : dans les schistes simples, la schistosité de fracture est dominante; au stade des phyllades, la schistosité de flux est de règle.

Le front de schistosité n'est pas une surface régulière; sa forme est conditionnée, outre la charge, par la nature lithologique des terrains affectés: dans les séries schisteuses, il est plus proche de la surface que dans les autres dont la résistance aux efforts est plus grande; il n'empêche que, sous forte charge, les quartzites eux-mêmes peuvent se débiter en feuillets grossiers par le développement de la schistosité. L'intensité des efforts de plissement intervient aussi pour régler la profondeur à laquelle apparaît le front de schistosité; cette profondeur diminue si l'intensité du plissement augmente.

Suivant ce principe général, et en tenant compte de l'influence de la charge, qui est un des facteurs du développement du métamorphisme régional, on pourrait s'attendre à ce que le débitage en feuillets obliques à la stratification, caractère essentiel de la schistosité, soit plus apparent encore dans les roches cristallophylliennes, telles les gneiss et les micaschistes, dont l'évolution s'est faite sous plus forte pression, et à plus haute température, c'est-à-dire sous charge plus considérable. Or, il n'en est rien, car, de façon générale, ces roches se feuillettent parallèlement à la stratification; il en est ainsi jusque dans les charnières des plis serrés. C'est aussi suivant la strati-

fication que s'orientent les minéraux de néoformation caractérisant le développement du métamorphisme. Ce sont bien là les caractères de la foliation.

Si donc, à une certaine profondeur, la schistosité fait place à la foliation, il y a lieu de distinguer un *front inférieur de schistosité*, comme il existe un *front supérieur*, au-dessus duquel, par insuffisance de charge, le débitage des schistes en feuillets obliques ne peut plus se réaliser.

Plusieurs causes sont à prendre en considération pour expliquer cette modification dans le comportement des roches en profondeur.

1. Ecrasement, étirement et schistosité.

Il est généralement admis que, sous l'action combinée de la charge statique et des efforts conduisant au plissement, il se produit un écrasement et, par suite, un débitage en feuillets par étirement de la matière; dans la schistosité de fracture, l'étirement est minime et le débitage correspond simplement à la fissuration des roches; dans la schistosité de flux, l'étirement devient l'effet prépondérant comme le prouvent la déformation des fossiles, les halos d'étirement, l'ouverture des diaclases avec formation de veines parfois fort épaisses, le boudinage, etc... Dans des bancs calcaires, des veines de calcite, à l'origine normales à la stratification, ont parfois été, par écrasement et étirement des couches, repliées sur elles-mêmes dessinant des chiffonnages serrés, ou bien ont été tronçonnées suivant de petites cassures parallèles à la schistosité [1].

Lorsqu'une série sédimentaire à schistosité normale est affectée de plis isoclinaux, le feuilletage se dispose parallèlement à la stratification; il doit en être ainsi puisque la schistosité de flux suit approximativement l'allure du plan axial des plis. Mais à l'endroit de la charnière, la schistosité est forcé-

[1] Je dois à M. l'ingénieur D. Raffo, directeur général du Service minier de la Société Montecatini, à Milan, de très intéressantes photographies montrant cette disposition dans les marbres cipolins d'âge triasique, exploités par cette société.

ment oblique à la stratification. J'ai observé de nombreux exemples d'une telle disposition dans les Alpes, comme dans les massifs hercyniens de Belgique et d'Angleterre. Le parallélisme entre le feuilletage n'existe alors que sur les flancs du pli; il ne peut par conséquent être question de foliation; dans cette dernière, en effet, le feuilletage suit la stratification jusque dans les charnières des plis serrés. C'est donc l'observation des charnières qui permet de décider si l'on a affaire à l'une ou l'autre disposition [1].

Je signalerai à ce sujet un cas fort intéressant: A la bordure méridionale de la fenêtre de la Basse Engadine (Scuol), les schistes lustrés appartenant à l'intérieur de la fenêtre sont redressés, avec fort pendage sud; ils se débitent en feuillets à surface luisante, disposés parallèlement à la stratification. Cependant, près de Tarasp, j'ai observé dans ces schistes quelques petits plis isoclinaux, à plan axial très redressé; dans les charnières, la schistosité, parallèle à ce plan axial, coupait forcément la stratification; il ne peut donc être question de foliation, bien que, sans un examen attentif, on se croirait en présence d'un exemple typique de foliation quoique le métamorphisme soit moins avancé que dans les séries cristallophyliennes proprement dites.

Il n'est cependant pas indispensable qu'il y ait formation de plis isoclinaux, pour que le feuilletage s'opère parallèlement à la stratification, il suffit que l'écrasement et l'étirement soient suffisants. Le fait m'a paru évident dans la coupe du Lias le long de la route de Loèche les Bains (Valais): Bien que d'allure très régulière, sans plis secondaires, les schistes se débitent suivant un feuilletage très apparent, parallèle à la stratification; la surface luisante des feuillets, la présence, par endroits, de halos d'étirement autour de cubes de pyrite ne laissent aucun doute sur l'étirement auquel ces roches ont été soumises. Dans des bancs calcaires ou siliceux, plus résistants aux actions d'étirement, on observe une schistosité oblique, qui se marque aussi dans l'orientation de nodules

[1] J'ai attiré l'attention sur ce point dans un travail antérieur: P. Fourmarier, « Sur quelques particularités de la schistosité », *Ann. Soc. Géol. Belg.*, t. LXXI, Bull., pp. 59-69, Liége, 1947.

calcaires à certains niveaux. On se trouve ici en présence d'un feuilletage des schistes parallèle à la stratification, qui s'est substituée à la schistosité oblique par suite d'un étirement suffisant de la matière [1].

Dans les Alpes, j'ai trouvé, en maints endroits, la confirmation de ce phénomène; il en est ainsi de façon très nette dans les zones très écrasées, dites « zones des racines », telles qu'on peut les observer dans la vallée du Rhône près de Sion; il en est de même près d'Andermatt dans l'étroite bande de roches allant du Carbonifère au Jurassique, pincées entre le massif de l'Aar et le massif du Gothard; j'ai fait des observations identiques au Val Ferret, notamment entre Orsières et Champex, où les schistes calcaires du Dogger se feuillettent parallèlement à la stratification, mais où l'on voit, autour de cristaux de pyrite, des halos d'étirement très développés, qui ne laissent aucun doute sur le mode de déformation et sur l'importance de l'écrasement et de l'étirement.

Je dois cependant attirer ici l'attention, comme je l'ai fait dans l'étude précitée, sur le fait que toutes les roches ne réagissent pas de la même manière à l'intervention de tels efforts: Les schistes prennent facilement le débitage parallèle à la stratification; par contre, les calcaires et les grès, soumis aux mêmes contraintes, sont en retard par rapport aux schistes, en ce sens qu'ils prennent une schistosité oblique à la stratification, alors qu'ils ne se débiteraient peut-être pas en feuillets si les schistes avaient pris un clivage normal, oblique à la stratification, à l'intervention d'efforts moins énergiques.

A l'appui de ce qui précède, je signalerai l'observation suivante que j'ai faite dans les tranchées de la route du Grand-Saint-Bernard, à peu de distance du col, sur le versant italien, dans une zone écrasée entre les Pennides et les racines des nappes ultra-helvétiques: Alors que les schistes du Lias se débitent en feuillets parallèles à la stratification, conformément à ce que l'on voit dans la zone des racines, les quartzites du Trias, montrent dans certains bancs une schistosité oblique

[1] P. Fourmarier, « L'étirement des roches et la schistosité », *Bull. Soc. Géol. France*, 5e sér., t. 19, 1949.

très nette. Ici encore, on constate que les quartzites ont un certain retard par rapport aux roches schisteuses plus déformables, ce qui revient à dire que le débitage en feuillets parallèles à la stratification marque un stade plus avancé dans l'évolution tectonique que la schistosité proprement dite.

Je puis citer encore un exemple très comparable que j'ai observé dans les roches liasiques de la couverture du flanc oriental du massif de la Vanoise, où j'ai été guidé par M. Ellenberger: dans les schistes se voit un débitage en feuillets parallèles aux strates; les bancs calcaires, par contre, sont clivés obliquement à la stratification.

A ce qui précède, je puis ajouter une autre observation qui semble mettre en évidence à la fois le rôle de la charge et de la nature lithologique dans l'étirement des roches: Entre la Maurienne et la région d'Aoste, affleure largement la série compréhensive postpermienne désignée sous le nom de « schistes lustrés ». Dans le val d'Aoste et au voisinage du massif cristallin de la Doira Meira, les schistes lustrés sont écrasés et fortement étirés; ils se débitent en feuillets à surface luisante, disposés suivant la stratification. Par contre, près de la Vanoise — à Termignon notamment — au col de l'Iseran, au col du Mont Cenis, au voisinage de Sestriere (Italie), on y voit des plis serrés, à plan axial peu incliné, bien marqués par la présence de bancs calcaires; or dans ces bancs, il existe une schistosité oblique, en rapport avec l'allure des plis. Près de Bardonnèche, j'ai même observé une schistosité oblique, indépendante de tout pli serré. Il semble donc que la schistosité fasse place à la foliation au fur et à mesure que l'on considère un endroit plus proche de la zone axiale de la fosse pennique.

De tout ce qui précède, on conclut qu'un étirement marqué, dû à l'écrasement des roches, provoque le remplacement de la schistosité par un débitage en feuillets parallèles à la stratification, sauf cependant dans les charnières des plis, ce qui distingue un tel débitage de la foliation proprement dite. Les roches plus résistantes cèdent moins facilement à cette sollicitation; elles sont en retard par rapport aux schistes et prennent, de ce fait, une schistosité oblique à la stratification, même en dehors des charnières.

2. Le microplissement et la schistosité.

Dans des zones plus profondes, c'est-à-dire sous forte charge, les micaschistes, les séricitoschistes, les chloritoschistes, voire des phyllades, présentent fréquemment de petits plis serrés que je désigne sous le nom de *microplis*; à l'échelle réduite, mais encore observables à l'œil nu, ces microplis conduisent au *gaufrage* [1] de la surface des feuillets. Le phénomène lui-même peut être désigné sous le nom de *microplissement*.

Dans ces petites déformations, les minéraux phylliteux épousent l'allure des feuillets; c'est donc, si l'on veut, un type particulier de foliation. Néanmoins, il s'apparente intimement au clivage schisteux; il est possible d'en apporter une série de preuves:

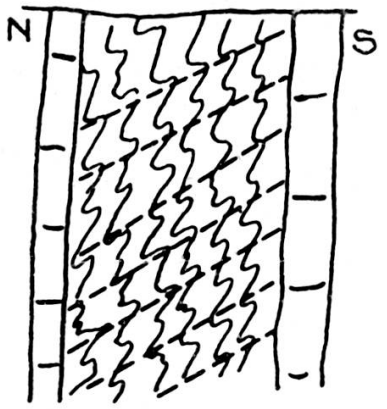

Fig. 1.

Microplissement dans un banc de schiste micacé à Dervio (lac de Côme).

a) Sur la rive orientale du lac de Côme, à Dervio, des schistes micacés du substratum paléozoïque métamorphique présentent du microplissement dans les bancs phylliteux compris entre des bancs quartzeux. Comme le montre la fig. 1, les plans axiaux de ces microplis sont disposés obliquement à la stratification comme l'eut été un clivage schisteux dans sa disposition normale.

b) Dans la même série de roches, les gneiss sont affectés par des plis de peu d'amplitude déversés au sud; à l'endroit des charnières, les bancs de nature plus schisteuse, finement

[1] Ce terme a été employé en Belgique par Jules Gosselet pour désigner un aspect particulier, caractérisé par un fin ridement de la surface des feuillets des schistes. J. Gosselet, *L'Ardenne*, 1888, p. 718.

zonaires, montrent des microplis très caractéristiques; en outre, par endroits, apparaît un clivage grossier disposé parallèlement au plan axial du pli (fig. 2) [1].

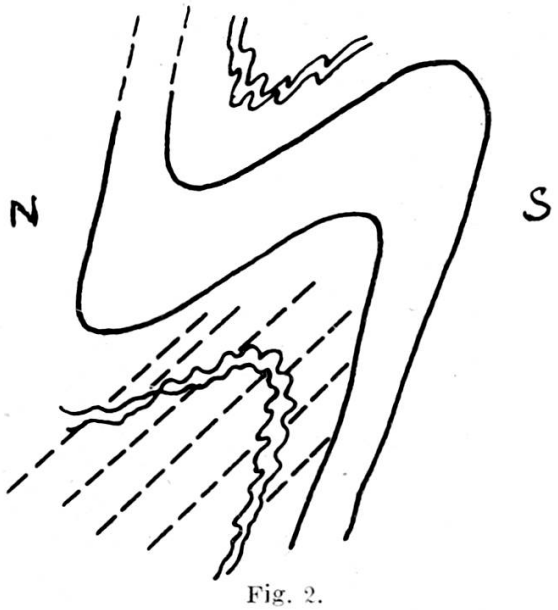

Fig. 2.

Microplis dans des bancs schisteux à l'endroit des charnières, à Dervio (lac de Côme).

c) Dans la vallée de la Dora Riparia près d'Ulzio (Italie), j'ai observé du microplissement dans des micaschistes du

Fig. 3.

Microplis et schistosité dans des micaschistes, au nord d'Ulzio.

massif paléozoïque d'Ambin; à cet endroit, ces chiffonnages sont accentués par des joints, rappelant, à petite échelle, la

[1] J'ai fait des observations identiques en d'autres endroits, notamment aux environs de Séchillienne (vallée de la Romanche) dans les micaschistes du Paléozoïque, tant dans des charnières synclinales que dans des charnières anticlinales.

disposition des plis-failles (fig. 3). On peut y voir une relation évidente entre le microplissement et la schistosité [1].

d) Dans les schistes de Casanna, à Zeneggen-Gstein, au-dessus de Viège (Valais), j'ai observé la disposition représentée à la figure 4. Dans un banc quartzeux, l'allure est régulière, tandis que dans un banc plus schisteux sous-jacent, on note la présence de petits chiffonnages qui remplacent la schistosité;

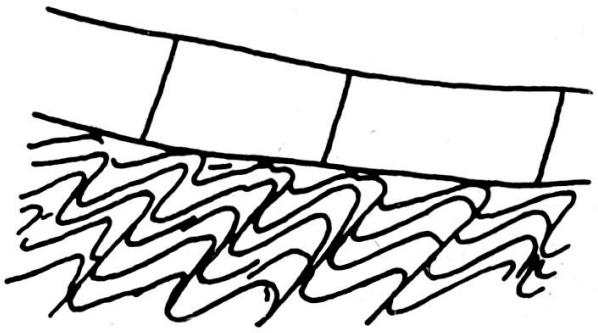

Fig. 4.

Microplissement à Gstein (Zeneggen).

comme dans les micaschistes d'Ulzio, beaucoup de ces microplis sont accentués par de minces fissures qui sont, en fait, une schistosité typique.

En un autre point, en aval du village de Zeneggen, j'ai observé une disposition analogue, mais à plus grande échelle, en ce sens que les microplis sont accompagnés de joints parallèles à leur plan axial mais plus écartés les uns des autres que dans l'exemple précédent; de loin, ces joints donnent l'impression d'un clivage schisteux assez lâche. Il n'y a pas de doute que le microplissement et la schistosité correspondent à un même phénomène, car en donnant un coup de marteau à l'endroit où le microplissement est bien caractérisé, entre deux des joints apparents, la roche se débite suivant des joints virtuels

[1] A. Heim avait signalé une disposition analogue dans un banc de schiste intercalé entre des couches de dolomie (Trias du Tödi). Voir Em. Haug, *Traité de Géologie*, I, p. 233, fig. 90, 1907.

En Finlande, E. Wegmann a signalé la présence de semblables microplis et montré leur relation avec la schistosité. C. E. Wegmann, « Ueber einige deformations und bewegungstypen in kristalline Schiefer, *C. R. Soc. géol. Finlande*, nº 4, 1931, Helsingfors.

parallèles aux précédents; les cassures ainsi produites se disposent suivant le plan axial des microplis.

e) A Champagny-le-Haut (Dauphiné), sous la conduite de M. Ellenberger, j'ai visité la belle coupe entre cette localité et le hameau de Friburge; on y observe le Permien et le Houiller à prasinite, qui, dans l'ensemble, forment un grand pli poussé vers le sud-ouest; dans la zone frontale de ce pli, les schistes

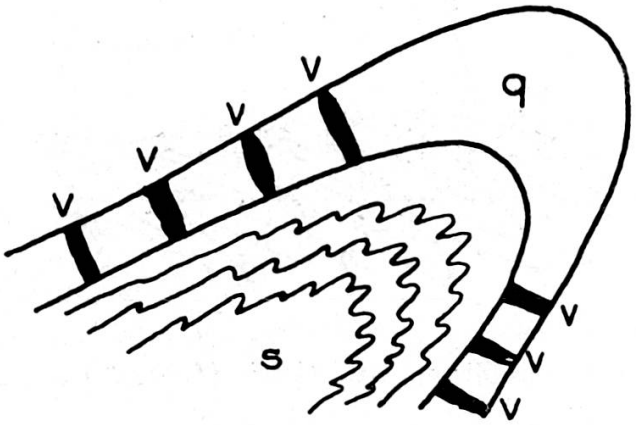

Fig. 5.

Microplis dans une charnière anticlinale.
v = veines de quartz; s = schiste; q = quartzite.
Massif d'Ambin, vallée de la Dora Riparia (Italie).

sont affectés de microplis serrés dont les plans axiaux, peu inclinés, obliques à la stratification, sont disposés exactement comme le serait un clivage normal dans un pli de ce type. M. Ellenberger m'a fait remarquer que, sur les flancs du grand pli, les microplis sont beaucoup moins développés; il doit en être ainsi théoriquement si l'on admet qu'il s'agit d'une déformation se substituant à la schistosité, et qui résulte d'un effort de compression dirigé de haut en bas.

f) Dans le cristallophyllien du massif d'Ambin, j'ai relevé l'allure d'une charnière anticlinale représentée à la figure 5: un banc de quartzite présente un renflement très apparent à la charnière; en même temps, sur les flancs du pli, ce même banc est traversé par des diaclases largement ouvertes qui

ont été minéralisées; on y voit l'indice d'un écrasement considérable accompagné d'un étirement suivant le plan axial du pli. Sous le banc quartzitique la roche est schisteuse; elle montre des chiffonnages serrés, qui tiennent incontestablement lieu de la schistosité; dans des conditions de moindre profondeur, c'est-à-dire de moindre charge, ces schistes se débiteraient en feuillets parallèles, disposés suivant le plan axial du pli [1].

g) Dans le val d'Aoste, en amont d'Arvier, dans les micaschistes passant aux gneiss, disposés en bancs redressés, j'ai observé des microplis caractéristiques, dont l'axe est peu incliné; il m'a paru que les microplis sont d'autant plus développés que l'allure générale se rapproche davantage de la verticale; cette observation est sans doute à mettre en parallèle avec celle rapportée ci-avant dans le grand pli de Champagny. En d'autres termes, le microplissement serait la conséquence, comme le montrent les figures précédentes, d'un écrasement considérable de la matière à l'intervention de sollicitations dirigées approximativement suivant la verticale.

Le phénomène de microplissement peut être observé dans toute une série de roches depuis les phyllites jusqu'aux gneiss; cette disposition est parfois amorcée dans des roches moins évoluées, où l'on constate de façon générale une schistosité de flux d'allure normale. C'est ainsi que dans le Flysch du Niesen, près du lac Lioson (au-dessus du col des Mosses), j'ai noté la disposition représentée à la figure 6: La schistosité, d'allure normale dans le banc A, est remplacée par de petits chiffonnages dans le banc B. Il s'agit en fait de microplis qui, dans ce banc de nature légèrement différente, se sont développés en place de la schistosité. Dans les deux bancs A et B, la matière a été refoulée dans la charnière du pli, mais elle

[1] J'ai signalé une disposition de ce genre dans les schistes lustrés le long de la route de Coire à Arosa: pli serré, avec veines minéralisées dans un banc de quartzite et schistosité bien apparente dans les bancs de schiste.

P. Fourmarier, « Sur quelques particularités de la schistosité », *Ann. Soc. Géol. Belg.*, t. LXXI, Bull., pp. 59 à 69, Liége, 1947.

s'y est déformée autrement, parce qu'elle n'a pas réagi de la même manière aux contraintes auxquelles elle était soumise.

La nature des roches joue certainement un rôle dans le développement du microplissement; on remarque, notamment, que les microplis sont d'autant plus petits que la roche est plus facilement déformable; ils sont de l'ordre du millimètre dans les schistes fins, de l'ordre du centimètre dans les mica-schistes, plus grands encore dans les gneiss. C'est une disposi-

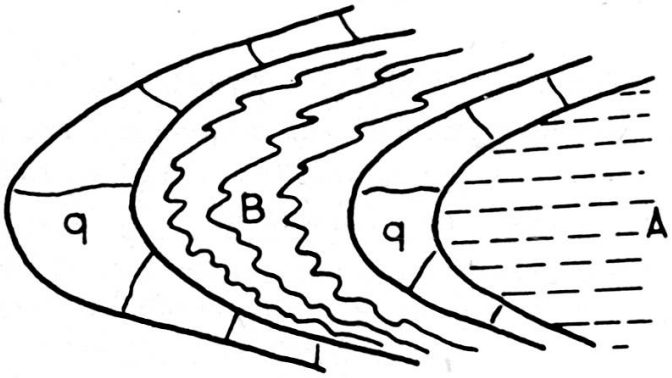

Fig. 6.

Schistosité et microplissement dans les schistes du Niesen au lac Lioson (Suisse).

A et B = bancs de schiste phylladeux; *q*, *q* = bancs de quartzite.

tion comparable à celle que montre la schistosité proprement dite, dont les feuillets sont d'autant plus épais que la roche présente plus de résistance aux efforts. Dans certains cas, la matière s'est déformée plastiquement en formant de petits plis serrés (microplis), tandis que, dans d'autres cas, elle a cédé plus facilement et des fissures se sont produites, en lieu et place de petits plis.

E. Wegmann a signalé un bel exemple de la différence de réaction des roches soumises à de tels efforts. Dans la figure 14 jointe à son mémoire cité ci-avant, des roches granitiques sont affectées de microplis, tandis qu'un filon basique est découpé par des points rappelant la schistosité, qui s'orientent comme les plans axiaux des microplis du matériel encaissant.

3. La foliation.

J'ai rappelé, au début de cette étude, le sens que je donne au terme *foliation*. Il s'agit d'un caractère propre aux séries cristallophyliennes, où la schistosité oblique s'atténue et disparaît de façon générale.

Le microplissement peut être regardé, d'après les considérations précédentes, comme un stade intermédiaire entre la schistosité vraie et la foliation, car, dans les microplis, les minéraux phylliteux épousent strictement l'allure de ces petites déformations; cependant, celles-ci s'accentuent souvent pour permettre le débitage de la roche de façon comparable à une schistosité grossière. Sous une charge suffisante, la matière, compte tenu de sa composition minéralogique, prend un état de déformabilité tel que, sous l'effort d'écrasement et d'étirement, elle ne se brise plus, mais elle se chiffonne, se repliant en quelque sorte sur elle-même pour prendre une allure en rapport avec l'espace qu'elle doit occuper.

Lorsque la profondeur augmente, en même temps que croît la température et qu'interviennent des apports éventuels, la matière cristallise plus largement en donnant naissance à de nouveaux minéraux; le développement de la cristallinité détruit alors le feuilletage oblique, voire même le microplissement.

Encore une fois, toutes ces roches ne réagissent pas de la même manière à de telles sollicitations. C'est ainsi qu'en plusieurs endroits, j'ai trouvé une schistosité oblique bien apparente: dans la vallée de la Romanche, à un kilomètre en aval de Sechillienne, j'ai observé une schistosité oblique à la stratification dans des micaschistes très redressés; j'ai noté la même disposition dans le massif du Simplon, et dans les micaschistes bordant au sud la fenêtre de la Basse-Engadine, à la sortie de Scuol; dans le cristallophyllien qui s'étend au sud de la bande houillère d'Andermatt, certains bancs de micaschistes montrent une schistosité apparente. En ce dernier point, j'ai pu me rendre compte des relations qui existent entre

schistosité, microplissement et foliation; je possède en effet un échantillon de micaschiste dans lequel la stratification est mise en évidence par la présence de minces zones de composition différente; de plus, des joints permettent le débitage en feuillets minces, obliques à la stratification; toutefois, un examen attentif, à l'aide d'une bonne loupe, permet de constater que les paillettes de mica s'infléchissent au contact des joints de clivage, amorçant ainsi une disposition caractéristique du microplissement.

Dans les gneiss, la schistosité oblique se montre beaucoup plus rarement; cependant, près de l'hospice du Grand-Saint-Bernard, j'ai noté, dans de telles roches, des traces de schistosité grossière, peu apparente il est vrai. J'ai fait une observation semblable dans les gneiss du massif de l'Aar, en face de Berglen, sur la rive gauche de la Reuss.

Dans le massif du Gothard, près de Blatter, où la foliation des gneiss est subverticale, j'ai observé que des bancs plus micacés, à l'endroit des charnières, montrent un débitage en feuillets suivant le plan axial du pli, débitage souligné par l'orientation des éléments phylliteux. C'est une disposition comparable à celle observée dans des roches moins évoluées qui ont été fortement écrasées et étirées, de manière à donner des plis isoclinaux dont les charnières seules laissent voir une schistosité normale.

Ces divers exemples montrent à l'évidence qu'il n'y a pas de limite tranchée entre les divers types de microstructure envisagés; mais de toute façon, le microplissement peut être regardé comme un stade intermédiaire entre la schistosité de flux et la foliation.

Le développement de la cristallinité par métamorphisme régional conduit à la foliation. On en trouvera la preuve dans le fait suivant: R. Balk [1] a montré que, dans le Dutchess County

[1] R. Balk, « Structural and petrologic studies in Dutchess County, New York, Part I: Geologic structure of sedimentary rocks », *Bull. Geol. Soc. of America*, vol. XLVII, pp. 685-774, New-York, 1936.
P. Fourmarier, « Essai sur la distribution, l'allure et la genèse du clivage schisteux dans les Appalaches », *Ann. Soc. Géol. Belg.*, t. LX, 1936-1937, Mém. p. 69.

(U.S.A.), le Cambrien passe latéralement à des roches cristallophylliennes accompagnées de massifs granitiques. Dans le facies normal, la schistosité est bien développée; par contre, elle disparaît dès que le stade cristallophyllien est atteint, c'est-à-dire là où les roches ont été amenées en dessous du front inférieur de schistosité. La modification ne peut être due qu'au développement de la cristallinité, notamment à l'intervention éventuelle d'apports qui ont conduit à la granitisation.

D'autres arguments peuvent encore être apportés à l'appui de ma thèse:

Dans les gneiss, à l'endroit des charnières des plis serrés, une partie des éléments cristallins est orientée parallèlement au plan axial du pli.

A Pralognan, une carrière est ouverte dans des calcaires phylliteux du Crétacé, présentant des plis serrés en divers endroits; les phyllites sont orientées parallèlement aux joints de clivage, qui suivent l'allure du plan axial des plis secondaires. Cependant, d'après M. Ellenberger, une partie de ces minéraux plats de néoformation sont disposés suivant la stratification. Les calcaires de Pralognan marqueraient ainsi un stade intermédiaire entre la foliation et la schistosité proprement dite.

Je dois faire remarquer ici que dans les calcaires, même très métamorphiques comme les cipolins, la schistosité subsiste peut être mieux que dans les gneiss et les micaschistes, malgré le développement de la cristallinité. Dans des marbres venant des Apennins, exploités par la Société Montecatini, on voit des plis serrés remarquables, en même temps qu'une schistosité soulignée admirablement par l'orientation des minéraux phylliteux. La question devra être envisagée spécialement en vue d'établir l'influence réelle de la composition originelle de la matière; on sait, en effet, que les calcaires sont en avance sur les autres roches quant à leur évolution lithologique; en outre, la schistosité s'y développe plus facilement que dans les roches arénacées.

4. Conclusions.

Des faits exposés ci-avant, il est possible de tirer des conclusions d'ordre général quant à la production du feuilletage des roches:

De la surface vers la profondeur, on rencontre successivement:

a) une *zone sans schistosité*, limitée à sa base par le front supérieur de schistosité;
b) une *zone à schistosité de fracture*, où l'évolution lithologique est peu avancée;
c) une *zone à schistosité de flux*, où l'évolution est plus marquée, avec développement des phyllades. Elle est limitée à sa base par le front inférieur de schistosité;
d) une *zone à microplissement*, où les roches argileuses sont devenues des séricitoschistes, des chloritoschistes, voire même des micaschistes;
e) une *zone à foliation proprement dite* au sein de laquelle on observe encore des restes de schistosité et de microplissement; c'est la zone des micaschistes et des gneiss, voire des migmatites.

Il est vraisemblable que, dans cette dernière zone, le métamorphisme régional, dû à l'augmentation de la température et aux apports éventuels avec actions de métasomatose, ajoute son influence aux actions mécaniques; la cristallinité augmente et la foliation devient prédominante; il subsiste parfois des traces de clivage oblique à la stratification, qu'il s'agisse d'un clivage résiduel ou d'un feuilletage plus facile eu égard à la nature de la roche [1].

[1] Je rappellerai que la schistosité de flux résulte de l'intervention de deux facteurs: les actions dynamiques et la recristallisation. Les auteurs ont donné plus d'importance tantôt à l'un tantôt à l'autre de ces facteurs. L'action dynamique intervient pratiquement seule dans la genèse de la schistosité de fracture; la recristallisation intervient largement dans la schistosité de flux; elle prend de plus en plus

Les profondeurs auxquelles ces limites sont atteintes, c'est-à-dire la charge nécessaire, sont encore imprécises; elles dépendent de la nature des roches et de l'intensité des efforts; dans certains cas l'étirement, dû à l'écrasement, est tel que les schistes se feuillettent parallèlement à la stratification, sauf dans les charnières des plis isoclinaux.

J'ai estimé à 5.000 à 6.000 mètres la profondeur à laquelle se trouve, de la façon la plus normale, le front supérieur de schistosité. Je n'ai pas encore pu recueillir des données suffisantes pour fixer la profondeur normale du front inférieur de schistosité; il me paraît correspondre approximativement au sommet de l'épizone.

J'ai déjà attiré l'attention sur la précarité de ces évaluations. Je rappellerai que, dans les chaînes côtières de Californie, j'ai visité une coupe dans le Tertiaire où la schistosité n'apparaît que sous une charge statique estimée à 15.000 mètres par les géologues du pays, mais qui est probablement quelque peu inférieure, par exemple de l'ordre de 10.000 mètres. Par contre, sous la direction de M. J. Fontboté Musolas, de l'Université de Barcelone, j'ai visité récemment la vallée de Ribes sur le versant espagnol des Pyrénées orientales. Le front supérieur de schistosité, dans les terrains secondaires et tertiaires, paraît être là à une profondeur qui ne semble pas pouvoir être estimée à plus de 3.000 à 3.500 mètres, mais il est difficile de reconstituer la charge réelle qui existait au moment du plissement. De toute manière, la charge a vraisemblablement été inférieure à la moyenne observée en d'autres régions même très plissées.

d'importance au fur et à mesure qu'augmente la charge, c'est-à-dire la profondeur.

Comme l'écrit C. O. Swanson (« Flow cleavage in folded beds », *Bull. Geol. Soc. of America*, vol. 52, pp. 1245-1264, 1er août 1941): « A un degré élevé de métamorphisme, la schistosité est remplacée par la structure gneissique, grâce à la haute température qui facilite les ruptures (shearing), et aussi parce que les minéraux en paillettes ou en aiguilles, caractéristiques d'une évolution moins avancée, font place à des minéraux d'une tout autre forme. »

De son côté, E. Wegmann a montré que dans des roches gneissiques, des minéraux de néoformation se sont développés en se disposant suivant la stratification originelle. Il en a conclu que cette recristallisation s'est opérée après l'achèvement du plissement.

M. Fontboté a aussi attiré mon attention sur un fait d'une importance capitale:

Dans le haut-bassin du Ter (Pyrénées catalanes), il existe une série concordante comprenant au sommet des séricito-schistes, chloritoschistes et phyllades avec intercalations de calcaires, calcschistes et dolomies, et, à la partie inférieure, des gneiss où l'on distingue successivement, de haut en bas, des

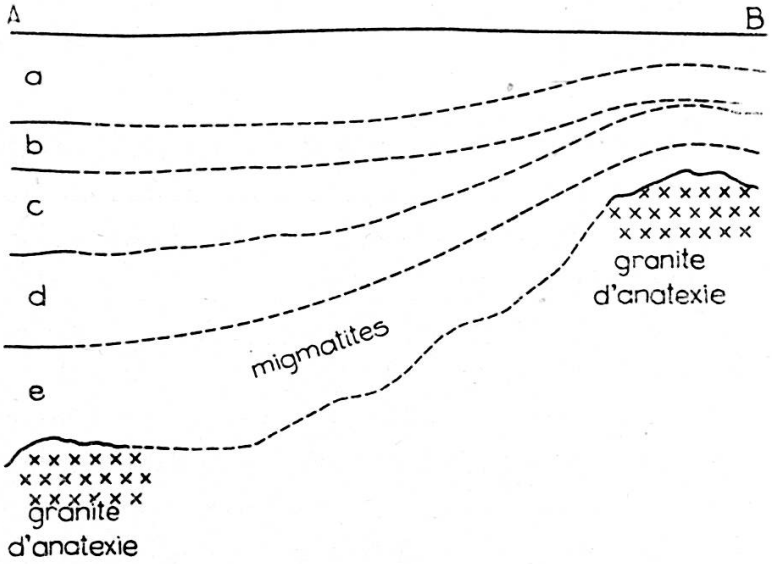

Fig. 7.

Les zones de microdéformation (*a*, *b*, *c*, *d*, *e*) et la présence du granite d'anatexie.

embréchites bien litées, des embréchites œillées, des anatexites et enfin le granite.

Les échantillons de séricitoschistes qu'il m'a été donné d'examiner présentent des microplis caractéristiques comparables à ceux des régions alpines que j'ai visitées. Or, d'après M. Fontboté, ces roches microplissées se rencontrent presque immédiatement sous la zone à schistosité de fracture. Les zones d'isométamorphisme sont indépendantes de la stratification et il en est de même du front des migmatites qui monte relativement très haut; là où il s'approche le plus de la surface, l'épaisseur des migmatites est très faible et le granite d'ana-

texie reste à quelques centaines de mètres du front des migmatites [1].

On pourrait provisoirement dresser le croquis de la figure 7 montrant les relations entre les zones distinguées ci-dessus et la formation du granite d'anatexie.

De nouvelles observations sont nécessaires pour mettre au point les relations entre les régions A et B. S'il était démontré que l'interprétation schématisée dans la figure 7 est bien correcte, il faudrait peut être faire intervenir un facteur supplémentaire dans le développement de la schistosité et du microplissement: l'influence calorifique et chimique qui conduit à la formation du granite.

[1] J. M. Fontboté, « Observations au sujet du métamorphisme dans le haut-bassin du Ter (Pyrénées catalanes) », *C. R. S. Soc. Géol. France*, séance du 21 février 1949.