

ANOMALIES APPARENTES DANS LE DÉVELOPPEMENT
DE LA SCHISTOSITÉ AUX CHARNIÈRES DES PLIS (*)

par P. FOURMARIER

(10 figures dans le texte)

Les géologues accoutumés aux études dans les pays à tectonique complexe, où l'érosion a accompli largement son œuvre, savent que le clivage schisteux (schistosité) est en relation étroite avec le plissement à condition que celui-ci se soit fait sous une charge statique suffisante. Cette observation a conduit à la notion du *front supérieur de schistosité*. Toutefois, il est bien établi actuellement qu'à l'intervention de la granitisation, ce niveau-limite puisse se situer à une profondeur beaucoup moindre sous la surface que dans les conditions normales (1).

D'autre part, les tectoniciens n'ont pas manqué d'être frappés par la relation étroite existant entre la disposition du clivage et la forme des plis. C'est ainsi que dans les plis ouverts, la disposition dominante du feuilletage oblique à la stratification est en éventail symétrique par rapport à l'axe du plis. Par contre, dans les plis serrés, le clivage à la charnière suit l'allure du plan axial (clivage de plan axial ; en outre, par le fait du serrage, la matière schisteuse a été refoulée dans la charnière tandis qu'elle était étirée sur les flancs. L'intercalation d'un banc très mince dans le schiste, tel du grès, du quartzite, du calcaire, donne une excellente idée de l'orientation des efforts, car à la charnière ce lit mince est affecté d'une série de plis minuscules marquant l'intervention d'une compression dirigée suivant la perpendiculaire au plan axial (figure 1) (2).

Dans le cas du pli représenté à la figure 1, dont il existe de nombreux exemples dans les séries plissées, les déformations mineures semblent s'être développées au maximum à la charnière même où les bancs les plus déformables sont renflés et se débitent en feuillets parallèles au plan axial du pli.

Cette observation ne fait que confirmer la règle, généralement acceptée, que les feuillets de clivage sont disposés normalement à l'effort qui a provoqué le plissement des couches sédimentaires ; c'est là que se trouve l'explication du fait de l'étroite relation entre le clivage des schistes et la disposition du plan axial des plis.

Ces données sont exposées dans les traités classiques de Géologie, ou plus spécialement de tectonique.

Toutefois, dans les ouvrages que j'ai consultés, je n'ai pas trouvé d'indications

(1) Voir à ce sujet : P. FOURMARIER et A. PELHATE, La profondeur originelle du front supérieur de schistosité à l'endroit du bassin de Laval (massif armoricain). *C. R. Acad. Sc. Paris*, séance 2 septembre 1968.

(2) P. FOURMARIER, Schistosité et forme des plis. *Ann. Soc. Géol. Belgique*, t. 79, *Bull.* 1956.

(*) Communication présentée durant la séance du 8 octobre 1968. Manuscrit déposé à la même date.

sur les anomalies marquées par un développement très inégal du clivage à l'emplacement des charnières des plis.

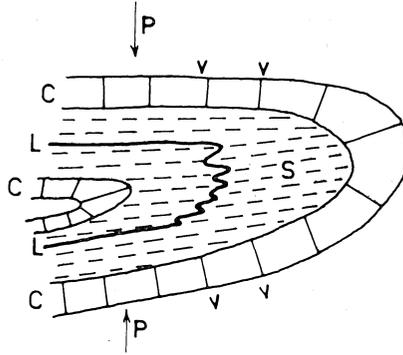


Fig. 1. — Charnière d'un pli serré avec renflement d'un banc schisteux, clivage de plan axial et chiffonnages d'un banc mince plus résistant intercalé dans le schiste.

J'ai revu notamment le beau mémoire de G. Wilson sur les déformations mineures des roches, publié par la Société géologique de Belgique en 1961 (1).

J'ai consulté également des travaux récents de nos collègues russes. L'un de ces savants, M^{me} Kirilova a publié en 1966 un article en vue d'établir que le clivage des roches peut être un indicateur précieux pour préciser le sens du mouvement des masses en présence durant une phase de plissement (2).

Dans ce travail, d'excellents croquis montrent l'allure du clivage à l'endroit des plis. Je n'y ai vu cependant aucun exemple des particularités du clivage dans les charnières des plis dont il va être question dans le présent travail.

Cette nouvelle étude a simplement pour objet d'attirer l'attention sur certaines particularités de la schistosité qui semblent avoir échappé à la plupart des observateurs.

Mes études sur le terrain m'ont permis de constater qu'il existe diverses exceptions à la règle générale, notamment à l'emplacement des charnières des plis, particularités dont l'explication peut jeter quelque lumière sur la genèse du clivage schisteux (3).

* * *

Je vais procéder tout d'abord à l'examen de quelques cas particuliers que j'ai eu l'occasion d'étudier sur le terrain.

(1) G. WILSON, The tectonic significance of small scale structures and their importance to the geologist in the field. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, t. 84, 1961.

(2) L. V. KIRILOVA, Cleavage as an indicator of the character of Mass movement during the Folding Process, in *Folded deformations of the Earth's crust. Their types and origin*. Collection de travaux publiés sous la direction de V. V. Belousov et A. A. Sorskii. Israel program for scientific translations. Jérusalem, 1966.

(3) Voir à ce sujet : P. FOURMARIER, L'intérêt de l'étude des déformations mineures des roches pour la compréhension de l'évolution tectonique d'une série plissée. *Revue des questions scientifiques*, t. XXVI, Octobre 1965.

En 1939, j'ai fait connaître une de ces particularités du clivage schisteux dans le Dévonien supérieur (étage frasnien) de la vallée de la Vesdre, à la sortie ouest de la localité de Pepinster, par la route de Liège. On se trouve là en présence d'une couche de schiste calcaireux intercalée entre des bancs de calcaire. Les couches sont courbées en un anticlinal surbaissé à tendance légère de déversement vers le nord sans indice d'écrasement ni de refoulement de matière schisteuse à la charnière (1).

Au flanc sud de ce pli, le banc de schiste calcaireux est affecté d'un clivage bien apparent, la roche se débitant en feuillets grossiers inclinant de 45 degrés environ vers le sud ; un tel feuilletage n'existe plus à la charnière là où les bancs prennent l'inclinaison nord ; mais le clivage se montre à nouveau dès que les bancs du flanc nord du pli prennent par renversement un pendage sud.

C'est donc uniquement à l'endroit de la charnière même que le clivage fait défaut.

En 1944 (2), j'ai fait connaître une disposition très semblable dans les schistes et calcaires frasniens des environs d'Agimont (Entre-Sambre-et-Meuse).

A cet endroit, les bancs dessinent une voûte surbaissée, d'allure tranquille ; dans le style tectonique de la région, les plis sont déjetés ou déversés vers le nord.

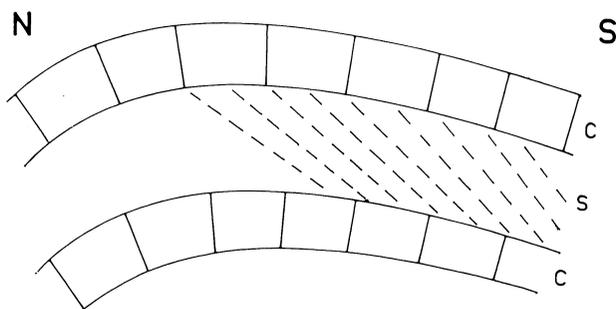


Fig. 2. — Coupe dans le Frasnien à Agimont.
s = schiste calcaireux ; c = calcaire.

A l'affleurement observé, on note la présence de bancs de calcaire argileux, alternant avec des bancs de calcaire. Sous l'action des efforts tectoniques, un clivage grossier a pris naissance dans les bancs de nature plus argileuse du flanc sud peu incliné de l'anticlinal ; par contre le flanc nord, à l'endroit de la charnière est resté indemne et le débitage de la roche s'y opère uniquement suivant un réseau de diaclases très semblable à celui qui existe dans le calcaire de part et d'autre de la charnière. C'est tout au plus si quelques joints donnent l'impression d'être du type des joints de clivage tels qu'ils apparaissent au flanc sud du pli.

Les deux cas particuliers dont je viens de rappeler la structure appartiennent au versant méridional d'un synclinorium : massif de la Vesdre d'une part, versant sud du bassin de Dinant d'autre part. Je m'empresse d'ajouter que j'ai observé la même anomalie au versant nord de ce dernier, dans la belle coupe de la rive gauche de l'Ourthe entre Fêchereux et Hony. On y voit les couches de calcaire et de schiste

(1) P. FOURMARIER, La schistosité dans le massif de la Vesdre. *Assoc. franç. Avant des Sciences*, Congrès de Liège, 1939.

(2) P. FOURMARIER, Sur une particularité de la schistosité dans les calcaires dévoniens de l'Entre-Sambre-et-Meuse. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, t. 67, *Bull.* 1943-1944.

de l'étage frasnien dessinant des plis en chaise, avec tendance au déversement vers le sud. Cette allure est représentée à la figure 3.

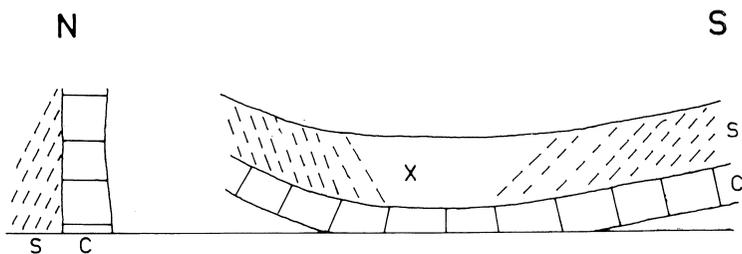


Fig. 3. — Allure du Frasnien entre Fêchereux et Hony.
c = calcaire ; s = schiste ; x = zone sans clivage dans un banc schisteux.

Dans les bancs schisteux redressés de la partie septentrionale de la coupe représentée, se voit un clivage schisteux bien apparent à forte inclinaison vers le nord. Dans la partie sud de la coupe, les couches sont peu inclinées mais dessinent une large allure synclinale. A la charnière même de cette ondulation, le clivage n'a pas pu prendre naissance tandis qu'il existe sur les deux versants à peu de distance du changement de courbure.

Dans la même région, à Streupas, dans la tranchée de la route de la rive gauche de l'Ourthe, j'ai observé un beau pli secondaire quelque peu déversé vers le sud, dans les grès et schistes de l'Emsien supérieur. Je l'ai représenté à la figure 4.

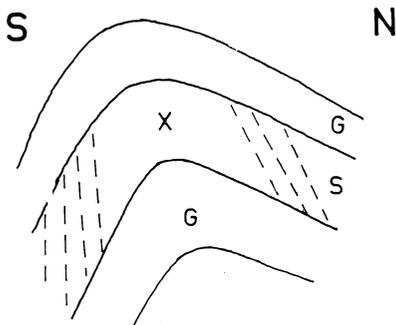


Fig. 4. — Pli secondaire dans l'Emsien supérieur à Streupas.
s = schiste ; g = grès ; X = zone sans clivage à la charnière du pli.

Dans un banc schisteux compris entre deux bancs de grès, se voit une belle schistosité de fracture, affectant les deux flancs du pli ; les feuilletés sont disposés en un éventail serré dont l'axe se confond avec le plan axial du plis. Par contre, à l'emplacement même de la charnière, le clivage fait défaut.

Cette disposition est à rapprocher de celles signalées dans les cas concrets décrits ci-avant.

Une conclusion s'impose : le défaut de schistosité à l'endroit des charnières ne dépend pas de la grande tectonique mais de causes locales.

Pour montrer qu'il s'agit en l'occurrence d'un phénomène très général je

voudrais rappeler deux observations que j'ai eu l'occasion de faire en dehors du territoire belge.

Dans mon étude sur la schistosité dans les Appalaches ⁽¹⁾ j'ai donné le croquis d'une coupe locale relevée le long de la route de New-Market à Luray. On se trouve là en présence d'un synclinal dont la zone axiale est formée par une grosse masse de grès d'âge gothlandien, reposant sur les schistes de l'Ordovicien ; ce pli est légèrement déjeté vers le nord-ouest. Sur les deux flancs de ce synclinal, le clivage est bien développé dans les schistes, inclinant au Sud-est de 40 à 45 degrés sur le flanc nord-ouest et de 55° dans le même sens sur l'autre flanc du pli.

Par contre à l'endroit de la charnière synclinale, le clivage fait entièrement défaut. C'est bien là une disposition identique à celle signalée ci-avant pour une série de plis observés en Belgique (voir figure 5).

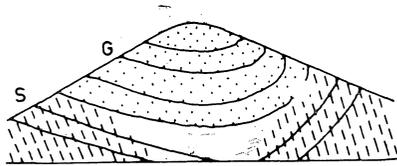


Fig. 5. — Coupe entre New Market et Luray.
g = grès gorhlandien ; s = schiste ordovicien.

Je crois utile de signaler encore ici un bel exemple de la même disposition que j'ai eu l'occasion d'observer au cours de l'excursion transsibérienne organisée en 1937 à l'occasion de la session de Moscou du Congrès géologique international.

Après avoir traversé la dépression aux terrains récents de la Sibérie occidentale, on atteint le Paléozoïque du massif sibérien, dont les terrains sont plissés.

A proximité de la station de Mundybash, du chemin de fer transsibérien, j'ai relevé la coupe de la figure 6 dans les terrains de la série de Telbess, appartenant au Dévonien moyen. Dans la partie sud-ouest de la coupe, les couches sont fortement redressées, inclinant au sud-ouest. Les bancs schisteux (grauwacke) sont affectés d'un clivage grossier sensiblement vertical. En progressant vers le nord-est, on voit les couches s'infléchir lentement pour amorcer une disposition en une large voûte très surbaissée ; en même temps, la schistosité disparaît, mais dans un banc gréseux, on remarque la présence de joints de même orientation que le clivage, mais rappelant davantage les diaclases ; chose curieuse, ces joints se sont légèrement entr'ouverts sous l'action des efforts qui les courbait en large voûte ; ils ont été par après remplis par une mince intercalation de calcite.

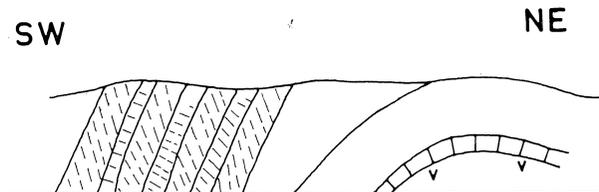


Fig. 6. — Coupe dans la série de Telbess, près de la station de Mundybash.

⁽¹⁾ P. FOURMARIER, Essai sur la distribution, l'allure et la genèse du clivage schisteux dans les Appalaches. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, t. 60, *Mém.*, 1936.

Je pourrais citer encore plusieurs dispositions de ce genre que j'ai eu l'occasion d'observer. Les quelques exemples décrits suffisent à montrer que le défaut de schistosité aux charnières des plis n'est pas un phénomène local ; il se trouve en de nombreux endroits dans les régions plissées.

* * *

Il convient maintenant de rechercher la cause de cette particularité.

Dans mon mémoire sur les Appalaches mentionné ci-avant, j'ai proposé une explication pour la coupe relevée le long de la route de New-Market à Luray. A cette époque, j'ai attribué la cause de la disposition observée au mouvement relatif de la masse de grès à partir de la charnière, son glissement sur les schistes encaissants produisant un entraînement de la matière schisteuse et son débitage en feuillets de clivage.

Actuellement, devant la généralité du phénomène décrit, je crois préférable de proposer une explication quelque peu différente.

Si l'on se reporte à la figure 1, montrant la disposition du clivage schisteux dans un pli fortement écrasé, on voit que la direction de l'effort est perpendiculaire au feuilletage des schistes, comme on l'admet, d'ailleurs, très généralement, ce que confirme le chiffonnage du banc mince résistant intercalé dans le schiste.

On imagine aisément qu'un banc résistant, relativement épais, tel un banc de grès ou de quartzite ne se comporte pas comme un lit. A la charnière même, il constitue un obstacle à la propagation de l'effort de poussée et le clivage ne peut se faire normalement, ou tout au moins ne se produit que de façon imparfaite alors que sur les flancs du pli, rien n'arrête l'effort d'écrasement ; il n'y a plus, comme à la charnière, un obstacle à l'écrasement et au laminage du schiste.

Telle est l'explication que je crois pouvoir proposer pour le type d'anomalies du clivage dont j'ai décrit divers cas particuliers, marqués tous par une déficience du clivage à l'endroit de charnières de plis.

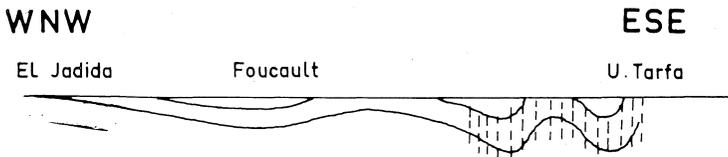


Fig. 7. — Coupe dans le Cambrien-Ordovicien du Maroc, d'après A. Michard.

A l'appui de ma thèse, je mentionnerai les observations de M. André Michard dans le Cambrien-Ordovicien du Maroc (1). Une coupe orientée WNW-ESE laisse voir le contact entre une zone plissée et une zone où les couches de même âge sont subhorizontales ou légèrement ondulées. Dans la première partie, les couches dessinent deux plis synclinaux à axe sensiblement vertical ; les niveaux schisteux y sont marqués par un clivage vertical. Par contre, dans la partie de la coupe où les terrains ne sont que très légèrement ondulés, le clivage fait défaut, bien qu'il s'agisse du même horizon stratigraphique.

(1) A. MICHARD, Plissement concentrique, plissement syn-schisteux et granitisation dans le Cambro-Ordovicien des Rehanna occidentaux. *C. R. som. séances Soc. géol. de France*, 1967, fasc. 8.

Si l'on en juge d'après la forte inclinaison du clivage dans la partie plissée, la déformation s'est faite à l'intervention d'une poussée dirigée suivant l'horizontale. Là où les terrains n'ont réagi que de façon très modérée à cette poussée, on peut admettre que par leur allure même, les bancs ont constitué un obstacle à la propagation des efforts, car ils étaient disposés normalement au sens de la poussée.

C'est bien un cas analogue, mais à grande échelle, à ceux décrits ci-avant.

Ceci me conduit à ajouter quelques précisions à ce que j'ai dit ci-avant de la coupe relevée le long du Transsibérien dans la série de Telbess. A l'endroit de la voûte surbaissée qu'esquisse un banc de grès, j'ai fait remarquer que ce banc est découpé par des joints normaux à la stratification, qui rappellent l'aspect de diaclases dans la coupe transversale mais qui sont orientées parallèlement au clivage des terrains voisins en bancs redressés. Je pense que, par suite de l'effort de compression qui a provoqué la courbure de ce banc en une voûte surbaissée, la couche de grès s'est fissurée et que les joints ainsi formés ont eu tendance à s'ouvrir vers le haut, ce qui a facilité leur remplissage par de la calcite provenant des terrains encaissants.

* * *

La profondeur à laquelle se font les plis sous le niveau-repère du front supérieur de schistosité joue aussi un rôle en la matière.

A une profondeur marquée sous ce niveau, je n'ai pas trouvé jusqu'à présent de cas typique de l'absence du clivage dans les charnières des plis. Par contre à proximité ou à distance modérée de ce front, j'ai relevé maints exemples de l'absence de la schistosité pour des changements minimes dans l'allure des bancs.

A titre d'exemple, je reproduis ci-après (fig. 8) une coupe relevée au niveau du macigno de Souverain-Pré (sommet du Famennien inférieur) à l'est de Pepinster dans le massif de la Vesdre.

On y voit que le clivage existe seulement sur l'un des deux flancs de l'ondulation décrite par les bancs, c'est-à-dire sur le flanc sud, tandis qu'il n'existe pas sur l'autre versant du pli.



Fig. 8. — Pli synclinal avec clivage schisteux sur un seul flanc
Dévonien supérieur (assise de Souverain-Pré) massif de la Vesdre.
Le clivage ne se voit que dans les bancs à pendage sud.

Dans les terrains situés à un niveau nettement inférieur de la série stratigraphique, dans le même massif, je n'ai pas pu faire d'observation de cette nature.

On trouverait facilement dans les terrains paléozoïques de notre pays, de nombreux exemples pour illustrer cette règle approximative et mettre ainsi en évidence le rôle du front supérieur de schistosité au-dessus duquel les schistes semblent perdre leur aptitude à se débiter en feuillets obliques à la stratification. Ceci revient à dire que sous une pression suffisante et un certain accroissement de la température, les roches acquièrent, du point de vue des déformations mineures des propriétés nouvelles.

On conçoit qu'un tel changement ne peut pas être brusque ; il peut suffire parfois d'une variation minime dans la constitution lithologique ou d'un léger changement dans l'inclinaison des bancs, pour que le clivage schisteux se produise ou ne se forme pas. J'en ai trouvé de beaux exemples dans le Dévonien supérieur du massif de la Vesdre, à peu de distance sous le front supérieur de schistosité, tel celui représenté à la figure 8.

Bien que les bancs ne soient affectés que d'ondulations peu accentuées, la différence d'inclinaison a néanmoins déterminé un changement tel dans les conditions de sollicitation que le clivage n'a pas pu se former dans les parties à pendage nord.

Par contre, dans les zones profondes, ainsi que je l'ai déjà signalé, je n'ai pas observé de telles anomalies à l'endroit des charnières. Toutefois, je crois utile de signaler une particularité que j'ai observée au sud d'Eupen dans le Gedinnien du massif de la Vesdre.

Sur la rive droite de la Helle, à peu de distance au sud du bassin de natation, on peut observer un tel anticlinal dans les schistes rouges avec bancs noduleux et bancs de grès du Gedinnien supérieur. Le flanc sud du pli incline de 30 degrés au sud, mais sa pente diminue progressivement à l'approche de la charnière au point qu'en cet endroit, les bancs sont presque horizontaux. Les couches du versant nord, légèrement renversées inclinent au sud de 80 degrés.

Jusqu'à proximité immédiate de la charnière, les schistes du flanc sud du pli sont affectés par un clivage très développé inclinant de 50 degrés vers le sud. Dans les mêmes couches du flanc nord, le clivage a la même allure, mais la densité des joints y est nettement moindre (fig. 9).

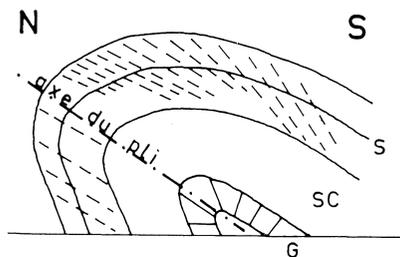


Fig. 9. — Vallée de la Helle. Clivage schisteux de densité inégale sur les flancs d'un pli légèrement déversé vers le nord.

On notera que le plan axial de ce pli incline de 40 à 50 degrés vers le sud et que le clivage, bien que de densité inégale affecte les bancs de schiste non seulement sur les deux flancs, mais aussi à l'endroit de la charnière.

Ces données relevées en Belgique suffisent à mettre en évidence la différence dans le développement du clivage schisteux dans les flancs d'un pli à sa charnière suivant qu'il s'agit d'un niveau proche du front supérieur de schistosité ou de roches ayant évolué à plus grande profondeur, c'est-à-dire sous une charge plus considérable.

Dans la coupe relevée au sud d'Eupen, le clivage s'est formé à la charnière tout aussi bien que sur les deux flancs. Seule la densité des joints varie d'un versant à l'autre, comme si le flanc nord était en retard par rapport à l'autre du point de vue des déformations mineures.

Je voudrais montrer par un autre exemple combien la question de la genèse

du clivage schisteux peut être complexe. Je reprendrai, à ce propos, une coupe de détail dont j'ai déjà parlé dans un travail antérieur ⁽¹⁾.

Les « schistes lustrés » qui affleurent au sud de Coire (Suisse) sont fortement plissés et l'on y voit de beaux exemples de plis déversés. Dans la charnière de l'un de ces plis, un banc épais de schiste phylladeux laisse voir un beau clivage inclinant faiblement au sud, suivant la règle générale dans cette partie des Alpes. Un banc de grès surmontant la masse schisteuse épouse l'allure de la charnière du pli déversé vers le nord. A l'endroit de la charnière même, ce banc de grès est quelque peu renflé. Sur les deux flancs du pli, ce même banc est découpé par des diaclases régulièrement espacées, plus apparentes sur le flanc normal que sur le flanc renversé. Ces diaclases se sont élargies et ont été minéralisées en quartz ; on verra là la preuve que, lors du plissement, le banc de grès a été soumis à un effort d'étirement alors que le schiste sous-jacent a été refoulé vers la charnière et se débitait en feuillets de clivage parallèles au plan axial (fig. 10).

Sur le flanc inverse du pli, le même banc de grès laisse voir une disposition très semblable, mais un peu moins accusée.

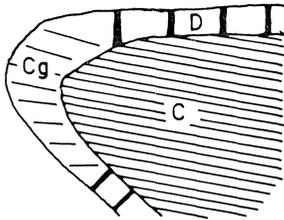


Fig. 10. — Coupe dans les « schistes lustrés »
au sud de Coire (Suisse).

C = clivage (schiste) ; Cg = clivage (grès) ; D = diaclases minéralisées.

Dans la charnière même, le grès se feuillette suivant un clivage grossier parallèle à celui du banc de schiste.

On se trouve ici en présence d'une disposition tout autre que celle décrite pour les charnières des plis de régions situées à proximité du front supérieur de schistosité ; la schistosité a pris naissance dans un banc de grès à la charnière du pli alors que sur les flancs de ce pli le même banc en est exempt. Il est utile de faire remarquer à ce propos qu'au sud de Coire l'évolution des roches du point de vue lithologique est plus avancée qu'elle ne l'est dans le Gedinnien au sud d'Eupen. On se rend compte par là de l'influence de la profondeur ou, si l'on préfère, du degré d'évolution des roches affectées par le plissement.

Je voudrais profiter de ces quelques indications sur la disposition des déformations mineures dans le pli déversé des schistes lustrés pour rappeler le schéma classique du pli en S, avec flanc inverse étiré, qui donne bien l'impression de la mise en jeu d'efforts tangentiels. Le croquis de la figure précédente permet de voir qu'il ne peut en être ainsi ; en effet l'étirement du banc gréseux comme le feuilletage des schistes tels qu'ils y sont représentés ne peuvent résulter que d'efforts d'écrasement orientés suivant la verticale ; les veines élargies sont particulièrement nettes sur le flanc

⁽¹⁾ P. FOURMARIER, Sur quelques particularités de la schistosité. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, t. 71, *Bull.* 1947-1948.

supérieur du pli, là où l'application d'un effort suivant l'horizontale aurait dû provoquer un serrage des joints et non pas leur élargissement.

Les déformations du banc de grès comme la disposition du feuilletage dans les schistes s'accordent au contraire pour indiquer l'intervention d'un effort suivant la verticale.

Je m'empresse d'ajouter que la présente note n'a d'autre ambition que d'attirer l'attention sur quelques particularités de la tectonique mineure en terrains plissés. Je souhaite néanmoins qu'elle suscite des études plus complètes pour une meilleure compréhension de la genèse des dislocations de la croûte terrestre.

DISCUSSION

M. P. MICHOT fait observer que dans le Dévonien moyen au bord S du synclinorium de Dinant, les schistes dans la partie axiale des plis présentent par contre fréquemment un débitage en baguettes. A quelle cause pourrait-on attribuer cette différence de comportement ?

Réponse de M. FOURMARIER :

A la limite des zones de schistosité, le débitage des schistes s'opère généralement en baguettes et non pas en feuillets. Le cas cité par M. Michot est conforme à cette règle puisque, à l'endroit des charnières des plis, il y a tendance à la disparition du clivage schisteux. On conçoit aisément que celui-ci puisse être remplacé par le débitage en baguettes soit dans une partie de la charnière, soit sur toute sa largeur.