

Pétrographie de quelques shales de l'Aalénien de l'Helvétique et de l'Ultrahelvétique

Autor(en): **Massaad, Massaad**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles**

Band (Jahr): **71 (1971-1973)**

Heft 341

PDF erstellt am: **22.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-276312>

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.

Pétrographie de quelques shales de l'Aalénien de l'Helvétique et de l'Ultrahelvétique

PAR

MASSAAD MASSAAD ¹

Résumé. — L'Aalénien et parfois certains étages voisins sont formés de schistes noirs argileux (*black shales*) contenant des concrétions et parfois des ammonites. L'analyse chimique et minéralogique montre que leurs constituants principaux sont : le quartz, la chlorite, l'illite et pour certains, des interstratifiés. La pyrophyllite, la pyrite, la calcite, la sidérite et l'ankérite sont présentes avec des taux faibles et variables. L'étude de la cristallinité de l'illite et des paragenèses minérales permet de placer ces shales vers la fin de la diagenèse, près de l'anchimétamorphisme. L'anchizone étant, selon la définition d'ESQUEVIN et KUBLER, la zone de transition entre la diagenèse et le métamorphisme, caractérisée par le faciès à « illite et chlorite ».

INTRODUCTION

Malgré le fait que les shales soient les plus abondants parmi les roches sédimentaires, ils ont été relativement mal connus surtout à cause des difficultés que leur étude présente : difficulté de leur examen microscopique due à la petite taille des minéraux, et difficulté de l'interprétation des résultats des analyses chimiques. Ces shales présentent un intérêt particulier à cause de leur relation avec le métamorphisme alpin et de leur composition minéralogique.

Les 50 échantillons étudiés ont été prélevés dans 7 régions : Passy (près de Sallanches), Col du Pillon, Arbaz, Mayens de My, Mayens de Chamoson, Crans et Lauenen. Les prélèvements ont été effectués dans les zones les moins altérées possibles : parois découpées par des torrents ou fraîchement ravalées.

Le terme shale a été utilisé par TWENHOFEL (1950) pour désigner les argiles fissiles ou laminées. Les shales de l'Aalénien sont noirs, lamellaires, à patine grise ou brune, se débitant en feuillets minces, imperméables à l'eau et ne faisant pas pâte avec elle.

¹ Institut de Minéralogie de l'Université, Palais de Rumine, Lausanne (Suisse).

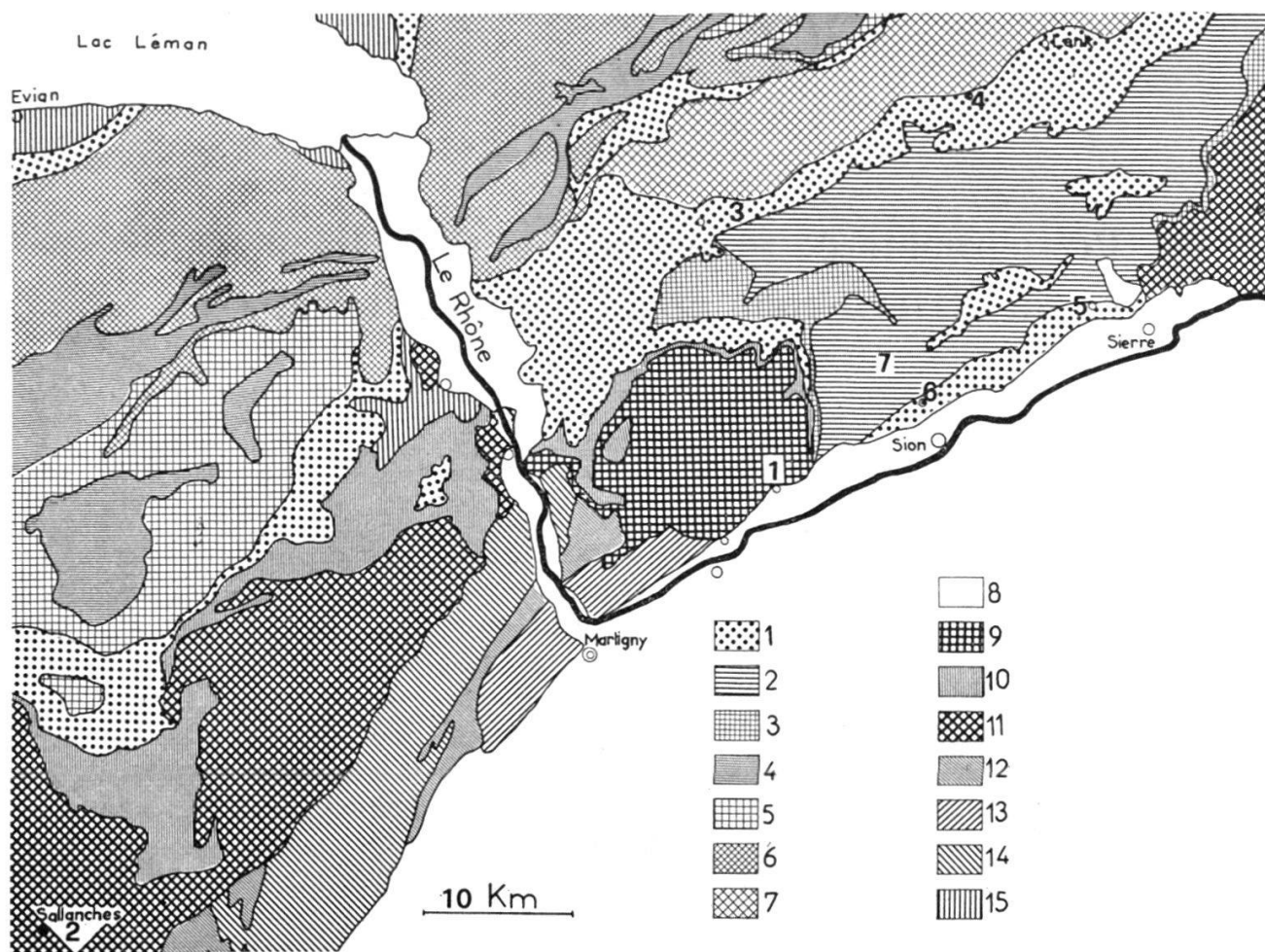


Fig. 1. — Situation géologique des échantillons

Localités :

- 1 : Chamoson
- 2 : Sallanches
- 3 : Col du Pillon
- 4 : Lauenen
- 5 : Crans
- 6 : Arbaz
- 7 : Mayens de My

Unités géologiques :

- 1 : Ultrahelvétique
- 2 : Nappe du Wildhorn
- 3 : Nappe des Diablerets
- 4 : Nappe de la Simme
- 5 : Nappe de la Brèche
- 6 : Nappe des Préalpes médianes
- 7 : Nappe du Niesen
- 8 : Quaternaire
- 9 : Nappe de Morcles-Doldenhorn
- 10 : Tertiaire Autochtone et Parautochtone
- 11 : Mésozoïque Autochtone et Parautochtone
- 12 : Carbonifère
- 13 : Massif de l'Arpille
- 14 : Massif des Aiguilles Rouges
- 15 : Molasse

La surface fraîche des lamelles montre des taches blanches luisantes de « séricité » qui est en réalité une illite.

Les affleurements aaléniens sont rarement à leur place initiale. Ils sont souvent glissés, ce que facilite leur nature minéralogique et leur disposition structurale.

1. TECHNIQUES D'ÉTUDE

1.1 *Examen sous le microscope*

La faible dimension des grains rend l'étude des lames minces et des surfaces polies des shales peu fructueuse, et impossible l'identification des minéraux argileux. Le taux de quartz détritique varie entre 10 et 20 %. Le quartz authigène est généralement très fin et difficile à observer. La calcite et les autres carbonates ne sont bien visibles que dans les veines. Les minéraux accessoires comprennent l'apatite, la pyrite, la tourmaline, le zircon et le stilpnomélane. Les plagioclases sont rares et difficiles à identifier.

1.2 *Analyse thermique différentielle*

Elle permet de préciser la nature des chlorites de certains échantillons.

1.3 *Diffraction des rayons X*

C'est la méthode de choix pour l'étude minéralogique des roches finement cristallisées. Elle permet l'analyse minéralogique qualitative et quantitative des shales et la mesure de la cristallinité de l'illite. L'estimation de la composition a été faite par comparaison avec des mélanges artificiels de composition semblable à celle des shales étudiés. Les minéraux phylliteux ainsi que la cristallinité de l'illite ont été étudiés sur des préparations orientées de la fraction argileuse obtenue par décarbonatation de la poudre par HCl (0,1 N), lavage à l'eau déminéralisée, défloculation par NH₄OH (0,1 N), lavage à l'eau et dépôt de la fraction argileuse inférieure à 2 μ sur 3 lames de verre dont une a été glycolée, une autre chauffée à 500°C pendant 2 h. et la troisième étudiée sans traitement.

2. RÉSULTATS

La technique d'analyse par diffraction des rayons X utilisée pour la détermination de la composition minéralogique présente deux avantages : la rapidité et la facilité d'interprétation par rapport aux résultats obtenus par l'analyse chimique. Néanmoins, elle comporte un sérieux désavantage : l'imprécision. En effet, l'erreur moyenne peut être estimée à $\pm 10\%$. Pour les minéraux phylliteux, elle peut atteindre 50 % à cause de l'orientation des feuillettes de ces minéraux, difficile à éviter. Les résultats ont donc surtout une valeur statistique indicative.

2.1 *Composition minéralogique des différentes séries des shales*

| Nombre d'échantillons | Chamoson 10 | Sallanches 5 | Pillon 20 | Launen 4 | Crans 4 | Arbaz 4 | Mayens de My 3 | Composition moyenne 50 |
|-----------------------------|----------------|-----------------|--------------|-------------|------------|------------|-------------------|---------------------------|
| Quartz | 33,2 | 35,32 | 34,25 | 37 | 40,75 | 37,5 | 39,5 | 34,91 |
| Chlorite | 22,5 | 22,98 | 26,65 | 26 | 30,5 | 32,25 | 32 | 27,58 |
| Illite + Interstratifiés | 26,2 | 21,66 | 19,40 | 16 | 16,7 | 13,75 | 12 | 19,07 |
| Pyrophyllite | 0,6 | — | 2,2 | 2 | 1,25 | 3,5 | 5 | 1,84 |
| Feldspaths | — | — | 0,2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 0,9 |
| Calcite | 12,2 | 9,34 | 3,3 | 10,4 | 3,25 | 3,25 | 2 | 5,8 |
| Sidérite | — | — | 0,35 | 3,5 | — | — | — | 0,4 |
| Ankérite | — | 2,34 | 5,8 | — | 2 | 2,75 | 4 | 3,33 |
| Apatite | 2,7 | 4 | 2,2 | 2 | — | 1,5 | — | 2,07 |
| Pyrite | 0,3 | 2,33 | 2,95 | 1 | 2,25 | 2,5 | 1 | 1,58 |
| Divers | 2,3 | 2,03 | 2,7 | 1,1 | 1,3 | 2 | 2,5 | 2,52 |
| Total sans divers | 97,70 | 97,97 | 97,30 | 98,90 | 98,70 | 98,00 | 97,50 | 97,48 |
| Perte au feu | 8,2 | 7,7 | 5,65 | 6,54 | 5,83 | 5,8 | 4,7 | 6,35 |
| Densité | 2,47 | 2,49 | 2,55 | 2,55 | 2,68 | 2,66 | 2,71 | 2,59 |

2.2 *Comparaison avec les résultats d'autres analyses*

| Constituants | Clarke (1924) | Shaw et Weaver (1965) | Shales de l'Aalénien (moyenne) |
|-------------------------|------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| Quartz | 22,3 | 30,8 | 34,91 |
| Feldspaths | 30 | 4,5 | 0,90 |
| Minéraux des argiles . | 25 | 60,9 | 48,71 |
| Oxydes de fer | 5,6 | 0,5 | < 1 |
| Carbonates | 5,7 | 3,6 | 9,53 |
| Autres minéraux | 11,4 | 2 | 5,63 |
| Matières organiques . | — | 1 | < 1 |

2.3 *Analyse chimique des éléments majeurs comparée à une analyse d'une argilite silteuse du forage de Logbaba (Cameroun) par Dunoyer.*

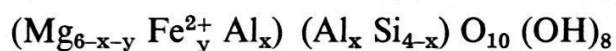
| | Clarke (1924) | Dunoyer (1969) | Shales de l'Aalénien | | | | | |
|--------------------------------|------------------|-------------------|----------------------|--------|-------|--------|-----------------|---------|
| | | | Pillon | | | Arbaz | Sal- lanches | Moyenne |
| Si O ₂ | 58,10 | 54,5 | 53,42 | 56,17 | 49,79 | 59,64 | 55,74 | 54,97 |
| Al ₂ O ₃ | 15,40 | 17,4 | 21,54 | 17,55 | 16,03 | 15,06 | 15,83 | 17,2 |
| Fe ₂ O ₃ | — | — | 3,16 | 1,21 | 6,85 | 8,41 | 7,24 | 5,37 |
| Fe O | — | — | 5,4 | 7,44 | 2,63 | 4,12 | 0,51 | 4,42 |
| Mg O | 2,44 | 2,75 | 1,81 | 2,68 | 2,26 | 2,45 | 0,90 | 1,84 |
| Ca O | 3,11 | 1,52 | 2,27 | 6,81 | 5,36 | 1,60 | 5,82 | 5,37 |
| Na ₂ O | 1,30 | 1,92 | 0,74 | 0,71 | 0,62 | 0,33 | 0,63 | 0,63 |
| K ₂ O | 3,24 | 2,42 | 2,88 | 2,21 | 2,35 | 1,41 | 2,26 | 2,22 |
| Ti O ₂ | — | 0,93 | 0,47 | 0,73 | 0,84 | 0,75 | 0,90 | 0,74 |
| Mn O | — | 0,029 | 0,15 | 0,22 | 0,14 | 0,08 | 0,10 | 0,14 |
| P ₂ O ₅ | — | — | 0,14 | 0,08 | 0,14 | 0,79 | 0,31 | 0,27 |
| H ₂ O ⁺ | 5 | — | 4,50 | 3,60 | 4,85 | 4,60 | 4,41 | 4,39 |
| CO ₂ | 2,63 | — | 2,80 | 9,80 | 6,86 | 1,25 | 5,39 | 5,22 |
| TOTAL | 95,24 | 99,24 | 99,28 | 103,21 | 98,72 | 100,49 | 100,04 | 100,35 |
| Fe Total | 4,02 | 8,54 | 8,56 | 8,65 | 9,48 | 12,63 | 7,75 | 9,41 |

2.4 *Les minéraux des shales*

2.4.1 *Les chlorites*

Plusieurs raisons, qui seront avancées plus loin, portent à croire que les chlorites des shales de l'Aalénien sont riches en fer.

ORCEL, CAILLÈRE et HÉNIN (1950) ont proposé la formule suivante pour les chlorites contenant du fer :



HEY (1954), puis BRINDLEY et GILLERY (1956) ont trouvé une relation directe entre le pic $d(001)$ et x de la chlorite :

$$d(001) = 14,53 - 0,31 x - 0,05 \text{Fe}^{3+};$$

On trouve pratiquement les mêmes valeurs pour $d(001)$ dans toutes les séries: 14,10 en moyenne, d'où : $14,10 = 14,53 - 0,31 x$; $x = 1,4$.

HEY (1954) a constaté qu'il existe une relation linéaire entre le paramètre b et y qui exprime le fer total dans la formule générale des chlorites : $b = 9,20 + 0,028 (\text{Fe}) + 0,047 (\text{Mn})$.

Le paramètre b peut être trouvé facilement d'après $d(060)$. Dans le cas présent, $d(060)$ des chlorites des différentes séries varie peu : 1,550 à 1,555 avec une valeur moyenne de 1,552. La valeur moyenne de b devient : 9,31.

En remplaçant dans la formule de HEY, on trouve :

$$9,31 = 9,20 + 0,028 y ; y = 3,93.$$

BRINDLEY (1961) a d'autre part proposé une méthode permettant de calculer y en fonction du facteur de structure F qui dépend de l'intensité I et de l'angle de réflexion θ :

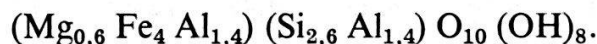
$$I = KF^2 \frac{1 + \cos^2 2\theta}{\sin \theta \sin 2\theta}$$

L'intensité des réflexions $d(001)$ des chlorites de toutes les séries étudiées est très faible par rapport à l'intensité de $d(002)$.

Le rapport $\frac{I(001)}{I(002)}$ a les valeurs extrêmes 0,17 et 0,31, la moyenne étant 0,26. Dans ce cas : $\frac{F(001)}{F(002)} = 0,24$ et $y = 5$.

Cette valeur paraît trop élevée. Elle indique néanmoins que le taux de fer est très important dans ces chlorites.

En attribuant la valeur 4 à y , la formule approximative de ces chlorites serait :



Certaines observations confirment la teneur élevée en fer de ces chlorites :

- BRINDLEY et YUELL (1953) ont montré que par chauffage à 500°C, l'intensité des réflexions de base (001) augmente alors que celle de (002), (003) et (004) diminue. C'est le cas des chlorites de l'Aalénien.
- L'analyse chimique montre une teneur élevée en fer et faible en magnésium. Or moins que le dixième du fer total est engagé dans les minéraux autres que les chlorites. Par contre, une partie du magnésium se trouve dans les carbonates et les interstratifiés.
- BROWN (1955) et BRINDLEY et GILLERY (1956) ont démontré que l'intensité des pics d'ordre pair des chlorites riches en fer est très élevée par rapport à l'intensité des pics d'ordre impair : nous observons très nettement ce fait pour nos chlorites.

Il est possible d'affirmer, d'après l'analyse chimique, qu'une partie du fer de ces chlorites est trivalent.

Les échantillons les plus altérés sont les plus riches en fer trivalent. Ceci permet de supposer que ces chlorites étaient plutôt ferreuses et

qu'elles ont subi une certaine oxydation sous l'effet de l'altération superficielle. La valeur de $d(060)$ voisine de $1,55 \text{ \AA}$, permet d'affirmer que ces chlorites sont trioctaédriques.

D'après la classification de FOSTER (1962) ces chlorites correspondent à des thuringites.

2.4.2 Les illites

1) *Leur nature* : La présence d'illite est confirmée par la présence d'un pic à 10 \AA et d'un autre à $1,50 \text{ \AA}$. Les valeurs trouvées pour les différentes séries demeurent assez constantes. Les variations se situent entre $9,95$ et $10,2 \text{ \AA}$ pour le premier, $1,497$ et $1,503$ pour le second. On obtient la confirmation des types polymorphes par les réflexions de base (001) et par plusieurs réflexions (hkl). Il s'avère que l'illite 2M prédomine, souvent accompagnée du type 1Md moins bien cristallisé. En outre presque tous les échantillons contiennent de la paragonite-phengite identifiée par plusieurs pics dont $d(004)$ à $4,89 \text{ \AA}$. La présence de Na est confirmée par les analyses chimiques et par l'emplacement de $d(002)_{2M}$ qui diminue avec l'augmentation du Na selon une relation trouvée par GUIDOTTI (1966) pour les muscovites :

| Relation de GUIDOTTI | |
|----------------------|-----------|
| $d(002)_{2M}$ | Na/K + Na |
| 9,929 | 0,30 |
| 9,954 | 0,20 |
| 9,965 | 0,14 |
| 9,985 | 0,06 |

| Shales de l'Aalénien | | | Analyses chimiques |
|----------------------|----------|-----------|--------------------|
| | $d(002)$ | Na/K + Na | Na/K + Na |
| Chamoson | 9,978 | 0,09 | |
| Sallanches | 9,970 | 0,13 | 0,22 |
| Pillon | 9,977 | 0,10 | 0,22 |
| Lauenen | 9,964 | 0,15 | |
| Crans | 9,973 | 0,11 | |
| Arbaz | 9,982 | 0,07 | |
| Mayens de My | 9,969 | 0,013 | |

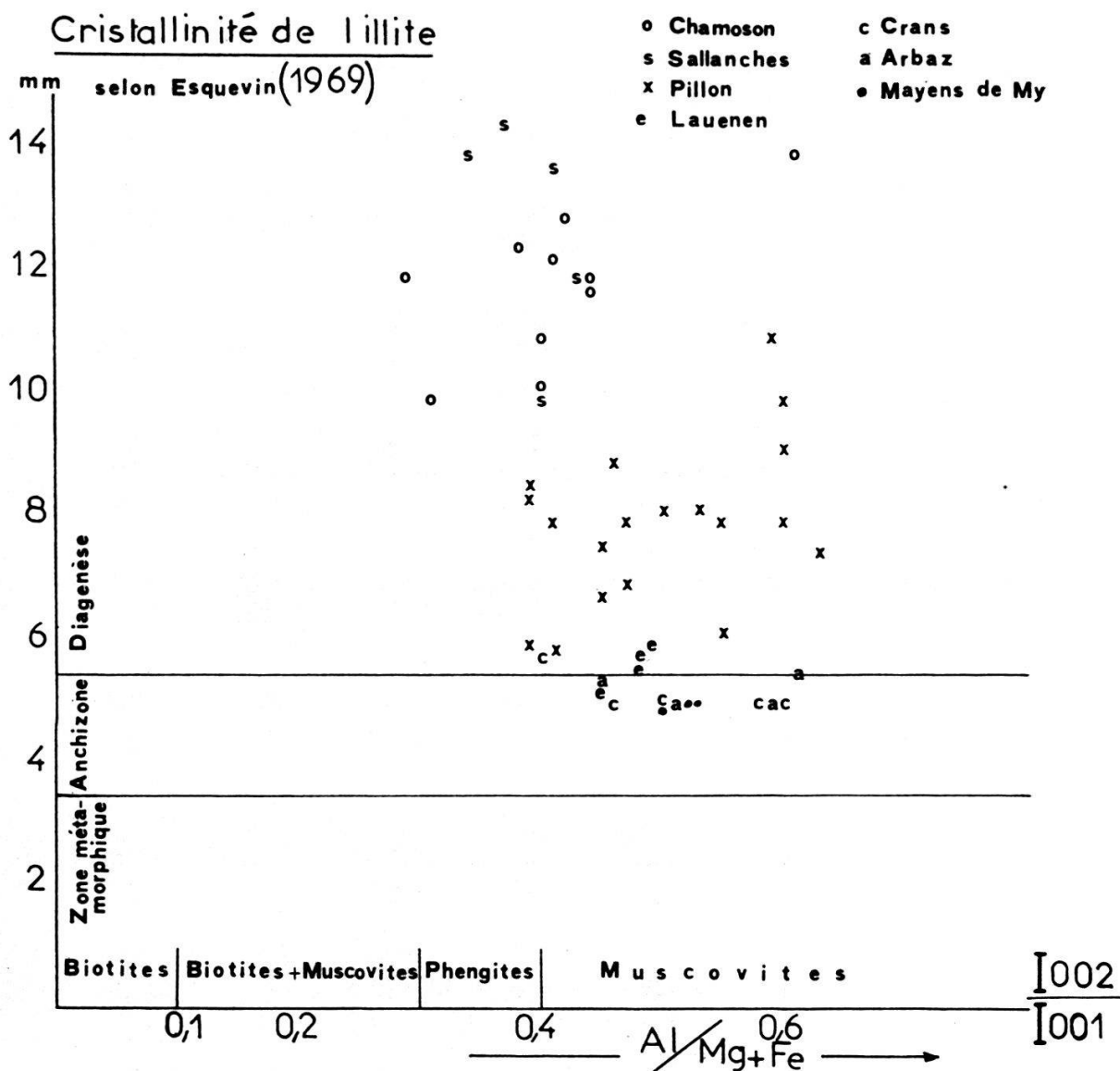


Fig. 2. — Cristallinité de l'illite

Le rapport $I(002)/I(001)$ des micas tend à augmenter avec le métamorphisme. D'après ESQUEVIN (1969), ce rapport est proportionnel au rapport Al/Mg . Les résultats obtenus pour les illites des shales de l'Aalénien les placent près des phengites.

Cristallinité de l'illite. Une illite est d'autant mieux cristallisée que son pic à 10Å est plus aigu. KUBLER (1964, 1966, 1969) a défini un indice de cristallinité de l'illite qui est égal à la largeur en mm à mi-hauteur du pic à 10Å de l'illite. Dans certaines conditions bien définies, la cristallinité de l'illite devient un indicateur permettant d'estimer le degré de métamorphisme des minéraux argileux.

Conditions expérimentales. La mesure de la largeur à mi-hauteur du pic à 10Å a été effectuée sur des diffractogrammes de préparations orientées non traitées. L'appareil utilisé est un diffractomètre Philips 1010, 40 KV, 22 mA,

raie Cu K α , filtre Ni, fentes 1°/0, 1/1°, sensibilité 1.10² à 1.10³. Constante de temps 4, vitesse 1°/min. Vitesse de déroulement du papier 80 cm/h.

L'examen des résultats de mesure de la cristallinité de l'illite permet, au premier abord, de classer les shales des différentes séries selon l'ordre croissant de la diagenèse vers le métamorphisme : Chamoson, Sallanches, Col du Pillon, Lauenen, Crans, Arbaz, Mayens de My.

2.4.3 Les interstratifiés

Des interstratifiés réguliers gonflants de type illite-montmorillonite existent dans les shales de Chamoson et de Sallanches. Leur capacité de gonflement à l'éthylène-glycol est de 2 Å. Les espacements de base des échantillons non traités sont voisins de la suite 22 - 11 - 5,5 Å. Après traitement à l'éthylène-glycol, ces valeurs deviennent 26 - 13 - 6,5 Å. Cet interstratifié est voisin de l'allevardite, mais plus évolué dans le sens de la diagenèse. Un autre interstratifié de type corrensite apparaît en très faible quantité à Chamoson, Sallanches et Pillon. Ses espacements de base sont de l'ordre de 29,5 - 15 - 9,9 - 7,5 Å, passant à 31,5 après traitement à l'éthylène-glycol. L'illite reste toutefois dominante.

Les échantillons du col du Pillon n'ont pratiquement plus d'interstratifiés, mais plutôt une illite ouverte vers 12 Å avec un maximum à 10 Å. C'est une illite insensible au chauffage et à l'éthylène-glycol. Dans les autres séries, le pic à 10 Å de l'illite se « nettoie » et devient de plus en plus aigu et symétrique dans la direction de Lauenen, Crans, Arbaz, Mayens de My. On assiste à une diminution progressive du taux d'interstratifiés et de l'illite et une augmentation du taux de chlorite selon l'ordre suivant : Chamoson, Sallanches, Pillon, Lauenen, Crans, Arbaz, Mayens de My.

3. AGE DE LA FORMATION

Les ammonites trouvées dans les shales de Chamoson appartiennent aux genres *Leioceras* et *Pleydellia*?, qui indiquent un âge Aalénien inférieur, et au genre *Ludwigia*, qui indiquerait un âge Aalénien supérieur. La formation comprend donc l'Aalénien inférieur et supérieur.

4. CONCLUSIONS

Il est difficile de tirer des conclusions certaines sur un nombre réduit d'analyses. Ces résultats viennent s'ajouter à la somme de travaux réalisés en Suisse et ailleurs sur les shales. Ils ouvrent la voie à des recherches plus complètes sur ce problème.

Néanmoins, on peut dire que la disparition de la montmorillonite et de la kaolinite, l'apparition de la pyrophyllite, la diminution progressive

suivie de la disparition des interstratifiés, l'amélioration progressive de la cristallinité de l'illite, l'augmentation du taux de chlorite, l'augmentation de la densité ainsi que la diminution de la perte au feu, incitent à placer ces shales dans la phase de diagenèse tardive, à la limite de l'anchizone.

Les plus évolués parmi eux, ceux de Crans, Arbaz et Mayens de My, constitueraient la phase de transition entre diagenèse et anchimétamorphisme. C'est presque déjà le faciès à « illite-chlorite » caractéristique de l'anchizone.

Enfin, il faut remarquer que ces shales ont ressenti l'effet du métamorphisme alpin. Les effets tectoniques sont confirmés par la présence de stylolites, de « pressure-shadows » autour de la pyrite et des formes de dissolution du quartz détritique. Cependant, cet effet sur leur évolution reste difficile à apprécier précisément.

Remerciements

Je remercie les professeurs R. Woodtli, H. Badoux, A. Steck, S. Ayrton et H. Masson pour leur aide, critique et conseils. Ma gratitude s'adresse au professeur T. Hügi pour m'avoir accueilli aimablement dans son laboratoire à Berne, et aux professeurs T. Peters et M. Frey (Berne) pour l'aide qu'ils m'ont procurée pour la mesure de la cristallinité de l'illite. Je remercie le professeur F. Delaloye pour certaines analyses chimiques effectuées gracieusement à Genève.

Manuscrit reçu le 30 janvier 1973.

BIBLIOGRAPHIE

- BADOUX, H. (1963). — Les unités ultrahelvétiques de la zone des Cols. *Eclogae geol. Helv.* 56/1, 1-13.
- BRINDLEY, G. W. (1961). — Chlorite minerals. In : G. BROWN (ed.), *X-ray identification and crystal structure of clay minerals*.
- BROWN, G. (1955). — Intensities of the 001 reflections of micas and chlorite-type structures. *Min. Mag.*, 30, 657-665.
- BUBENICEK, L. (1960). — *Recherches sur la constitution et la répartition du minéral de fer dans l'Aalénien de Lorraine*. Thèse Sci., Nancy, 177 p.
- CAILLÈRE, S. et HENIN, S. (1963). — *Minéralogie des argiles*. Masson, Paris.
- DELALOYE, M. F. (1966). — Contribution à l'étude des silicates de fer sédimentaires. Le gisement de Chamoson (Valais). *Mat. carte géol. Suisse, Sér. géotechnique*, XIII/9.
- DUNOYER DE SEGONZAC, G. (1969). — Les minéraux argileux dans la diagenèse ; passage au métamorphisme. Thèse Sci., Strasbourg. *Mém. Serv. Carte géol. Als. Lorr.*, 29, 320 p.

- ESQUEVIN, J. (1969). — Influence de la composition chimique des illites sur la cristallinité. *Bull. Centre Rech. Pau-SNPA*, 3, 147-154.
- FOSTER, M. D. (1962). — Interpretation of the composition and a classification of the chlorites. *Geol. Surv. Prof. Paper*, 414-A, 33 p.
- FREY, M. (1970). — The step from diagenesis to metamorphism in pelitic rocks during alpine orogenesis. *Sedimentology*, 15, 261-279.
- GRIM, R. E. (1968). — *Clay Mineralogy*. McGraw-Hill, New York, 596 p.
- GUIDOTTI, C. V. (1966). — Variations of the basal spacings of muscovite in sillimanite-bearing pelitic schists of north-western Maine. *Amer. Min.*, 51, 1778-1786.
- HELING, D. (1970). — Micro-fabrics of shales and their rearrangement by compaction. *Sedimentology*, 15, 247-260.
- HEY, M. H. (1954). — A new review of the chlorites. *Min. Mag.*, 30, 277-292.
- KUBLER, B. (1968). — Evaluation quantitative du métamorphisme par la cristallinité de l'illite. *Bull. Centre Rech. Pau-SNPA*, 2, 385-397.
- LUCAS, J. (1962). — La transformation des minéraux argileux dans la sédimentation : étude sur les argiles du Trias. *Mém. Serv. Carte géol. Als. Lorr.*, Strasbourg, 23, 202 p.
- MARTINI, J. (1972). — Le métamorphisme dans les chaînes alpines externes et ses implications dans l'orogénèse. *Schweiz. Mineral u. Petrogr. Mitteilungen*, 52/2, 257-275.
- MÜLLER, G. (1967). — Diagenesis in argillaceous sediments. In : *Diagenesis in sediments*. Elsevier, Amsterdam.
- NIGGLI, E. (1970). — Alpine Metamorphose und alpine Gebirgsbildung. *Fortschr. Mineral.*, 47/1, 16-26.
- O'BRIEN, N. R. (1970). — The fabric of shale. An electron-microscope study. *Sedimentology*, 15, 229-246.
- ORCEL, J., CAILLÈRE, S. et HENIN, S. (1950). — Nouvel essai de classification des chlorites. *Min. Mag.*, 29, 329-340.
- SHAW, D. et WEAVER, E. (1965). — The mineralogical composition of shales. *Journ. of Sedim. Petrology*, 35, 213-222.
- TWENHOFEL, W. H. (1950). — *Principles of sedimentation*. McGraw-Hill, New York, 673 p.
- VINE, J. D. et TOURTELOT, E. B. (1970). — Geochemistry of Black Shale Deposits. *Econ. Geol.*, 65, 253-272.