

# "Cristallinité" de l'illite et mixed-layers : brève révision

Autor(en): **Kübler, Bernard**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **70 (1990)**

Heft 1

PDF erstellt am: **07.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-53605>

## **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.

## «Cristallinité» de l'illite et mixed-layers: brève révision\*

par Bernard Kübler<sup>1</sup>

### Abstract

The "Scherrer Width", SW, the width at the half height of the first diffraction peak of the mica group, or "Illite Crystallinity", is the most accurate measurement possible on analogous X-Ray diffraction diagrams. The difficulties associated with using the SW are of geologic rather than technical nature. The SW-scale of the diagenetic, anchi- and epimetamorphic stages has been calibrated with the mineralogical associations, compared with the potential oil window, potential gas window and some vitrinite reflectance data. The SW is sensitive to an increase of Mg or Na activities versus K, even in the anchi- or epimetamorphic stages. SW is then a measure of the new mixed-layer or solid solution. The SW method is a statistic one; all lithologies have to be taken into account for a better definition of the different stages.

*Keywords:* Illite crystallinity, Scherrer width, anchimetamorphism, diagenesis, X-ray diffraction.

### Définition

D'un point de vue cristallographique, le terme de «cristallinité» et celui d'«illite» sont peut-être mal adaptés, ils ont cependant rendu de grands services dans la zonéographie de la diagenèse et du métamorphisme naissant (KÜBLER, 1984). A l'origine, sous cristallinité, il était entendu un perfectionnement du réseau micacé (une purification selon MILLOT, 1964) que l'on mesurait d'abord par un quotient de deux intensités (WEAVER, 1961) puis par la largeur à mi-hauteur du premier pic de diffraction des micas (KÜBLER, 1964). C'est cette dernière mesure qui est entrée dans les mœurs et qui a reçu plusieurs abréviations: IC (illite crystallinity ou cristallinité), IK (indices de KÜBLER), LS (largeur de Scherrer) ou SW (Scherrer width). Une illite ou un mica était interprété comme d'autant mieux cristallisé que le quotient de Weaver était élevé ou que la LS était faible.

L'amélioration de la cristallinité était constatée avec l'augmentation de l'enfouissement: «load metamorphism» et à l'approche d'un front de métamorphisme régional. WEAVER (1961) est du reste le premier qui ait présenté une zonation

de la diagenèse à l'épimétamorphisme sur la base de ses quotients mesurés sur les illites des fractions  $< 2 \mu\text{m}$ .

### Mesures, fidélité, unités

Si le quotient de Weaver est excellent pour les pics de diffraction larges, il devient peu fidèle pour les micas bien cristallisés (KÜBLER, 1967b). C'est la raison pour laquelle nous avons testé dès 1962, la largeur à mi-hauteur plus facile à mesurer, moins sensible la géométrie des goniomètres et plus fidèle pour les pics effilés donc, pour les micas des stades de diagenèse profonde ou de métamorphisme léger (KÜBLER, 1964).

Toutes les mesures jusqu'en 1977 ont été pratiquées manuellement sur des enregistrements analogiques. La fidélité de celles-ci a été largement contrôlée, d'abord purement au niveau de l'électronique puis à celui de l'habileté du préparateur enfin à celui du séchage (KÜBLER, 1967b). Les résultats de ces contrôles ont montré que:

1. La LS est indépendante de l'intensité du pic dans une gamme qui s'étend de plus de

\* Résumé élargi de la contribution présentée à l'assemblée annuelle de la SSMP, Fribourg, 13 et 14. oct. 1989.

<sup>1</sup> Laboratoire de Minéralogie, Pétrographie et Géochimie, Institut de Géologie, CH-2007 Neuchâtel.

300 CPS à plus de 3000 CPS. Ce dernier seuil dépend de la qualité du compteur.

2. La LS est la mesure la plus fidèle que l'on puisse faire sur des diagrammes analogiques. Elle est de  $\pm 2\%$  pour des LS  $< 0.30 \text{ } ^\circ 2\theta \text{CuK}\alpha$ , elle peut atteindre  $\pm 7\%$  pour des LS plus élevées.

3. L'habileté de deux préparateurs différents peut conduire à des écarts de  $\pm 7\%$ .

4. La LS est très sensible au taux d'humidité lors du séchage des préparations orientées. Suivant le taux de couches gonflantes, les écarts se montent à 40%. Pour les micas des stades anchimétamorphiques ou métamorphiques, l'humidité n'a aucune influence sur la LS.

5. En général, la mesure des LS est d'autant plus fidèle que le taux de couches gonflantes est faible.

Ces contrôles ne sont valables que pour un goniomètre et des réglages rigoureusement identiques. Ils sont indispensables pour calibrer les divers équipements entre eux dans le même laboratoire ou des laboratoires différents.

L'expression des unités et leur valeur ont varié et ceci est lié aux progrès de la technologie. A l'origine, la fidélité de la LS dépendait de la fidélité de deux moteurs synchrones celui qui commandait la rotation du goniomètre et celui qui déroulait le papier de l'enregistrement analogique. La vitesse de rotation de ce dernier était ajustée aux normes américaines c'est-à-dire les pouces (inches, 1600 mm/h). La LS était mesurée avec une loupe micrométrique et exprimée en mm. Les limites de l'anchizone étaient alors de 8.5 et 5.0 mm. Puis les transistors ont remplacé les tubes dans tous les étages de l'amplification, les compteurs sont devenus plus proportionnels et leur temps mort a diminué. Les enregistrements ont été ajustés au système métrique (vitesse de rotation 1200 mm/h, p. ex.). Les valeurs des LS ont diminué et elles ont pu être directement converties en angle de diffraction. Elles sont devenues pour les limites de l'anchizone 4.2 et 2.5 mm ou 0.42 et 0.25  $^\circ 2\theta \text{CuK}\alpha$  (KÜBLER, 1984).

Ces équivalences n'ont pu être définies que par recours à des standards. C'est ainsi qu'on a pu comparer les valeurs des laboratoires de la Compagnie française des pétroles Bordeaux, de la Société nationale des pétroles d'Aquitaine à Pau, du Centre CNRS de géochimie de surface à Strasbourg ou de l'Institut de géologie à Neuchâtel (pour n'en citer que quelques uns).

En principe, quelle que soit la cellule de comptage, l'amplification ou la vitesse de déroulement de l'enregistreur analogique, toutes les valeurs de LS mesurées en mm devraient après transformation donner les mêmes valeurs exprimées en fraction d'angle de diffraction. Ce n'est

pas le cas et ceci est bien compréhensible. Pour les anciens compteurs à tube, la saturation intervenait à des comptages relativement bas. Tout réglage étant égal, par ailleurs, les intensités étaient plus faibles par conséquent celles à mi-hauteur aussi et la LS était relativement élevée. Par la transistorisation et l'amélioration des compteurs, la saturation est intervenue à des taux de comptages plus élevés. En conséquence les LS des standards est devenue plus faible. Il ne faut pas oublier non plus que les anciens compteurs vieillissaient plus rapidement que les nouveaux. La LS variait avec la réponse du compteur comme du reste avec celle du tube de RX. C'est la raison pour laquelle les valeurs des LS entre anciens et nouveaux compteurs et amplificateurs ne donnent pas après calcul les mêmes fractions d'angle de diffraction. Ces faits illustrent aussi la nécessité de passer régulièrement des standards pour contrôler l'état de l'ensemble diffractométrique.

Depuis 1967, nos valeurs de référence, soigneusement contrôlées par les standards, sont de 0.42 et 0.25  $^\circ 2\theta \text{CuK}\alpha$  pour des préparations orientées de fractions  $< 2 \mu\text{m}$ , séchées à l'air avec une vitesse de rotation du goniomètre de  $2^\circ/\text{min}$ , des fentes de  $2^\circ-0.2-2^\circ$ , filtre Ni, sans monochromateur, rayonnement  $\text{CuK}\alpha$ , compteur proportionnel avec discriminateur.

Pour améliorer la fidélité, on peut travailler avec des vitesses de rotation du goniomètre plus faibles. Si l'on ajuste consciencieusement la constante de temps, les LS restent les mêmes (KÜBLER, 1984b).

Par contre, on constate une diminution des LS lors de la focalisation d'un faisceau par monochromateur (KÜBLER, 1987b).

L'apparition des goniomètres automatiques, pilotés par microprocesseurs et avec traitement informatique de l'intensité digitalisée a permis d'améliorer encore la mesure des LS mais toutes les valeurs sont recalculées sur celles de 1969.

Ces nouvelles méthodes ont conduit à codifier non seulement les méthodes de préparation ou de mesure manuelle mais aussi celles de mesures automatiques (KÜBLER, 1987a).

La déconvolution des pics des micas selon plusieurs fonctions conduit à une révision fondamentale de la mesure de la LS, à une exploration nouvelle et plus étendue de celle-ci. Mais que faire des maxima que font apparaître les diverses déconvolutions? L'analyse de ces problèmes ne fait que de débiter.

En ce qui concerne la LS proprement dite, les premiers résultats montrent que dès l'anchizone, le pic des micas à 1 nm ne se sépare plus en plusieurs maxima de déconvolution comme dans

la diagenèse. L'ancienne LS «manuelle» peut dès lors être remplacée, par exemple, par la «full width at half maximum: FWHM» d'une fonction hybride gaussio-lorentzienne appelée la «split PEARSON VII» (SCINTAG, 1987).

La normalisation des mesures avec ces nouveaux équipements a trouvé une première expression:

$$LS(P) = 0.065 + 1.1588 LS(S)$$

[en fraction d'angle]

où  $LS(P) = LS$  Philips et  $LS(S) = LS$  Scintag.

Philips est l'équipement qui a été utilisé dès 1967 pour normaliser toutes les valeurs références tandis que l'équipement SCINTAG doté d'un cristal au Ge refroidi par PELTIER permet d'éliminer la K $\beta$  du Cu et les raies parasites du Fe sans recours à des filtres. Les LS SCINTAG sont soit mesurées à l'écran après élimination du bruit de fond et de la K $\alpha$ 2, soit directement le FWHM de la déconvolution lorsque il est prouvé par calcul que le maximum est unique.

Il ne fait pas de doute qu'avec ces nouveaux équipements et ces nouveaux logiciels d'application si pratique, il faut renouveler les stratégies de mesure mais surtout de pensée tout particulièrement en ce qui concerne les interstratifiés, cortège obligatoire des micas dans les divers stades diagénétiques.

### Cristallinité de l'illite et mixed-layers

Les mixed-layers gonflants, c'est-à-dire ceux dont le pouvoir de gonflement est prouvé par traitement un poly-alcool (éthylène-glycol ou glycérol), sont les interstratifiés les plus fréquents dans la diagenèse. Ce sont aussi les plus sensibles à l'enfouissement (load metamorphism) et leur comportement à l'augmentation diagénétique est de deux types. D'une part ils diminuent progressivement jusqu'à disparition. D'autre part le taux de couches gonflantes passe de 1 (smectoïdes) à 0 (micas). Ces deux types de diminution peuvent être corrélés dans certains cas favorables comme le Crétacé du bassin de Douala ou de la zone frontale Nord pyrénéenne (KÜBLER, 1966) où «cristallinité de l'illite» et intensité du pic des interstratifiés diminuaient parallèlement. Parfois cette diminution est soulignée par une migration du pic des interstratifiés depuis la smectite vers les micas comme dans le Tertiaire du «Gulf Coast» (BURST, 1959 et 1969) ou de l'off shore du Labrador (HEROUX et al., 1979 et 1981). Appeler la LS de ce complexe de couches gonflantes et non gonflantes «cristallinité de l'illite» était par ailleurs une impropriété de langage mais une extension commode du terme.

Il y a de nombreux cas où ces diminutions n'existent pas. Pour la Molasse suisse, p. ex., MONNIER (1982) ne peut constater, avec l'enfouissement, qu'une diminution de l'intensité du pic à 1.7 nm, sans migration, sans création d'interstratifiés intermédiaires à taux d'interstratification décroissant. Le complexe mica-smectite n'existant pas, il est impossible d'en mesurer la LS. Il est par contre parfaitement possible de mesurer la LS du pic 1 nm, elle correspond, pour les stades diagénétiques superficiels, des micas de l'anchizone. Dans ce cas *la LS est une mesure de la «fraîcheur» des micas détritiques.*

Cette observation a été vérifiée dans de nombreuses formations tertiaires turbiditiques (flysch), molassiques, deltaïques ou côtières. La LS ne redevient applicable comme indicateur de la diagenèse qu'à partir du stade IV, celui qui correspond à la «fenêtre à huile potentielle» (FHP ou POW potential oil window, KÜBLER, 1980 et 1984). De ce stade, la LS décroît mais avec de très grandes variations. En fait la décroissance peut être encadrée par deux courbes enveloppes qui se rapprochent dans les stades précurseurs de l'anchizone (KÜBLER, 1968).

Les raisons de ces variations sont multiples. La LS des marnes est en moyenne plus grande que celle des calcaires (PERSOZ, 1982). Les grès bien lavés ne contiennent que des micas détritiques. Dans le Crétacé inf. jurassien, les teneurs en smectite, interstratifiés, micas détritiques comme du reste en kaolinite et en chlorite dépendent du milieu de sédimentation: plateforme externe, interne ou barrière (DARSAC, 1983; VIÉBAN, 1983; ADATTE et RUMLEY, 1984). *Dans ce cas la LS est un reflet des conditions de dépôt.*

La néoformation d'interstratifiés à tendance régulière élargit considérablement la LS. C'est bien connu pour les néoformations d'allevardite, interstratifié tendance régulière de couches non gonflantes 2:1 et de couches gonflantes, les cations compensateurs pouvant être du K ou du Na en proportions variables (nous réservons le terme de rectorite à l'interstratifié véritablement régulier avec alternance des couches en proportion stoechiométrique). A Gironville, forage qui a traversé le Carbonifère jusqu'au Westphalien D dans l'Est de la France, la LS, au lieu de diminuer avec la profondeur, augmente. Les micas détritiques sont transformés en interstratifiés jusqu'à l'apparition, dans des faciès favorables, de l'allevardite. Dans ce cas, *les stades de la diagenèse ne peuvent être reconnus par la LS.* Par contre la kaolinite et sa disparition, le domaine d'existence de l'allevardite, l'apparition de la pyrophyllite sont autant de marqueurs des stades diagénétiques (KÜBLER, 1984).

La néoformation de corrensite altère aussi les micas détritiques. La LS des shales intercalés dans les «grès mouchetés» des grès de Taveyannes à faciès laumontite-corrensite, croît du centre de l'intercalation vers les contacts. Cette dégradation des micas est soulignée par une transformation des chlorites en direction des corrensites. Dans ce cas aussi *la LS n'est que le reflet des transformations par des fluides agressifs pour les micas et ne peut être utilisée comme indicateur de la diagenèse.*

A la lumière de ces exemples, il existe des milieux de dépôt, des circulations de fluides dont le chimisme ne correspond pas aux équilibres des micas potassiques. Ce sont, à ma connaissance, tous les milieux pour lesquels l'activité du Na (faisceaux charbonniers, black shales) ou celle du Mg (grauwacke apparentés à la composition des «Grès de Taveyannes») supplantent celle du K (KÜBLER, 1966, 1968, 1984). Dans ces milieux, la LS n'a aucune signification en terme de zonéographie de la diagenèse. Par contre leurs associations minéralogiques sont autant de marqueurs des divers stades.

Dans les stades avancés de la diagenèse mais aussi dans l'anchi- et l'épizone, les interstratifiés gonflants n'existant plus, il se présente d'autres interstratifiés que l'on a parfois assimilés à des solutions solides. Les plus connues sont les interstratifications entre des feuillet sodiques (du type paragonitique) et des feuillet potassiques (du type muscovite). La nature du feuillet potassique est du reste complexe et présente des substitutions céladonitiques (KÜBLER, 1984; FREY, 1987). La structure des phengites n'est du reste cristallographiquement pas encore éclaircie: s'agit-il de solutions solides donc de substitutions statistiques à l'intérieur des feuillet? S'agit-il plutôt d'interstratification de feuillet de composition muscovitique et de feuillet à substitutions céladonitiques? Quelles que soient les réponses, *la LS est élargie par la présence de feuillet sodiques à tel point qu'elle peut dépasser 0.42 degrés alors que l'encaissant est sans conteste épimétamorphique.*

*La néoformation d'interstratifiés gonflants mais aussi non gonflants, celle de pyrophyllite ou de paragonite peut élargir les pics des micas, il est dans ces cas impossible d'utiliser la LS comme indicateur des transformations diagénétiques ou métamorphiques.*

### Le problème des limites

Nous ne traiterons ici que des résultats des laboratoires qui ont mis au point la méthode et qui au fur et à mesure du perfectionnement des appa-

reils en ont surveillé l'application. Les valeurs des limites ont changé d'expression depuis 1964 mais, par l'étalonnage systématique à l'aide de standards, elles ont toutes été ramenées aux valeurs de 1969:

DIAGENÈSE → 0.42 ← ANCHIZONE  
ANCHIZONE → 0.25 ← ÉPIZONE

Unités: °2θCuKα

Contrairement à une opinion trop répandue, les limites n'ont pas été définies par la LS. Bien au contraire, la LS a été étalonnée sur les associations minéralogiques (p. ex. KOSOVSKAIA et SHUTOV, 1965) sur la zonéographie de WEAVER (par régression multiple de plus de 700 paires de mesures, KÜBLER, 1968) et au début, malheureusement, sur la nature des gisements pétroliers. Ainsi on pensait qu'aux huiles légères d'Hassi Messaoud succédaient les gaz à condensats d'Hassi R'Mel et que ce gisement était dans un stade de transformation qui devait marquer la fin de la diagenèse et le début de l'anchizone.

Une seconde confusion s'est glissée dans la mise au point de 1966 (KÜBLER, 1966). A la figure 3, on ordonnait selon ce qui était appelé alors les «indices de cristallinité de l'illite», les paragenèses et la succession des minéraux-index de KOSOVSKAIA et SHUTOV (1965), les divers exemples analysés dans les laboratoires de la Compagnie française des pétroles et de la Société nationale des pétroles d'Aquitaine. Ces faits étaient comparés aux stades de WEAVER dont les quotients avaient été transformés en LS. Ce tableau devait illustrer la difficulté de comparer les paragenèses et les minéraux index des auteurs comme ceux des cas concrets pour étalonner la LS.

S'il est vrai qu'au début, l'anchizone a été reconnue par la très faible variation des LS, contrairement à ce qui est observé dans la diagenèse, on a, dans le même temps, cherché à étalonner les limites par celles des associations minérales, par faciès (KÜBLER, 1966, p. 111).

A la faveur de nouvelles recherches et surtout grâce aux progrès de la géochimie organique et de la pétrographie de la matière organique, la zonéographie de la diagenèse à l'épizone a été complétée.

Nous distinguons actuellement quatre stades dans la diagenèse, les stades 5 et 6 correspondant à l'anchi- et à l'épizone. Mais pour cela il faut tenir compte des environnements sédimentaires et géochimiques différents (KÜBLER, 1984).

L'interprétation des LS doit tenir compte de ces environnements au même titre que celle des données de la réflectance de la vitrinite, de la pyrolyse de la matière organique, des gaz adsorbés ou des marqueurs géochimiques.

Pour une interprétation correcte en terme de stades de transformation, nous ne saurions assez répéter que la LS doit être appliquée au plus grand nombre possible d'échantillons, de toute lithologie. On se rappellera enfin que fixer des limites est un pur besoin de communication, que celles-ci n'existent pas vraiment mais qu'il s'agit le plus souvent de «zones de transition».

### Références

- ADATTE, T. et RUMLEY, G. (1984): Microfaciès, micro-paléontologie, minéralogie, stratigraphie et évolution des milieux de dépôts de la plate-forme berriaso-valanginienne des régions de Ste-Croix (VDO, Cressier et du Landeron (NE)). *Bull. Soc. neuch. Sc. nat.*, 107, 221-239.
- BURST, J.F. (1959): Postdiagenetic clay mineral environmental relationship in the Gulf Coast Eocene. *Clays and Clay minerals* (6th nation. conf., 1957), 327-341.
- BURST, J.F. (1969): Diagenesis of Gulf Coast clayey sediments and its possible relation to petroleum migration. *Bull. Amer. Assoc. Petroleum-Geol.*, 53, 73-93.
- DARSAC, C. (1983): La plate-forme berriaso-valanginienne du Jura méridional aux massifs subalpins (Ain-Savoie). Thèse, Grenoble, 316.
- FREY, M. (1987): Very low-grade metamorphism of clastic sedimentary rocks. In: *Low temperature metamorphism*, M. Frey ed., Blackie, 9-57.
- HÉROUX, Y., CHAGNON, A. et BERTRAND, R. (1979): Compilation and correlation of major thermal maturation indicators. *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, 63, 2128-2144.
- HÉROUX, Y., BERTRAND, R., CHAGNON, A., CONNAN, J., PITTION, J.-L. et KÜBLER, B. (1981): Evolution thermique et potentiel pétrologène par l'étude des kérogènes, des extraits organiques, des gaz adsorbés, des argiles du sondage Karlsefni H-13 (Offshore Labrador Canada). *Canad. J. Earth Sci.*, 18/12, 1856-1877.
- KOSSOVSKAIA et SHUTOV (1965): Facies of regional epigenesis. *Internat. Geol. Rev.*, 7/7, 1157-1167.
- KÜBLER, B. (1964): Les argiles indicateurs de métamorphisme. *Rev. Inst. franç. Pétrole*, 19, 1093-1112.
- KÜBLER, B. (1966): La cristallinité de l'illite et les zones tout à fait supérieures du métamorphisme. In: *Colloque sur les étages tectoniques*, J.-P. Schaer édit., à La Baconnière, Neuchâtel, 105-122.
- KÜBLER, B. (1987a): Anchimétamorphisme et schistosité. *Bull. Cent. Rech. Pau-SNPA*, 1/2, 259-278.
- KÜBLER, B. (1967b): Stabilité et fidélité des mesures simples sur les diagrammes de Rayons X. *Bull. Group. franç. Argiles*, 19/1, 39-47.
- KÜBLER, B. (1968): Evaluation quantitative du métamorphisme par la cristallinité de l'illite: état des progrès réalisés ces dernières années. *Bull. Cent. Rech. Pau-SNPA*, 2, 385-397.
- KÜBLER, B. (1969): Crystallinity of illite. Detection of metamorphism in some frontal part of the Alps. *Referate der Vorträge*, 47. Jahrestagung der Deutsch. mineralog. Gesellsch., 29-40.
- KÜBLER, B. (1980): Les premiers stades de la diagenèse organique et de la diagenèse minérale: une tentative d'équivalence. 2<sup>e</sup> partie: zonéographie par les transformations minéralogiques, comparaison avec la réflectance de la vitrinite, les extraits organiques et les gaz adsorbés. *Bull. Ver. Schweiz. Petrol. u. Ing.*, 46/110, 1-22.
- KÜBLER, B. (1984): Les indicateurs des transformations physiques et chimiques dans la diagenèse. Température et calorimétrie. In: *Thermométrie et barométrie géologiques*, M. Lagache édit., 2, 486-596.
- KÜBLER, B. (1984b): Fidélité de la mesure de la largeur de Scherrer: «Cristallinité de l'illite» en fonction de la vitesse de rotation du goniomètre. *Cahiers Inst. Géol. Neuchâtel*, AX 1/8, 1-23.
- KÜBLER, B. (1987a): «Cristallinité de l'illite». Méthode normalisée de préparation. Méthode normalisée de mesure. Méthode automatique normalisée de mesure. *Cahiers Inst. Géol. Neuchâtel*, ADX 2, 1-10.
- KÜBLER, B. (1987b): Influence du monochromateur et influence de la saturation à l'éthylèneglycol sur la largeur de Scherrer, l'intensité des pics, la distinction illite-phengite-muscovite. *Cahiers Inst. Géol. Neuchâtel*, A.X. 14, 1-30.
- MILLOT, G. (1964): Géologie des argiles. Masson, Paris, 499.
- MONNIER, F. (1982): Thermal diagenesis in the Swiss Molasse Basin: implications for oil generation. *Canad. J. Earth Sci.*, 19/2, 328-342.
- PERSOZ, F. (1982): Inventaire minéralogique, diagenèse des argiles et minéralostratigraphie des séries jurassiques et crétacées inférieures du Plateau suisse et de la bordure sud-est du Jura entre les lacs d'Annecy et de Constance. *Beitr. geol. Karte Schweiz [N. F.]*, 155.
- SCINTAG (1987): Users manual, 230.
- VIÉBAN, F. (1983): Installation et évolution de la plate-forme urgonienne (Hauterivien à Bédoulien) du Jura méridional aux chaînes subalpines (Ain-Savoie, Haute-Savoie). *Sédimentologie, minéralogie, stratigraphie, paléogéographie*. Thèse doct. 3<sup>e</sup> cycle, Grenoble, 291.
- WEAVER, C.E. (1961): Clay minerals of the Ouachitas structural belt and adjacent foreland. In *Ouachita system*. Univ. Texas Publ., 6120, Bur. Econ. Geol. Austin, 147-160.

Manuscrit accepté le 4 janvier 1990.