

MESURE DE LA CRISTALLINITE DE L'ILLITE : ADAPTATION DE LA METHODE A L'APPAREIL DE DIFFRACTION DES RAYONS X DE LA FACULTE DES SCIENCES DE MARRAKECH, APPLICATIONS

Jean-Paul SAGON¹

ملخص

جان بول ساغون

قياس بلورة الصلصال الورقي (الايليت) : تكييف الطريقة لجهاز الحيود بالاشعة السينية التابع لكلية العلوم بمراكش، تطبيقات .

مكن استعمال معايير من تكييف طريقة قياس بلورة الصلصال الورقي لمقياس الحيود بالاشعة السينية الموجود بكلية العلوم بمراكش، هذه الطريقة طبقت لدراسة تطور التصخر والتحول في الطبقات الپاليزوية المنتمية لمناطق جيولوجية مغربية مختلفة من جهة، ودراسة التفسخ الماحاري من جهة أخرى .

RÉSUMÉ .

L'utilisation d'étalons a permis d'adapter la méthode de mesure de la cristallinité de l'illite au diffractomètre R.X. de la Faculté des Sciences de Marrakech. Cette méthode trouve une application d'une part dans l'étude de l'évolution diagénétique et métamorphique des terrains paléozoïques appartenant à différents domaines orogéniques marocains, d'autre part dans l'étude d'altérations hydrothermales.

SUMMARY

Measurement of illite crystallinity: adaptation of the method to the X-Rays diffraction equipment of the Sciences University of Marrakesh, applications. The use of standards allowed to adapt the measurement of illite crystallinity with the X Ray Equipment of the Sciences University of Marrakesh (Morocco). This method finds an application on the one hand in the study of the diagenetic and metamorphic evolution of Paleozoic layers in various orogenic moroccan belts, on the other hand in the study of hydrothermal alterations.

INTRODUCTION

La mesure de la cristallinité des minéraux argileux micacés (illites) imaginée par WEAVER (1960) et perfectionnée ultérieurement par KUBLER (1964) a prouvé maintes fois son efficacité dans l'étude de la diagénèse et des tout premiers stades du métamorphisme. Elle a du reste été utilisée à plusieurs reprises au Maroc pour résoudre de tels problèmes (PIQUÉ, 1979; STUDER, 1980; CAILLEUX, 1980; BOUABDELLI, 1982; BORDONARO, 1983).

Toutefois, ces mesures ont été effectuées dans des laboratoires extérieurs (France, Suisse,) et non pas dans des laboratoires marocains.

Disposant à la Faculté des Sciences de Marrakech d'un diffractomètre de Rayons X, il nous a semblé opportun d'adapter la méthode de mesure de la cristallinité de l'illite à cet appareil. Ainsi, cette méthode pourra plus largement être utilisée par notre communauté scientifique.

¹ Département de géologie, Faculté des Sciences, Marrakech.

PRINCIPE ET TECHNIQUE DE MESURE DE LA CRISTALLINITÉ DE L'ILLITE

La largeur des raies de diffraction d'un matériau cristallin dépend, d'une part de la taille des cristallites lorsque la taille de ceux-ci est inférieure à 100 Å (GUINIER, 1964), d'autre part de la régularité du réseau cristallin, c'est à dire de la "cristallinité" du matériau (GUINIER, 1964).

Les particules d'illite ayant en général une taille bien supérieure à 100 Å, la largeur de leurs raies de diffraction sera fonction de la régularité de leur réseau (DUNOYER DE SEGONZAC, 1969), c'est à dire de leur "cristallinité".

Ainsi les pics de diffraction seront étroits pour une illite dont le réseau est bien ordonné (illite possédant une bonne "cristallinité") alors qu'ils seront larges pour une illite à réseau désordonné (illite ayant une mauvaise "cristallinité").

Suivant la technique de KUBLER (1964) l'indice de cristallinité de l'illite (ou de la muscovite) est donné par la largeur à mi-hauteur du pic de diffraction à 10 Å. Ce paramètre, aisément mesurable sur les diffractogrammes, dépend cependant très étroitement du diffractomètre utilisé et des conditions expérimentales. Les valeurs absolues de la cristallinité de l'illite ne sont donc généralement pas comparables d'un laboratoire à l'autre.

Pour effectuer des comparaisons entre laboratoires différents il est indispensable d'utiliser des étalons couvrant les domaines de l'épizone, de l'anchizone et de la zone de diagenèse.

La mesure de la cristallinité de l'illite (ou de la muscovite) peut-être perturbée par la présence de certains phyllosilicates dont les pics sont voisins de 10 Å (margarite, paragonite, pyrophyllite). Une présence bien marquée de ces minéraux entraînera en effet un élargissement du pic à 10 Å et la cristallinité de l'illite apparaîtra moins bonne qu'elle ne l'est en réalité. Il est donc indispensable de vérifier sur des diagrammes de poudre l'absence de ces minéraux.

L'existence de micas détritiques abondants et non dégradés, est également susceptible de perturber les mesures en donnant l'illusion d'une cristallinité excellente. Pour éviter cet écueil l'indice de cristallinité de l'illite a été mesuré sur agrégats orientés, cette technique permettant d'éliminer les grandes paillettes micacées détritiques.

ÉTALONNAGE DU DIFFRACTOMÈTRE DE LA FACULTÉ DES SCIENCES DE MARRAKECH

Onze étalons provenant du Laboratoire de géologie appliquée de l'Université Paris VI ont été analysés à la Faculté des Sciences de Marrakech à l'aide d'un diffractomètre Diano équipé d'une anticathode de Cuivre. Les conditions analytiques ont été les suivantes : inertie = 2,5 ; sensibilité = $2,5 \times 10^3$; vitesse du goniomètre = $0,5^\circ 2\theta$ par minute; vitesse du papier = 1 cm par minute.

Pour chaque étalon les valeurs de la cristallinité mesurées dans chacun des deux laboratoires ont été reportées dans un graphique (fig. 1). Celui-ci permet de constater qu'il existe une bonne corrélation entre les différentes mesures. En conséquence, les limites épizone-anchizone et anchizone-zone de diagenèse qui s'établissent respectivement à 3,1 et 3,6 avec le diffractomètre du Laboratoire de géologie appliquée de l'Université Paris VI (fig. 1), doivent être fixées respectivement à 4 et 4,5 avec le diffractomètre de la Faculté des Sciences de Marrakech.

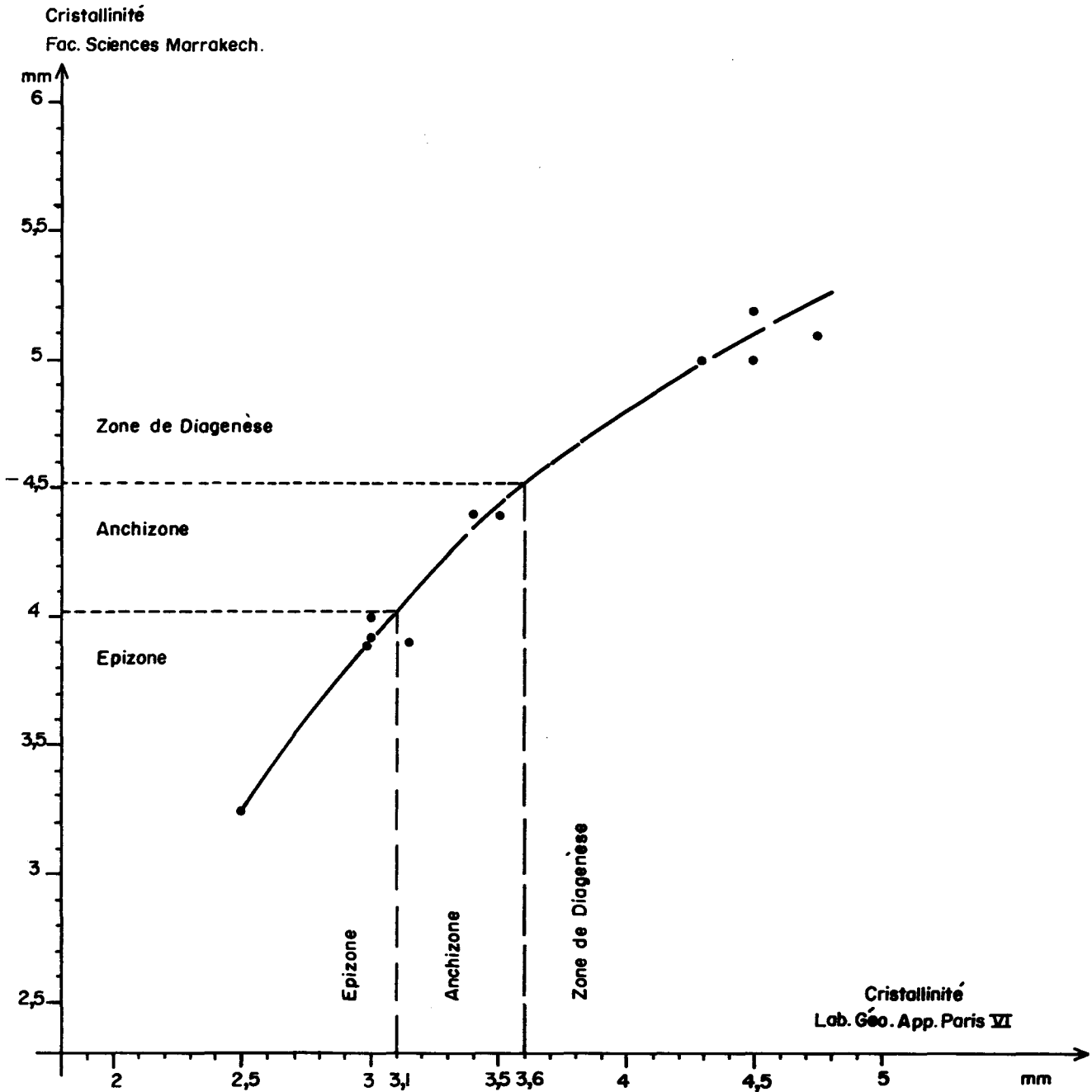


Fig. 1 : Cristallinité de l'illite; courbe d'étalonnage du diffractomètre R.X. de la Faculté des Sciences de Marrakech.

APPLICATIONS

A titre préliminaire, 26 mesures de cristallinité ont été réalisées dans les Jebilet, le Haut Atlas et l'Anti-Atlas. (tableau I et II, fig. 2 et 3).

Dans les Jebilet occidentales, les mesures de la cristallinité effectuées dans des shales de l'Acadien (fig. 2) révèlent que malgré l'épaisseur de la série stratigraphique (HUVELIN, 1977) les sédiments sont restés cantonnés dans le domaine de la diagenèse. Tout au plus peut-on noter une légère amélioration de la cristallinité à l'approche de roches magmatiques intrusives.

Dans la partie centrale des Jebilet, à une dizaine de kilomètres à l'Ouest de Sidi Bou Othmane le flux thermique a été beaucoup plus important puisque les mesures effectuées dans le Viséen témoignent d'un métamorphisme épizonal ou à la limite de l'épizone et de l'anchizone. Ce résultat s'accorde avec les données précédemment acquises par BORDONARO (1982).

Dans le Haut-Atlas de Marrakech, un gradient rapide de la cristallinité s'observe au sein du Viséen. Les couches viséennes sont en effet situées dans le domaine de la diagenèse dans la vallée de l'oued Oukaïmeden, à 1 km du confluent avec l'oued Ourika, alors qu'à une dizaine de kilomètres à l'Ouest elles sont affectées par un métamorphisme épizonal (fig. 2).

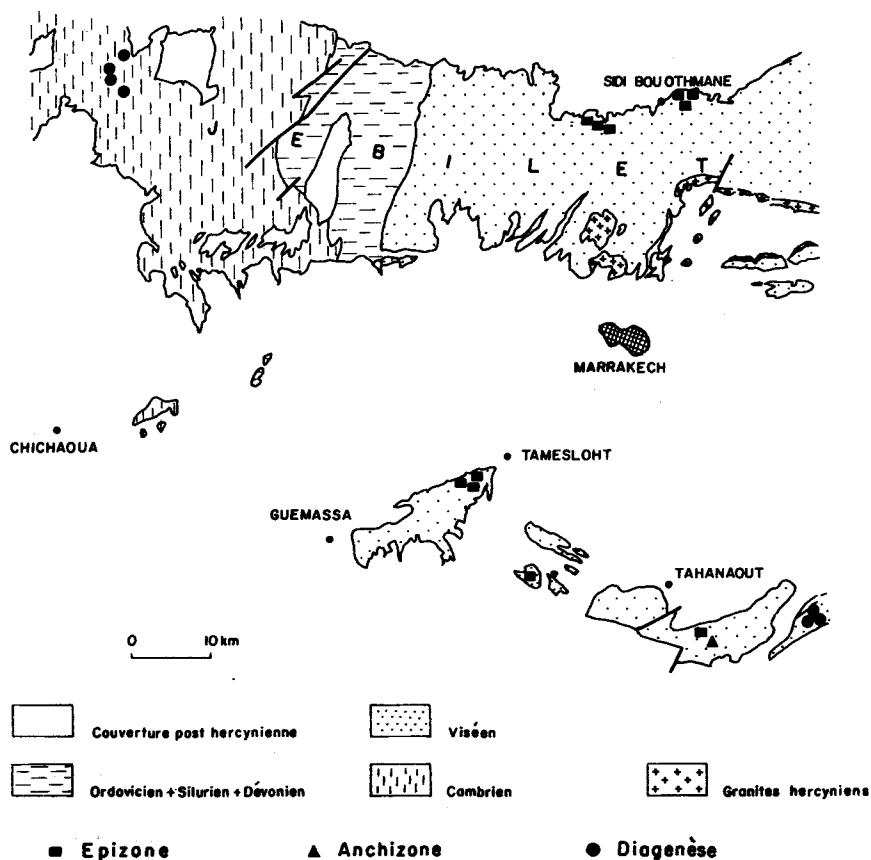


Fig. 2 : Cristallinité de l'illite dans le Paléozoïque des Jebilet, du Horst de Guemassa et du versant nord du Haut Atlas de Marrakech.

Domaine structural		Age	Localisation	N°Echantillon	Valeurs absolues de la cristallinité de l'illite (ou de la muscovite)
Socle calédonno-hercynien quasi-cratonique	Haut Atlas	Ordovicien	Col Tichka	83 - 236	8,9
	Jebilet occidentales	Acadien	Houalka	84 - 21	6
			Draa Sultana	84 - 45	6,5
			Ouled Hamida	84 - 116	4,75
		// //	84 - 123	5,8	
Anti-Atlas	Cambrien	S. Agdz	83 - 235	4,85	
Socle calédonno-hercynien orogénique	Haut Atlas	Viséen	S. Tahnaout	84 - 128	3,9
			//	84 - 129	4,1
			Ourika	84 - 130	4,8
			//	84 - 131	5,8
			//	84 - 132	4,9
			//	84 - 133	6,3
	Horst de Guemassa	Viséen	Aït Daoud	G 10	3,5
			//	G 11	3,5
			//	G 12	3,4
			Lalla Takerkoust	84 - 155	3,5
	Jebilet centrales	Viséen	Laouichat (W. Sidi bou Othmane)	84 - 58	4
			//	84 - 60	3,75
			//	84 - 65	3,8
			Sidi bou Othmane	84 - 90	3,8
			//	84 - 92	3,8
//			84 - 97	3,4	
Socle précambrien	Anti-Atlas	Précambrien II	Oumesnat (N.E. Tafraout)	84 - 230	3,2

Tableau I : Valeurs absolues de la cristallinité de l'illite dans différents domaines structuraux du Maroc au sud des Rehamna.

Plus à l'Est, sur les pentes du col du Tichka, une mesure effectuée dans les schales ordoviciens montre que ceux-ci n'ont subi aucune transformation métamorphique (fig. 3).

Dans l'Anti-Atlas (fig. 3), la meilleure cristallinité s'observe dans les schistes épimétamorphiques du Précambrien II (Massif du Kerdous).

Les schales cambro-ordoviciens entre Bou Azzer et Agdz en revanche appartiennent encore à la zone de diagenèse.

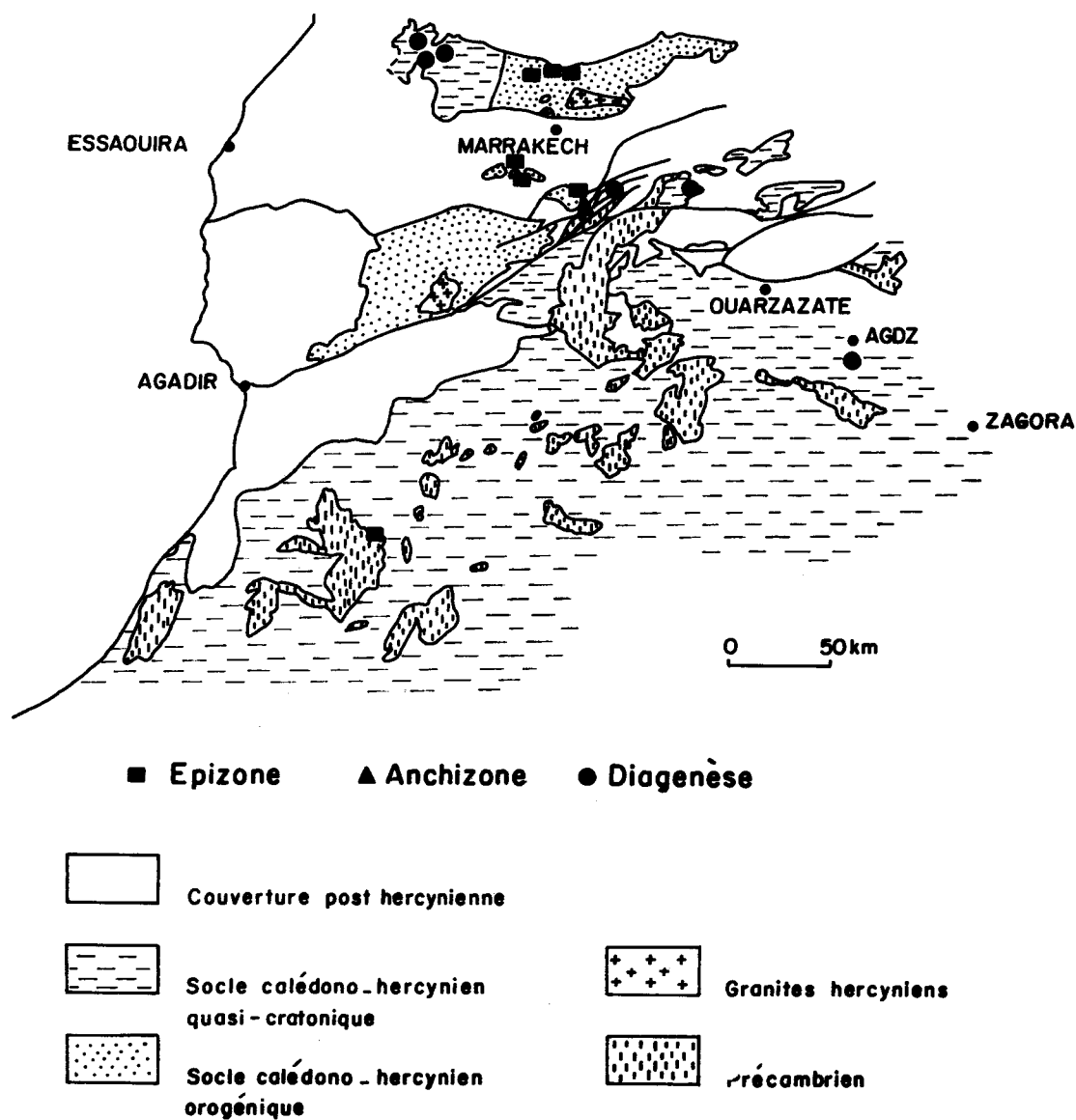


Fig. 3 : Cristallinité de l'illite dans différents domaines structuraux du Maroc, au sud des Rehamna.

Localisation	N°Echantillon	Valeurs absolues de la cristallinité de l'illite
Mine de Koudiat el Hajet (Sidi bou Othmane, Jebilet)	84 - 91	4,5
	84 - 96	6,5
Aït Baha (Anti Atlas)	83 - 231	6

Tableau II : Valeurs absolues de la cristallinité de l'illite dans des zones d'altération hydrothermale.

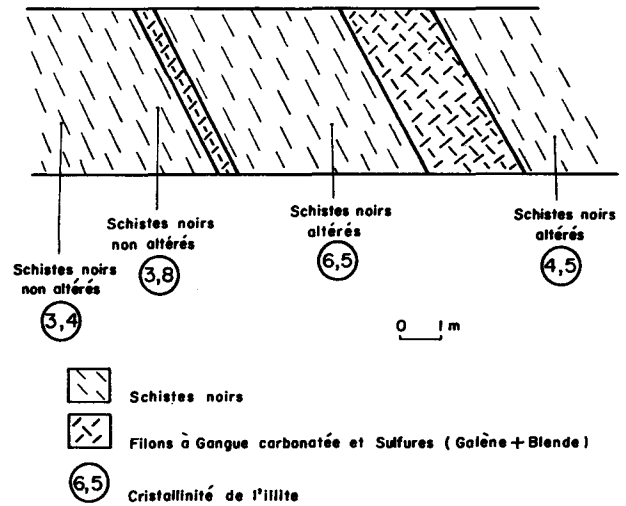


Fig. 4 : Cristallinité de l'illite dans l'encaissant de filons minéralisés (Sidi bou Othmane, Jebilet).

Les mesures de cristallinité de l'illite peuvent être utilisées en outre pour mettre en évidence des altérations hydrothermales (tableau II, fig. 4). Ainsi, dans la mine de Pb-Zn de Sidi Bou Othmane (Jebilet centrales), on note une dégradation de la cristallinité de l'illite au mur et au toit du filon principal (fig. 4) sur une épaisseur de 3 à 4m. Au delà de cette distance, la cristallinité s'améliore et correspond à un métamorphisme épizonal.

L'illite des salbandes argileuses de ce filon présente toutefois une cristallinité bien meilleure que celle des sédiments autuno-stephaniens du sondage OT6 bis (BEAUCHAMP et al., 1984 - 1985) enfouis pourtant à plus de 700 m de profondeur. Ces salbandes argileuses ne peuvent être imputées en conséquence à une simple altération météorique puisque celle ci aurait conduit en effet à des illites très dégradées, à pics de diffraction encore plus larges que les pics de diffraction des illites du sondages OT6 bis.

Dans le Massif du Kerdous (Anti-Atlas), 8 km au S.E. d'Aït Baha des argiles blanches formées aux dépens de granitoïdes renferment de l'illite associée à du quartz et du plagioclase. La cristallinité de l'illite y est proche de celle mesurée dans les schistes altérés au contact du filon à Pb-Zn de Sidi Bou Othmane (Jebilet). Ce résultat s'accorde donc avec l'hypothèse d'une genèse de ces argiles par altération hydrothermale. Une altération météorique aurait conduit au contraire, là aussi, à une illite très dégradée, à pic de diffraction plus large, et donc à une plus forte valeur absolue de l'indice de cristallinité.

CONCLUSIONS

L'étalonnage du diffractomètre R.X. de la Faculté des Sciences de Marrakech a permis, compte tenu des conditions analytiques utilisées, de fixer à 4 et 4,5 les valeurs de la cristallinité de l'illite correspondant respectivement aux limites épizone-anchizone et anchizone - zone de diagenèse.

Désormais, des mesures de cristallinité de l'illite peuvent être réalisées en routine à la Faculté des Sciences de Marrakech.

L'utilisation de cette méthode dans l'étude des transformations diagénétiques ou métamorphiques des terrains paléozoïques, révèle que le Cambro-Ordovicien des domaines quasi-cratoniques (MICHARD, 1976) situés au sud des Rehamna, est resté cantonné dans la zone de diagenèse. Le flux thermique est donc resté très modéré dans ces domaines.

Dans les zones orogéniques les transformations dues au flux thermique sont plus importantes, le Viséen notamment étant situé en majeure partie dans l'épizone. En outre un gradient rapide de température est perceptible sur le flanc nord du Haut-Atlas, puisque le passage épizone-anchizone-zone de diagenèse est réalisé en une dizaine de kilomètres.

L'utilisation de la cristallinité de l'illite peut être étendue à l'étude des altérations hydrothermales en relation ou non avec des dépôts metallifères.

BIBLIOGRAPHIE

- BEAUCHAMP, J., COURTINAT, B., DESTEUCQ, C., FERRANDINI, J., POTHERAT, P., ROY-DIAS, C. et SAGON, J.P. (1984-85). - L'Autuno-stéphanien du sondage OT6 bis dans le Haouz oriental de Marrakech : études préliminaires. *Colloque Bassins sédimentaires marocains*, Rabat; ce volume.
- BORDONARO, M. (1983). - *Tectonique et pétrographie du district à pyrrhotite de Kettara (Paléozoïque des Jbilet, Maroc)*. Thèse 3^{ème} cycle, Univ. Louis Pasteur, Strasbourg.
- BOUABDELLI, M. (1982). - *Stratigraphie et évolution structurale du Paléozoïque d'Azrou (N.E. du Maroc central)*. Thèse 3^{ème} cycle, Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, 164 p.
- CAILLEUX, Y. (1981). - Une carte du métamorphisme hercynien dans l'Ouest du Maroc central, structures thermiques syntectoniques du socle et phénomènes de retard à la cristallisation des illites. *Sci. Géol. Bull.*, Strasbourg, 34 : 89-95.
- DUNOYER DE SEGONZAC, G. (1969). - *Les minéraux argileux dans la diagenèse. Passage au métamorphisme*. Thèse, Doc. d'Etat Strasbourg, Mem. Serv. Carte géol. Als. - Lor., 29 : 320 p.
- GUINIER, A. (1964). - *Théorie et technique de la radio-cristallographie*. Dunod, Paris, 740 p.
- HUVELIN, P. (1977). - Etude géologique et géologique du Massif hercynien des Jebilet (Maroc occidental). *Notes et Mémoires du Service géologique du Maroc*, Rabat, 308 p.
- KUBLER, B. (1964). - Les argiles, indicateurs de métamorphisme. *Rev. I.F.P.*, 19, 10 : 1093-1113.
- MICHARD, A. (1976). - Eléments de géologie Marocaine. *Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc*, 252, Rabat, 408 p.
- PIQUE, A. (1979). - *Evolution structurale d'un segment de la chaîne hercynienne : la Méséta marocaine nord-occidentale*. Thèse Doc. d'Etat, Univ. Louis Pasteur, Strasbourg. *Sci. Géol. Mem.*, 56 : 243.
- STUDER, M.A. (1980). - *Tectonique et pétrographie des roches sédimentaires, éruptives et métamorphiques de la région de Tounfite-Tirrhist (Haut-Atlas Central, Maroc)*. Thèse Univ. Neuchâtel (Suisse) : 95 p.
- WEAVER, C.E. (1960). - Possible uses of clay minerals in search for oil. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Géol.*, 44 : 1505-1518. et *Clays and clay Min. (8th Nat. Conf., 1959)* : 214-227.