

La cristallinité de l'illite et les minéraux argileux en bordure des massifs cristallins externes de Belledonne et du Pelvoux

(Variations et relations possibles
avec des événements tectoniques et métamorphiques alpins)

par Jean APRAHAMIAN *

RÉSUMÉ. — On présente ici les résultats obtenus par l'étude aux rayons X de la fraction argileuse de roches sédimentaires provenant principalement de la bordure des massifs cristallins de Belledonne et du Pelvoux, et des synclinaux situés à l'intérieur de ces massifs.

Les variations constatées d'Ouest en Est semblent correspondre au développement d'un métamorphisme commençant qui couvre toute l'anchizone et atteint l'épizone.

Ce métamorphisme commençant touche des niveaux stratigraphiques différents ; on le rencontre généralement dans le Lias, parfois dans le Dogger, mais il peut aussi d'une part affecter l'Eocène (flysch des Aiguilles d'Arves, grès du Champsaur) et d'autre part épargner du Lias situé à proximité immédiate du socle du Pelvoux. C'est le cas de la région d'Aspres au Sud de Corps. Dans ce secteur le schéma de la répartition géographique des variations de cristallinité montre une discontinuité importante située sur la zone fracturée de Beaufin. Les transformations minéralogiques seraient antérieures à un rejeu important de cette fracture. Par rapprochement avec le Dévoluy on peut être tenté d'avancer, à titre d'hypothèse, un âge antésénonien pour les transformations et le décalage, une deuxième période de recristallisation post-priabonienne atteignant les grès du Champsaur. Comme autres hypothèses, on peut envisager deux épisodes de recristallisation, l'un post-priabonien (Champsaur), l'autre d'âge inconnu, suivi par un décalage tectonique d'âge également inconnu ; ou bien une seule recristallisation post-priabonienne, le décalage devant être alors post-priabonien.

SUMMARY. — This paper presents the results yielded by x-ray study of the clayey fraction of sedimentary rocks collected mainly on the border of the Belledonne and Pelvoux crystalline massifs, and in those synclines which are located within both massifs.

The variations observed from the West to the East seem to correspond with development of an incipient metamorphism covering the whole of the anchizone and reaching into the epizone.

This incipient metamorphism affects various stratigraphic levels ; it is usually observed in the Lias, sometimes in the Dogger, but it may also affect the Eocene (« flysch des Aiguilles d'Arves » and « grès du Champsaur »), while Liassic formations located in the immediate vicinity of the Pelvoux basement are not acted upon.

This is what happens in the Aspres region, South of Corps. In this area, the pattern of geographic distribution of crystallinity variations exhibits an important break up located on the Beaufin fracture zone. The mineralogical transformations would thus antedate an important displacement along this fracture. By analogy with the Devoluy area, it is tempting, as an hypothesis, to suggest that transformations and displacement are all of ante-Senonian age, a second post-Priabonian transformation acting upon the « grès du Champsaur ».

Other hypotheses are : (a) Two distinct recrystallization events, one of post-Priabonian age (Champsaur), the other one of unknown age, followed by a tectonic displacement, also of unknown age. Or (b) one single recrystallization of post-Priabonian age, the displacement then would have to be post-Priabonian.

Introduction : objet de l'étude, travaux antérieurs.

La présente étude porte sur la fraction argileuse d'échantillons prélevés dans des niveaux sédimentaires en bordure du socle cristallin et métamorphique des massifs de Belledonne et du Pelvoux, en vue d'y déceler des traces du (ou des) métamorphisme(s) alpin(s) et de préciser l'extension, l'importance et si possible l'âge des transformations éventuelles.

Les travaux de nombreux auteurs (dont WEAVER, KUBLER, DUNOYER DE SEGONZAC, ARTRU, ESQUEVIN, FREY) ont montré par quelles méthodes et de quelle manière l'étude de la fraction argileuse des roches pouvait donner des indications sur le passage de la diagenèse au métamorphisme. Quelques-uns de ces travaux sont cités dans la liste bibliographique. L'étude de DUNOYER DE SEGONZAC (1969) donne une quantité de renseignements fondamentaux et une bibliographie très importante à ce sujet.

Plusieurs applications ont déjà été faites dans le domaine alpin par FREY (1969) en Suisse, DUNOYER DE SEGONZAC, ARTRU et FERRERO (1965), puis ARTRU, DUNOYER, COMBAZ, GIRAUD (1969) dans les Terres noires du bassin de la Durance, reprises par DUNOYER (1969) qui a également abordé dans les Alpes occidentales l'exemple des calcschistes du Crétacé supérieur de la zone briançonnaise et celui des quartzites et des schistes lustrés de la zone piémontaise, faisant ainsi le passage au métamorphisme. Le travail d'ARTRU (1972) porte sur l'ensemble des Terres noires du bassin rhodanien.

On trouve également dans un résumé de KUBLER (1969) des indications en particulier sur les Aravis, les Bornes, le synclinal de Chamonix, ceux de Bourg-d'Oisans et de Belledonne.

Ces études indiquent qu'il existe sur la bordure des Alpes et en se déplaçant vers l'intérieur une diagenèse croissante qui passe progressivement, par l'intermédiaire de ce que KUBLER a appelé la zone anchimétamorphique, à un métamorphisme d'épizone.

Techniques utilisées.

La préparation des échantillons (séparation de la fraction argileuse = particules $< 2 \mu$) a été faite selon la méthode préconisée par le Centre de Sédimentologie et de Géochimie de la Surface de Strasbourg. Les plaquettes d'agrégats orientés ont ensuite été passées aux rayons X, sur un diffractomètre enregistreur Philips, pour la détermination semi-quantitative des minéraux argileux et la mesure de la cristallinité de l'illite.

La détermination des minéraux utilise les trois enregistrements : (1) normal, (2) après essai de gonflement (traitement aux vapeurs d'éthylène glycol sous vide), (3) après chauffage (490° pendant 4 h).

La mesure de la cristallinité de l'illite a été faite selon la méthode inaugurée par KUBLER (largeur en mm du pic à $\cong 10 \text{ \AA}$, à mi-hauteur au-dessus du bruit de fond sur l'enregistrement normal) et en faisant la moyenne des valeurs sur deux enregistrements successifs. Les limites de l'anchizone sont définies par KUBLER à partir des valeurs de cet indice, mais ces valeurs dépendent des conditions expérimentales. Un étalonnage a été effectué avec la collaboration de KUBLER¹ à partir d'une série d'échantillons couvrant une large gamme de cristallinités. La comparaison a été faite sur la moyenne de 10 mesures par échantillon, pour limiter l'effet

¹ Je remercie ici B. KUBLER pour cette aide précieuse.

des fluctuations. Les lots de 10 mesures présentant des fluctuations trop importantes par rapport à la moyenne ont été refaits ou écartés.

Les conditions expérimentales utilisées sont les suivantes (diffractomètre enregistreur Philips, baie transistorisée) :

- rayonnement Cu K α (filtre Ni) ;
- alimentation tube : 40 kV, 20 mA ;
- compteur proportionnel, alimentation : 1 590 V ;
- discrimination (seuil uniquement) : 100 ;
- constance de temps : 2 sec. ;
- échelle : 4.10^2 à 2.10^3 (en général 1.10^3) ;
- enregistreur : 800 mm/h ;
- goniomètre : 1° 2θ /min., fentes 1° , $0,1^\circ$, $\frac{1}{2}^\circ$.

Dans ces conditions les équivalences pour les valeurs de l'indice de cristallinité définissant l'anchizone d'après KUBLER sont :

- limite supérieure (passage à la diagenèse) : 5,2 à 5,3 ;
- limite inférieure (passage à l'épizone) : 2,8 à 2,9.

Des essais de détermination du type polymorphe de l'illite ont été tentés, sur diagrammes de poudre désorientée de la fraction argileuse ($< 2 \mu$). Les dosages du rapport des polymorphes 2M et 1M ou 1Md ont été abandonnés faute d'échantillons de référence pour établir une courbe d'étalonnage.

Provenance géographique et répartition stratigraphique des échantillons.

Les échantillons, autant que possible non altérés, ont été prélevés à des distances variables du socle sur différentes transversales et itinéraires situés :

- au Nord de Grenoble : surtout sur la rive gauche de l'Isère et jusqu'au niveau d'Allevard ;
- au Sud de Grenoble :
 - le long de la vallée de la Romanche jusqu'au col du Lautaret,
 - sur la rive droite du Drac : pourtour du massif de La Mure, Triève, Beaumont, Champsaur ;
- sur le revers interne du Pelvoux trois coupes ont été effectuées dans les grès du Champsaur en commun avec J.-P. USELLE ² ;
- plus au Sud quelques échantillons proviennent des environs de Barles, dans l'autochtone et dans la série chevauchante au-dessus du chevauchement de Digne.

L'échantillonnage est non seulement assez dispersé au point de vue géographique, mais également au point de vue stratigraphique : il comporte des éléments allant du Houiller au Tertiaire ³.

Dans le but poursuivi il n'a pas été possible de s'adresser à un niveau unique et homogène, ce qui aurait permis d'éliminer l'influence de facteurs tels que les différences dans la composition chimique globale, dans la proportion de matériel détritique et son état d'altération.

On précisera cependant :

1° que la grande majorité des échantillons proviennent de séries calcaréo-argileuses, surtout Lias-Dogger-Terres noires, ce qui limite déjà l'éventail stratigraphique et correspond dans le secteur étudié à des formations lithologiques ayant passablement de parenté ;

2° qu'à niveau stratigraphique équivalent on n'aurait quand même pas pu, sur l'extension du secteur étudié, exclure l'influence des variations de faciès.

La prudence est donc indispensable dans l'interprétation de ce genre de résultats et particulièrement de ceux qui vont suivre. Seule l'accumulation de résultats concordants obtenus par plusieurs méthodes peut permettre d'aboutir à une solution digne de confiance.

Les échantillons étudiés ici uniquement au moyen des rayons X sont au nombre de 300 environ. Le report des mesures effectuées jusqu'ici s'ordonnant de façon cohérente, il a paru intéressant de présenter dès maintenant un schéma provisoire, quitte à le remanier par la suite.

Résultats.

Ils seront résumés en partant d'une transversale de base au long de laquelle on indiquera d'abord la nature des minéraux argileux, puis les variations de cristallinité de l'illite. Cette transversale débute aux environs de Grenoble pour se terminer au col du Lautaret, on envisagera ensuite les différences ou similitudes en allant au Nord, puis au Sud.

² L'étude détaillée de ces coupes fera l'objet d'un travail commun ultérieur. Je remercie J.-P. USELLE de m'avoir autorisé à faire état dès maintenant des résultats globaux concernant la nature des minéraux argileux et la cristallinité des illites.

³ Pour les attributions stratigraphiques on s'est référé essentiellement aux cartes géologiques existantes.

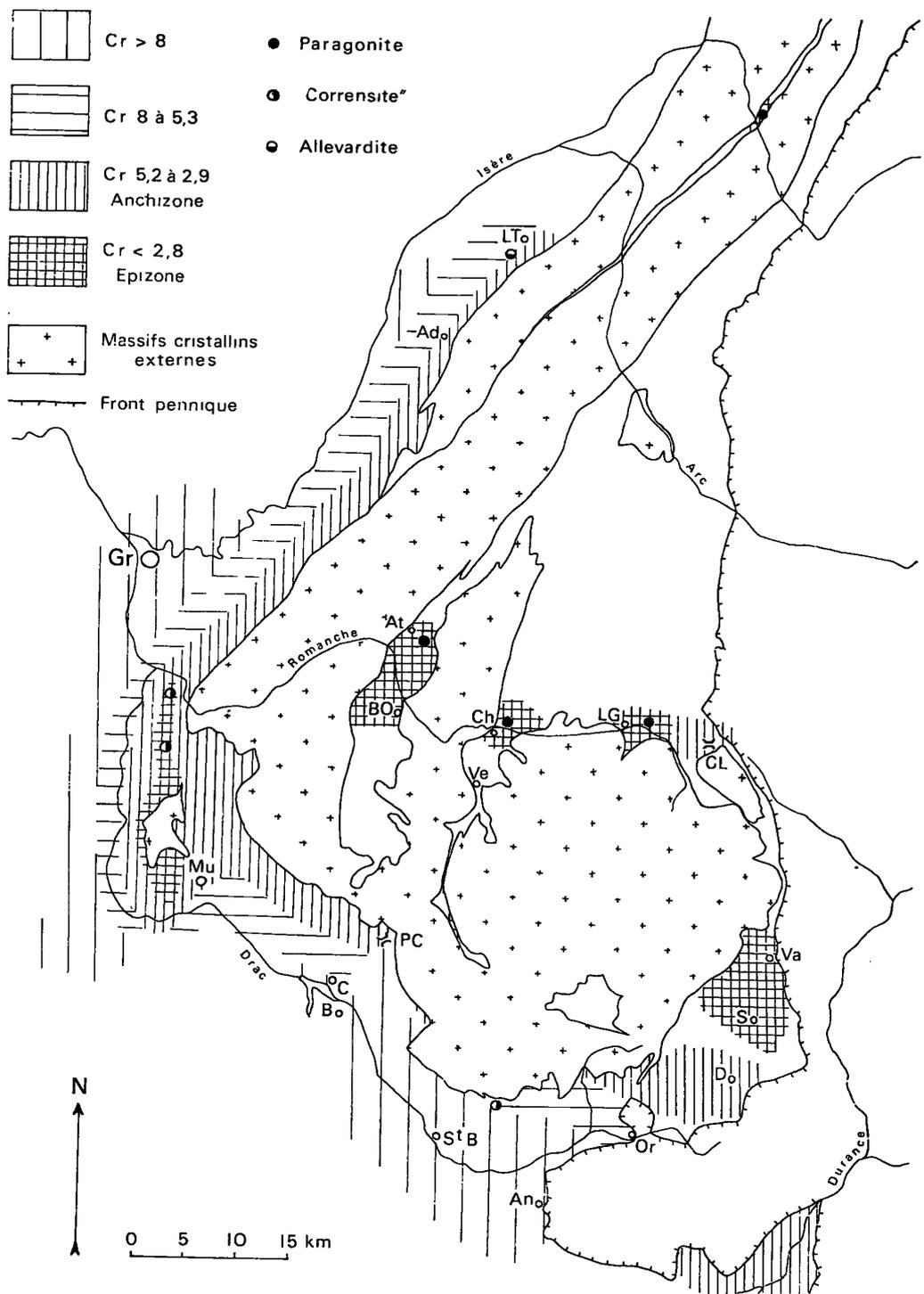


Fig. 1. — Schéma de la répartition géographique des variations de l'indice de cristallinité de l'illite (Cr).

Abréviations : Ad, Allevard ; An, Ancelle ; At, Allemont ; B, Beaufin ; BO, Bourg d'Oisans ; C, Corps ; Ch, Le Chambon ; CL, Col du Lautaret ; D, Dormillouse ; Gr, Grenoble ; LG, La Grave ; LT, La Table ; Mu, La Mure ; Or, Orcières ; PC, Col de Prés Clos ; S, Haute Salce ; Va, Vallouise ; Ve, Venosc.

DANS LA TRANSVERSALE TYPE PRISE AUX ENVIRONS DE GRENOBLE, on constate des variations importantes à mesure que l'on descend la série stratigraphique et que l'on s'approche donc du socle.

Nature des minéraux argileux.

A l'W de Grenoble. Le Crétacé inférieur peut contenir : montmorillonite dominante + illite + kaolinite éventuellement. Vers sa base la montmorillonite est remplacée par un interstratifié illite-montmorillonite. La chlorite accompagne la kaolinite.

Dans le Tithonique l'interstratifié illite-montmorillonite tend à diminuer en importance et à ne pas donner un pic séparé de celui de l'illite.

Cette tendance continue jusqu'aux Terres noires où le pic des illites montre seulement une dissymétrie qui n'est que faiblement modifiée par le traitement à l'éthylène glycol (illite ouverte) ; la kaolinite peut encore exister parfois.

A l'Est de Grenoble, dans le Dogger puis le Lias on ne rencontre plus qu'illite et chlorite. La dissymétrie du pic des illites persiste d'abord (mais n'est plus influencée par l'éthylène glycol), puis s'atténue. La chlorite devient plus résistante au chauffage (persistance d'un pic à 7 Å encore important sur l'enregistrement après chauffage). Enfin, dans les synclinaux pincés dans le socle (synclinal médian, synclinaux de Bourg-d'Oisans, de Venosc, environs de La Grave), on rencontre par place de la paragonite (identifiée par l'existence des trois raies à 9,7, 4,82 et 3,24 Å).

Ces synclinaux peuvent montrer un peu de Houiller (Allemont, le Chambon), qui contient illite et chlorite. Ces minéraux se comportent comme ceux du Lias. On peut faire la même observation sur le flysch des Aiguilles d'Arves et aussi sur le Jurassique moyen subbriançonnais prélevés au col du Lautaret où se termine cette transversale.

Dans l'ensemble des échantillons étudiés il n'a pas été rencontré d'interstratifié régulier du type allevardite (interstratifié régulier illite-montmorillonite), sauf dans la localité type à la Table, mais elle est alors dans des filons, associée avec quartz et calcite. L'encaissant attribué au Dogger ne montre qu'illite dominante et chlorite.

Par contre un échantillon de Lias inférieur provenant des Combes-de-Champ près de Jarrie, au

voisinage de Grenoble, montre l'existence d'un interstratifié ayant les raies suivantes :

- normal : 30,5 et 14,6 Å ;
- éthylène glycol : 31,5, 15,5 et 7,7 Å ;
- chauffé : dôme peu net à 27-28 ; 13,70 Å.

Il s'agirait donc d'un interstratifié régulier composé de feuillet type chlorite et montmorillonite, comme la corrensite, mais avec une proportion de feuillet type montmorillonite qui serait de 1/3 (au lieu de 1/2).

Deux autres agrégats montrent un comportement assez semblable, l'un correspond à du Trias dolomitique du massif du Connexe, l'autre à un grès moucheté du Champsaur, que l'on examinera plus loin.

Cristallinité et polymorphes des illites.

De même que la nature des minéraux argileux, la *cristallinité* des illites varie notablement sur la transversale envisagée. Faible (pics larges) dans le haut de la série, elle s'améliore progressivement vers le bas⁴.

Dans le Crétacé les valeurs de l'indice peuvent dépasser 40, elles tombent aux alentours de 20 dans le Tithonique, 10 pour les Terres noires, 7 à 5 pour le Dogger, puis 5 à 2,5 pour le Lias.

Dans le Houiller les cristallinités (2,8) sont du même ordre que pour le Lias voisin ; il en va de même pour le flysch des Aiguilles d'Arves (3,5) et le Jurassique moyen subbriançonnais (3,6).

Les valeurs indiquées ci-dessus sont des moyennes ; dans le détail on constate que l'amélioration des cristallinités s'accompagne d'une diminution de la dispersion des valeurs de Cr : la différence de cristallinité entre des échantillons prélevés par exemple dans deux bancs voisins devient de plus en plus faible, tendant à devenir indépendante de la lithologie. Cependant la présence de paragonite introduit une perturbation nette dans cette progression qui serait par ailleurs régulière. Les niveaux à paragonite ont un Cr de 4 environ, alors que dans les niveaux voisins qui en sont dépourvus le Cr est seulement de 2,8. Des anomalies semblables ont été relevées par DUNOYER

⁴ Les chiffres qui seront cités sont des indices de cristallinité (abréviation : Cr). Précisons bien, pour le lecteur non averti, qu'une cristallinité forte ou bonne s'exprime par un Cr *plus petit* qu'une cristallinité faible ou mauvaise.

(1969). On reviendra plus loin sur l'explication de cette anomalie.

D'après les quelques essais effectués pour les polymorphes la variété 1M ou 1Md est présente dans le haut de la série avec plus ou moins de 2M, mais ce dernier peut très bien être d'origine détritique. Le polymorphe 2M devient de plus en plus net à partir du Dogger et il est en tout cas prédominant et vraisemblablement seul représenté dans le Lias.

Des variations identiques dans la nature des argiles et les valeurs de la cristallinité se retrouvent sur les différentes transversales depuis Alleverd jusqu'aux environs de Corps.

AU SUD DE CORPS.

Le Champsaur et ses abords.

Du Tithonique aux Terres noires les variations dans la nature des argiles et la cristallinité sont à peu près comparables à celles que l'on rencontre plus au Nord. Des différences assez sensibles interviennent pour le Dogger et surtout le Lias. La composition argileuse globale correspond toujours à l'association illite-chlorite, mais ces minéraux sont nettement influencés par les différents traitements.

Le pic à 10 Å des illites est nettement dissymétrique sur l'enregistrement normal. Il devient plus symétrique après traitement à l'éthylène glycol pour redevenir nettement dissymétrique après chauffage. Ce comportement correspond à l'existence, dans ces illites, d'un certain nombre de particules contenant des feuillettes à comportement de montmorillonite et de chlorite.

La chlorite reste dans l'ensemble assez sensible au chauffage.

Quant aux cristallinités elles restent généralement assez faibles ($Cr > 8$), même au voisinage immédiat du socle ; en deux points seulement le Cr se rapproche de 5 ; il s'agit de l'entrée du Valgaudemar et des environs de Champoléon. C'est à peu près à mi-chemin entre ces deux points qu'apparaissent les premiers affleurements tertiaires (sous le sommet de Queyron à l'Est de St-Bonnet) avec de bas en haut : schistes à globigérines, calcaires à nummulites (Priabonien) et grès du Champsaur. Les calcaires et schistes contiennent essentiellement chlorite et illite avec une proportion non négligeable de feuillettes montmorillonite et chlorite, plus

parfois un peu de kaolinite (dédoublément du pic vers 3,50 Å). Les cristallinités sont faibles ($Cr = 8$ à 11).

Un grès moucheté (faciès à laumontite signalé par MARTINI et VUAGNAT, 1965, 1967) contient un interstratifié régulier dont le comportement indique qu'il est constitué de montmorillonite et chlorite en proportions équivalentes ; il s'agirait donc de corrensite. Par rapport aux autres interstratifiés réguliers signalés plus haut (Combes-de-Champ, Connexe) les pics sont plus larges, indiquant probablement une cristallisation moins bonne.

Pour ce grès l'enregistrement ne montre pas d'autres minéraux argileux nets ; il y a seulement des traces possibles d'illite et chlorite ; mais les schistes intercalés entre les bancs de grès contiennent de l'illite nette ($Cr 7,5$), de la chlorite et en proportion moindre un ou plusieurs interstratifiés comportant des feuillettes illite montmorillonite et chlorite.

Les schistes et calcaires inférieurs montrent en d'autres points des compositions et des cristallinités différentes : près du confluent du Drac d'Orcières et du Drac de Champoléon : illite ($Cr 6$ à 8) avec quelques feuillettes montmorillonite et chlorite, chlorite ; près de Champoléon : illite seule ($Cr \cong 5$, échantillons voisinant avec des grès mouchetés).

Plus au Sud, sous le sommet Philippe au S d'Annelles les interstratifiés illite-montmorillonite-chlorite prennent plus d'importance ; ils accompagnent l'illite, la chlorite et un peu de kaolinite. Les cristallinités sont très faibles ($Cr 20$ à 30). Il n'y a pas en cet endroit de faciès moucheté dans les grès.

Tous ces points cités pour le Tertiaire sont proches de la surface de transgression et le substratum liasique à jurassique donne pour les illites une cristallinité de valeur comparable et présentant les mêmes variations.

Les « Grès du Champsaur » du versant sud-ouest du Pelvoux.

Les grès du versant sud-ouest du Pelvoux ont été prélevés sur trois coupes, pour chaque coupe une dizaine d'échantillons ont été traités. Au point de vue minéralogique l'association rencontrée est constamment illite dominante et chlorite, sans différence apparente entre schistes et grès. L'illite est insensible aux traitements et la chlorite dans l'ensemble assez résistante au chauffage.

Les variations interviennent surtout au niveau de la cristallinité qui varie plus ou moins à l'intérieur d'une même coupe (cristallinité plus faible dans le haut de la coupe) et d'une coupe à l'autre (la cristallinité est meilleure au N qu'au S). La première coupe, située à l'Ouest de Vallouise, donne pour la cristallinité des chiffres allant de 2,8 vers le bas à 3,1 en haut. La deuxième, prise dans le vallon du torrent de Fournel (Haute-Salce), commence avec des valeurs comparables dans le bas et arrive à 3,4 dans le haut. La troisième, dans la région de Dourmillouse, ne commence qu'à 3 (près de la transgression sur du Trias qui donne 3,4) et atteint 4,8.

La nappe du flysch.

Les prélèvements étudiés, au nombre de huit, sont encore insuffisants pour l'instant. On a observé illite (Cr 6) et chlorite à Orcières dans le flysch noir. Près d'Annelles : illite (Cr 12 à 17), interstratifiés, chlorite dans le flysch noir (éocène) ; les mêmes constituants (illite à Cr 12) plus un peu de kaolinite dans le flysch du Subbriançonnais (Sénonien).

Les abords du chevauchement de Digne.

Les échantillons proviennent de la série chevauchante et de la série inférieure autochtone près de Barles.

Dans l'autochtone on a :

- pour la molasse rouge d'Esclangon : montmorillonite dominante, illite (Cr 40), chlorite ;
- pour les terres noires : illite (Cr 13), interstratifiés (illite-montmorillonite-chlorite), un peu de chlorite et de kaolinite ;
- pour les schistes noirs de l'Infralias à Barles : illite dominante (Cr 8), un peu de chlorite ;
- pour les schistes noirs du Houiller de Barles : illite dominante (Cr 8), traces de chlorite.

Les illites de l'Infralias et du Houiller ont un pic à 10 Å large, modifié par l'éthylène glycol et le chauffage.

Dans la série chevauchante :

- au pas de Blayeul les argilites du Trias et les schistes noirs de l'Infralias sont à illite dominante (Cr 3 à 3,5), insensible aux traitements, et chlorite résistante au chauffage ;

— à Esclangon la composition minéralogique est la même pour ces niveaux noirs ; les cristallinités diffèrent légèrement : Cr 3,2 à 4,5. Ces observations rejoignent celles de DUNOYER, ABBAS et LEMOINE (1974) sur le Rhétien.

La partie supérieure de la série (Domérien et Toarcien à l'intérieur du lobe de la Robine) montre toujours illite et chlorite, mais ces minéraux sont nettement influencés par les divers traitements. Les indices de cristallinité sont de 10 pour le Domérien et 12 pour le Toarcien.

Interprétation et discussion des résultats.

VARIATIONS DANS LA NATURE DES MINÉRAUX ARGILEUX ET DANS LA CRISTALLINITÉ DE L'ILLITE.

Dans l'exposé des résultats on a pu constater une certaine coïncidence entre les variations dans la nature des minéraux argileux et celles de la cristallinité. Les cristallinités faibles se rencontrent pour des échantillons contenant de la montmorillonite ou des interstratifiés illite-montmorillonite, avec parfois de la kaolinite. La proportion de ces minéraux diminue quand la cristallinité augmente. Quand on atteint l'anchizone (Cr 5,2 - 5,3) on a en règle générale l'association illite-chlorite. Les illites ont des pics dissymétriques, mais insensibles aux traitements. Les chlorites tendent à devenir résistantes au chauffage.

Les échantillons à paragonite ont une cristallinité faible (Cr 4), par comparaison avec des échantillons voisins sans paragonite à cristallinité de limite inférieure d'anchizone ou plus élevée (Cr 2,8). Cette anomalie s'explique par la superposition partielle des deux pics de l'illite ($\cong 10 \text{ \AA}$) et de la paragonite (9,7 Å). Cette explication est inspirée de DUNOYER (1969) qui considère par ailleurs la paragonite comme un indicateur d'épizone. Les interstratifiés réguliers montmorillonite-chlorite rencontrés dans le Lias inférieur et le Trias sont situés dans un contexte de cristallinité voisin de celui de la paragonite.

Entre Allevard et Corps les cristallinités appartenant à l'anchizone correspondent pratiquement toutes à des échantillons de Lias ; le Dogger a parfois des cristallinités à la limite supérieure de l'anchizone.

On peut se demander quelle est l'origine de ces cristallinités élevées : s'agit-il réellement de « recristallisations », ou bien d'un matériel plus cristallin dès l'origine (à cause par exemple d'une érosion rapide et/ou d'une altération faible) ? On remarquera à ce sujet que :

1° Les évolutions observées correspondent bien à celles qui sont décrites dans les études sur le passage de la diagenèse au métamorphisme, avec en particulier une uniformisation des cristallinités qui deviennent indépendantes de la lithologie à partir de l'anchizone.

2° Les cristallinités ne sont pas forcément équivalentes à niveau stratigraphique équivalent. Entre Allevard et Corps on observe le plus souvent des cristallinités d'anchizone dans le Lias, mais elles peuvent n'en affecter qu'une partie, ou bien la totalité et même atteindre le Dogger, par exemple aux environs de La Grave et du col du Lautaret où le phénomène s'observe aussi pour le flysch des Aiguilles d'Arves. Mais au Sud de Corps (région d'Aspres et au-delà), pratiquement pour l'ensemble du Lias, même au voisinage du socle, les cristallinités observées sont nettement plus faibles (Cr 9-10). Pourtant les faciès sont apparemment semblables à ceux du Beaumont et de la Salette, situés à proximité immédiate et qui ont des cristallinités d'anchizone.

3° Les différences de cristallinité sont particulièrement nettes au voisinage du chevauchement de Digne où il paraît difficile de ne pas admettre des modifications dans la base de la série chevauchante, antérieurement à la mise en place de la nappe. Il y a bien là un métamorphisme commençant, d'âge alpin.

4° Les résultats obtenus pour les grès du Champsaur et leur substratum indiquent bien qu'ils ont eux aussi subi les effets d'un tel métamorphisme : faciès à laumontite (Querel, Champoléon) pour des cristallinités comprises entre 8-9 et —5 environ (ce qui place le faciès à zéolites en tout ou en partie au-dessus de l'anchizone ; cf. FREY et NIGGLI, 1971), anchizone à Dourmillouse (et dans le flysch des Aiguilles d'Arves), limite de l'épizone plus au Nord (Haute-Salce, Vallouise).

5° Dans le socle cristallin et métamorphique diverses études ont montré l'existence de transformations et recristallisations attribuées à un méta-

morphisme alpin relativement léger. Dans une étude récente portant sur les spilites et les filons basiques du Pelvoux et de ses bordures, AUMAITRE et BUFFET (1973) ont montré une amélioration de la cristallinité des micas (dans les spilites et les niveaux intercalés) de la bordure du massif vers le centre, et ont trouvé qu'on observait simultanément « le caractère de plus en plus accusé du faciès schistes verts ». Les spilites les moins atteints se trouvent dans le Beaumont et à Beaufin.

6° Il existe des cas dans lesquels on observe des cristallinités élevées qui sont « héritées ». On en citera deux exemples qui sont manifestes puisqu'il s'agit de Quaternaire : les argiles d'Eybens et le matériel fin actuellement déposé ou transporté en suspension par l'Isère. La fraction argileuse contient illite et chlorite. L'illite a une cristallinité d'anchizone (Cr 4,7-4,8 à Eybens ; 4,1-4,3 pour l'Isère), mais la dissymétrie de la base du pic à 10 Å est atténuée par le traitement à l'éthylène glycol et le chauffage de façon nette à Eybens, plus discrète pour l'Isère. Ces modifications traduisent certainement l'influence d'une légère altération. On n'a pas relevé de modifications semblables dans les cas de cristallinités d'anchizone dont il a été question plus haut, sauf pour les prélèvements effectués sur des affleurements ayant subi une longue altération superficielle (par exemple schistes partiellement désagrégés et décolorés). Les niveaux en place, non altérés, ont donc une cristallisation très rigoureuse. Il est difficile d'admettre qu'une telle régularité ait pu exister dès la mise en place du sédiment.

On peut donc penser que les cristallinités d'anchizone observées traduisent bien un phénomène de recristallisation correspondant à un métamorphisme léger :

- puisque des traces d'un tel métamorphisme ont été relevées dans les études pétrographiques sur le socle et les spilites du Trias et que les niveaux étudiés ici prennent le relais ;
- puisque les différents niveaux stratigraphiques du Trias ou du Dogger, puis le Tertiaire, sont atteints à des degrés divers ;
- puisque aussi on peut relever une différence de comportement qui semble significative entre les niveaux que l'on considère comme atteints par un anchimétamorphisme et des formations quaternaires à cristallinité comparable mais héritée.

RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE DES VARIATIONS DE CRISTALLINITÉ.

La répartition géographique et l'évolution des cristallinités est montrée par le schéma ci-joint, où l'on a indiqué les secteurs ayant des cristallinités d'épizone ($Cr < 2,8$) et d'anchizone ($5,3 < Cr < 2,8$). La zone de diagenèse a été subdivisée en deux en choisissant un indice de cristallinité de 8, cette cristallinité étant apparemment celle qui accompagne l'apparition du faciès à laumontite, ce faciès qui, comme on l'a vu, correspond à des recristallisations moins prononcées que celles de l'anchizone⁵. Par ailleurs cette limite correspond à peu près à celle utilisée par ARTRU pour séparer diagenèse normale et diagenèse avancée. On a également porté les points où ont été rencontrés de la paragonite et des interstratifiés de type corrensite ou allevardite.

En ce qui concerne l'allevardite on remarquera qu'elle se situe à la limite supérieure de l'anchizone, comme celle qui a été rencontrée dans la masse des sédiments par divers auteurs (DUNOYER, ARTRU), bien qu'elle soit ici dans des fissures⁶.

La « corrensite » occupe deux positions assez différentes, l'une à la limite de l'épizone (Combes de Champs, Connexe), l'autre au voisinage de la limite du faciès à zéolites. On peut penser que dans le premier cas il s'agit de néoformation dans des conditions voisines de l'épimétamorphisme, d'autant que la cristallisation est assez bonne, comme on l'avait relevé plus haut. DUNOYER, ABBAS et LEMOINE (1974) proposent cette explication pour la présence de montmorillonite dans le Rhétien briançonnais avec un contexte voisin. Dans le deuxième cas on pourrait être en présence d'un stade intermédiaire dans la réorganisation d'un interstratifié (en cours de transformation vers la chlorite), suivant le schéma proposé par DUNOYER (1969, p. 233). Ce type d'interstratifié pourrait alors se rencontrer à deux étapes nettement distinctes dans le passage de la diagenèse au métamorphisme.

Dans la partie nord du schéma les zones enveloppent la bordure externe des massifs cristallins de plus en plus étroitement pour des cristallinités croissantes, tout en englobant le massif de La Mure. Du côté interne on retrouve une amorce possible de cette disposition avec des cristallinités légèrement plus faibles au col du Lautaret qu'à La Grave (la zone la plus transformée pourrait se situer entre

Bourg-d'Oisans ou le barrage du Chambon et La Grave).

Une telle disposition suggère une influence venant des massifs cristallins. Cette influence doit être thermique puisque KUBLER (1967) a montré le rôle déterminant de l'élévation de température pour l'amélioration des cristallinités. Il y aurait là une sorte d'« effet de socle ».

Le secteur de Corps - Beaufin - Aspres montre une discontinuité importante : la zone de diagenèse normale au Sud affronte pratiquement la zone anchimétamorphique et la zone de diagenèse avancée ; en contournant le Pelvoux par le Sud la nouvelle disposition observée suggère que les « isogrades » de cristallinité ne sont plus moulées sur la limite du massif cristallin mais la recourent : il ne s'agirait plus ici d'un effet de socle.

Faut-il donc admettre un comportement thermique différent du massif du Pelvoux et de ceux de Belledonne - La Mure ? Mais même dans ce cas on n'explique pas la disparition brutale des zones de diagenèse avancée et anchimétamorphique. En effet, le décalage apparent est de plus de 5 km et les points de mesures distants de 2 km environ ne permettent pas d'envisager un raccord progressif.

On est donc conduit normalement à envisager un événement tectonique postérieur aux recristallisations.

La zone où s'observe cette discontinuité correspond effectivement à une bande fortement tectonisée et jalonnée par plusieurs pointements de socle dont le plus gros est situé à Beaufin et les autres, plus petits, alignés approximativement entre Beaufin et le col de Prés Clos.

Pour provoquer le décalage apparent observé, cette zone a dû jouer de façon importante postérieurement à l'acquisition des cristallinités. Dans une note récente ARNAUD (1974) décrit dans le Dévoluy occidental (environs de la Jarjatte) « une tectonique « antésénonienne » complexe caractérisée par l'importance du rôle des fractures antécampa-

⁵ Entre Allevard et Corps le tracé de cette limite confirme celui qui a été établi antérieurement à partir d'un nombre plus réduit de points, pour la carte zonéographique des Alpes (J. BOCQUET et al., 1973-74).

⁶ Dans ces fissures elle est accompagnée par du quartz et de la calcite ; les inclusions fluides de ces quartz montrent une température d'homogénéisation des fluides de 171° (mesure de LEJEUNE, GRATIER, VERGNE, 1973), ce qui indique une température de formation au moins égale et certainement supérieure pour le quartz et peut être aussi pour l'allevardite.

niennes » avec des plis de même âge et certains déversements. Les fractures ont joué en décrochement et avec surélévation importante du compartiment nord. ARNAUD propose d'envisager une prolongation vers le Diois, mais aussi en direction de la faille de Beaufin. Postérieurement au Sénonien et suivant la direction considérée il n'y a pas eu de rejeu tectonique important.

Il est donc tentant de voir dans le décalage observé l'intervention d'une tectonique antésénonienne. Si tel était le cas, les recristallisations seraient elles aussi antésénoniennes. On remarquera qu'il existe en un certain nombre de points dans les Alpes des données géochronologiques indiquant un métamorphisme d'âge crétacé. Le décalage tectonique invoqué donnerait également une amorce de solution à une autre anomalie, car les zones de recristallisation ne sont pas seulement décalées mais absentes. En effet, si le compartiment nord a été soulevé comme dans le Dévoluy, dans le compartiment sud abaissé les zones de recristallisation pourraient exister en profondeur, sans avoir été atteintes par l'érosion. Le compartiment sud devait englober tout le Pelvoux. On pourrait aussi envisager un chevauchement ou un déplacement vertical du massif du Pelvoux sur sa couverture.

Quant aux recristallisations observées dans le Champsaur, elles ne peuvent être que postérieures au Priabonien ; elles seraient dues à un deuxième épisode métamorphique. Le comportement thermique différent du massif du Pelvoux deviendrait alors beaucoup plus facile à comprendre puisqu'il correspondrait à une période différente. Le même événement thermique pourrait s'être produit aussi dans Belledonne sans laisser de traces sur des niveaux ayant déjà subi une influence plus marquée. Mais la recristallisation du flysch des Aiguilles d'Arves au col du Lautaret devrait être contemporaine de celle du Champsaur. Les recristallisations observées dans les synclinaux internes et sur la bordure nord du Pelvoux pourraient donc appartenir à l'une ou l'autre des recristallisations ou à leur superposition.

HYPOTHÈSES EXPLICATIVES.

A titre d'hypothèse on peut donc proposer le schéma suivant : recristallisation antésénonienne ;

décalage par la faille de Beaufin ; recristallisation post-priabonienne se superposant éventuellement aux précédentes sur la bordure nord du Pelvoux et dans les synclinaux bordés par le socle.

Cette hypothèse repose sur l'existence effective d'un jeu antésénonien de l'accident de Beaufin et l'absence de rejeu important ultérieur. Les observations précises manquant encore à ce sujet, on ne peut invoquer que des analogies dans l'importance, la direction et le sens des mouvements. Il est donc possible que le décalage observé soit simplement postérieur aux recristallisations, sans être antésénonien. On aboutirait alors à un deuxième schéma hypothétique : deux périodes de recristallisation alpines dont on ne connaît pas l'âge relatif ; le jeu de l'accident est postérieur à l'une d'elles, l'autre est d'âge post-priabonien.

Pour terminer on se limitera à proposer une troisième hypothèse en partant du fait que le compartiment sud de la faille de Beaufin est certainement abaissé, puisque le socle se trouve au Nord. Ce mouvement avait été invoqué pour expliquer la disparition des zones de recristallisation sur la bordure du Pelvoux. L'ensemble du massif constituerait alors le compartiment sud abaissé. La disposition des isogrades pourrait alors simplement indiquer que l'on se trouve à proximité du sommet du « dôme thermique ».

Une seule période de recristallisation post-priabonienne suffirait alors, mais il deviendrait indispensable d'avoir un jeu post-priabonien de l'accident de Beaufin.

Dans l'état actuel des données il est bien difficile de choisir entre les trois hypothèses énoncées ou de proposer un compromis. Une étude détaillée du secteur de Beaufin et des mesures d'âge sur les fractions micacées sont, semble-t-il, les deux voies possibles pour obtenir des arguments décisifs.

REMERCIEMENTS.

Mme J. BOCQUET, G. DUNOYER DE SEGONZAC et P. VIALON ont bien voulu relire ce texte et m'ont fait bénéficier de leurs critiques et suggestions. Je les en remercie vivement.

BIBLIOGRAPHIE

- ARNAUD (H.) (1974). — Nouvelles données sur la tectonique « antésénonienne » des environs de La Jarjatte (Dévoluy occidental) (*C. R. Acad. Sc. Paris*, t. 278 (D), p. 697-700).
- ARTRU (P.) (1972). — Les terres noires du bassin rhodanien (*Thèse*, Lyon, 181 p.).
- ARTRU (Ph.), DUNOYER DE SEGONZAC (G.), COMBAZ (A.) et GIRAUD (A.) (1969). — Variations d'origine sédimentaire et évolution diagénétique des caractères palynologiques et géochimiques des Terres noires jurassiques en direction de l'arc alpin (France, Sud-Est) (*Bull. Centre Rech. Pau - S. N. P. A.*, t. 3, p. 357-376).
- AUMAITRE (R.) et BUFFET (G.) (1973). — Minéralogie, pétrographie et géochimie des laves spilitiques et des filons basiques associés du massif des Ecrins-Pelvoux (Alpes françaises occidentales) (*Thèse 3^e cycle*, Grenoble, offset, 301 p.).
- BOCQUET (J.), DAL PIAZ (G.-V.), HUNZIKER (J.-C.), MARTINOTTI (G.) et PÊCHER (A.) (1974). — Carte zonéographique des métamorphismes d'Europe, feuille Alpes (Unesco, Paris, Leiden).
- DUNOYER DE SEGONZAC (G.) (1969). — Les minéraux argileux dans la diagenèse. Passage au métamorphisme (*Mém. Serv. Carte géol. Als.-Lorr.*, n° 29, 317 p.).
- DUNOYER DE SEGONZAC (G.), ABBAS (M.) et LEMOINE (M.) (1974). — Métamorphisme des argiles dans le Rhétien des Alpes sud-occidentales. Minéralogie et géochimie (*Sc. géol. Strasbourg*, t. 27, f. 4, sous presse).
- DUNOYER DE SEGONZAC (G.), ARTRU (P.) et FERRERO (J.) (1965). — Sur une transformation des minéraux argileux dans les « terres noires » du bassin de la Durance ; influence de l'orogénie alpine (*C. R. Acad. Sc. Paris*, t. 262 (D), p. 2408-2412).
- ESQUEVIN (J.) (1969). — Influence de la composition chimique des illites sur leur cristallinité (*Bull. Centre Rech. Pau-S.N.P.A.*, t. 3, p. 147-153).
- FREY (M.) (1969). — Die Metamorphose des Keupers vom Tafeljura bis zum Lukmanier Gebiet (*Beitr. geol. Karte Schweiz*, t. 137, 161 p).
- FREY (M.) et NIGGLI (E.) (1971). — Illit-Kristallinität, Mineralfazien und Inkohlungsgrad (*Schweiz. Min. Petr. Mitt.*, t. 51, p. 229-234).
- GRATIER (J.-P.), LEJEUNE (B.) et VERGNE (J.-L.) (1973). — Etude des déformations de la couverture et des bordures sédimentaires des massifs cristallins externes de Belledonne, des Grandes-Rousses et du Pelvoux (depuis les Aravis jusqu'à la région de Remollon) (*Thèse*, Grenoble, 289 p.).
- KUBLER (B.) (1964). — Les argiles, indicateurs de métamorphisme (*Rev. Inst. Fr. Pétr.*, t. 19, p. 1093-1112).
- (1966). — La cristallinité de l'illite et les zones tout à fait supérieures du métamorphisme. In : Colloque sur les Etages tectoniques (A la Baconnière, Neuchâtel, p. 105-122).
- (1967). — Anchimétamorphisme et schistosité (*Bull. Centre Rech. Pau-S.N.P.A.*, t. 1, p. 259-278).
- (1969). — Cristallinity of illite. Detection of metamorphism in some frontal parts of the Alps (*D.M.G. Tagung Bern, Ref. d. Vorträ.*, p. 29-30).
- MARTINI (J.) et VUAGNAT (M.) (1965). — Présence du faciès à zéolite dans la formation des « grès » de Tavayanne (Alpes franco-suissees) (*Schweiz. Min. Petr. Mitt.*, t. 45, p. 281-293).
- MARTINI (J.) et VUAGNAT (M.) (1967). — Considérations sur le volcanisme post-ophiolitique dans les Alpes occidentales (*Geol. Rundschau*, B. 57, p. 264-276).
- MARTINI (J.) et VUAGNAT (M.) (1970). — Metamorphose niedrigst temperierten Grades in den Westalpen (*Fortschr. Miner.*, t. 47, p. 52-64).
- WEAVER (C.E.) (1960). — Possible uses of clay minerals in search for oil (*Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, t. 44, p. 1505-1518, et *Clays and Clay Min.*, p. 214-227).
- (1961). — Clay minerals of the Ouachita structural belt and adjacent foreland. In : The Ouachita System (*The Univ. Texas Publ.*, 6120, p. 147-160).
- (1967). — The significance of clay minerals in sediments. In : Fundamental aspects of petroleum geochemistry, B. Nagy et U. Colombo, Ed., Elsevier, p. 37-75).

Manuscrit déposé le 2 avril 1974.