

**MINERAUX ARGILEUX DES FORMATIONS CRETACEES ET TERTIAIRES
DU DOMAINE ULTRA-HELVETIQUE
(UNITE DE NANTBELLET, KLIPPE DE SULENS : HAUTE-SAVOIE) :
DIAGENESE ET PALEOENVIRONNEMENT**

Jean-François DECONINCK* et Jean CHAROLLAIS**

RESUME : Les assemblages argileux du Crétacé et du Tertiaire des faciès ultrahelvétiques de l'unité de Nantbellet présentent une empreinte diagénétique croissante vers l'Est. Les évolutions diagénétiques s'expriment par des transformations de smectites plutôt en chlorites dans les calcaires, plutôt en illites dans les marnes. Ce gradient diagénétique s'accorde avec l'évolution spatiale du métamorphisme basée sur les zéolites et la réflectance de la matière organique. Sur la bordure occidentale de l'unité de Nantbellet, où l'influence de la diagenèse est plus modérée, l'abondance des smectites indique qu'entre la fin du Jurassique et le Barrémien, les climats étaient chauds et à humidité saisonnière contrastée. La rareté de la kaolinite témoigne d'un éloignement des sources terrigènes, tandis que le relais des smectites par l'illite au Paléocène supérieur-Eocène inférieur traduit une reprise d'érosion consécutive d'une tectonique active.

ABSTRACT : Cretaceous and Paleocene-Eocene clay mineral assemblages of the unit on Nantbellet (klippe of Sulens), show an eastward increasing influence of diagenesis. Transitions of smectites to chlorites mainly occur in limestones, while smectites are replaced by illites in more clayey sediments. The diagenetic gradient is consistent with the evolution of metamorphism based on zeolites and reflectance of organic matter. Clay mineral successions of the western outcrops are of very low diagenetic grade and allow to precise the paleoenvironmental history of the ultrahelvetetic basin. The smectite-rich clay assemblages of the Lower Cretaceous reflect both gentle erosion of downstream zones on continental areas, and a hot climate with rather contrasts in seasonal humidity. The scarcity of kaolinite probably results from the great distance from detrital sources, while the large input of illite during Paleocene-Eocene periods results from active tectonic and strong erosion on continental areas.

I. INTRODUCTION

La klippe de Sulens qui occupe la partie méridionale du synclinal de Thônes est constituée de deux nappes principales :

- l'une inférieure, d'origine ultrahelvétique regroupe les unités de Nantbellet, des Combes, de Roche-Vieille, du Bouchet, de la Frasse, de Manigod et des Clefs ;

- l'autre, supérieure, d'origine subbriançonnaise correspond à l'unité de Sulens (nomenclature de ROSSET et al., 1976).

* Laboratoire de Sédimentologie et Géochimie. Université de Lille I, UFR des Sciences de la Terre. 59655 Villeneuve d'Ascq Cedex et Département de Géologie et de Paléontologie, 13, rue des Marafchers. 1211 Genève 4.

** Département de Géologie et de Paléontologie, 13, rue des Marafchers. 1211 Genève 4.

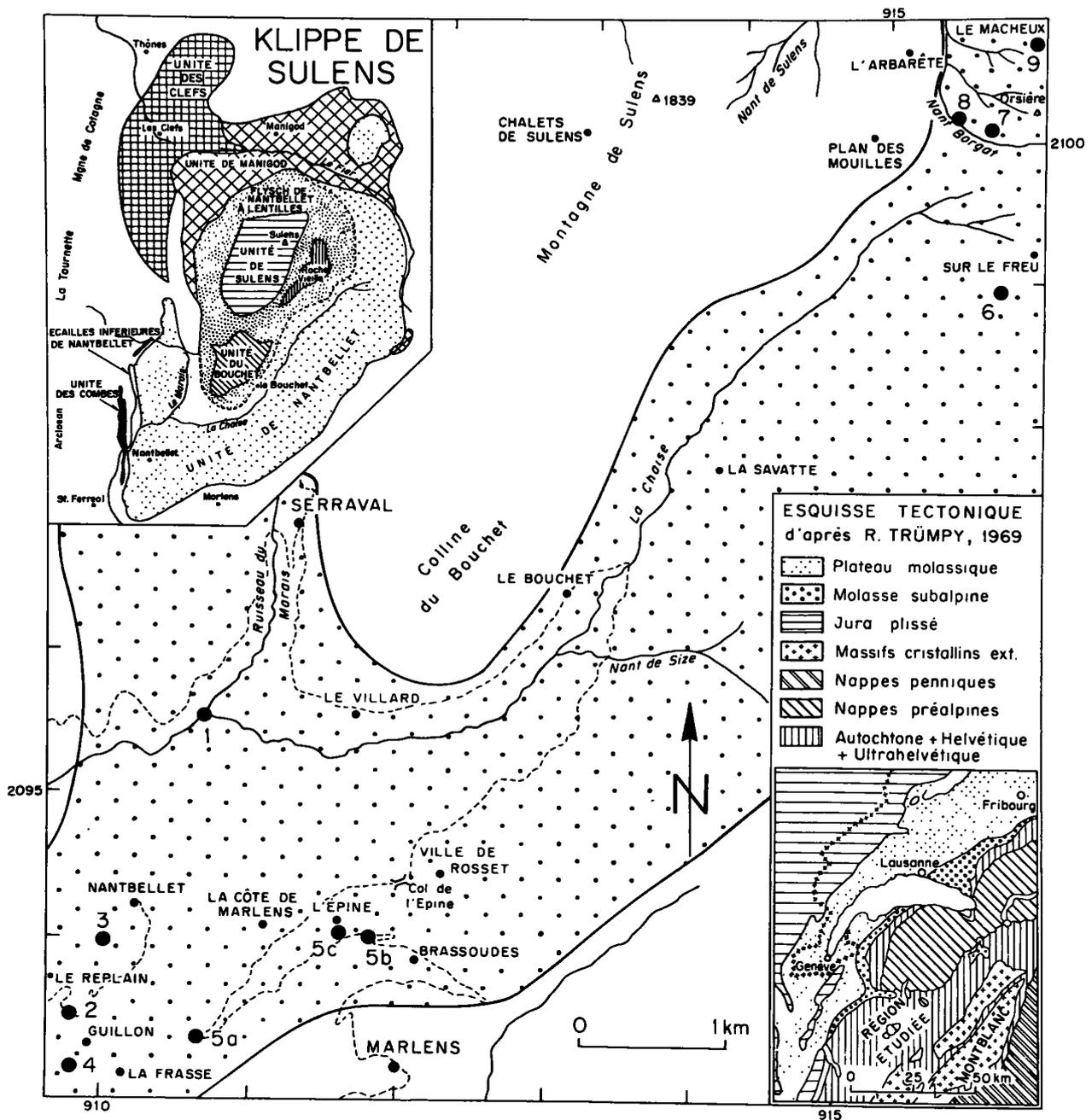


Fig.1.- Plan de situation et emplacement des coupes étudiées. (d'après CHAROLLAIS *et al.*, 1981).

1.- Coupe de la Chaise. 2.- Coupe du chemin reliant St Ferreol à Nantbellet. 3.- Coupe du torrent sous les prés de Nantbellet. 4. Coupes dans la région de Guillon. 5a.- Coupe de la route Marzens - col de l'Épine en amont du virage 827m. 5b.- Coupes de la route Marzens col de l'Épine entre Brassoudes et le pont 730m. 5c.- Coupe du torrent sous le chalet de l'Épine. 6.- Coupe d'un ravin sous le Freu. 7. Coupe entre la Tête d'Orsière et l'Arbarète. 8.- Coupe d'un ravin entre le col des Mouilles et les chalets de l'Arbarète. 9.- Coupe dans la région du Macheux. (les tiretés représentent les routes et les chemins).

Récemment, CHAROLLAIS et al. (1981) ont entrepris l'analyse stratigraphique détaillée des formations crétacées et tertiaires de l'unité de Nantbellet (= nappe supérieure sensu lato des auteurs) qui, dans le synclinal de Thônes, représente l'élément le plus important et le plus caractéristique du domaine ultrahelvétique. L'un de nous (J.-F. D.) vient d'analyser les assemblages argileux de 120 échantillons provenant de ces formations, pour préciser les paléoenvironnements du bassin ultrahelvétique. Cet objectif suppose toutefois la recherche préalable de l'influence de la diagenèse sur les assemblages argileux.

Avant d'analyser et de discuter les résultats, il est utile de rappeler brièvement la stratigraphie de l'unité de Nantbellet dont les terrains s'étendent du Callovo-Oxfordien à l'Eocène supérieur. Décrite par ROSSET et al. (1976) et par CHAROLLAIS et al. (1970, 1981), cette série comprend, de bas en haut :

- Un ensemble jurassique supérieur à prédominance calcaire (Callovien-Tithonique).
- La formation des Alternances* de calcaires fins tachetés et de marnes schistoïdes (Berriasien-Barrémien), perturbée par des passées gréso-glauconieuses hétérochrones à l'échelle du bassin.
- La formation des Calcaires sublithographiques* (Turonien-Santonien).
- La formation gréso-glauconieuse qui avait été attribuée à l'Aptien-Cénomannien inférieur (CHAROLLAIS et al., 1981). Par extrapolation des résultats de KINDLER (1986), il faut maintenant la rattacher au Paléocène supérieur-Eocène inférieur. Cette formation est séparée de la précédente par une discontinuité sédimentaire majeure.
- La formation des Calcaires marneux plaquetés* (limite Eocène inférieur-Eocène moyen) et le Flysch* (Eocène supérieur) limitées chacune par des discontinuités sédimentaires importantes.

La minéralogie de la fraction argileuse (< 2 µm) a été effectuée sur 9 coupes (fig. 1), par diffraction des rayons X sur pâtes orientées. La technique et la nomenclature utilisées sont celles de HOLTZAPFEL (1985). L'abondance relative des minéraux argileux est estimée avec une erreur de l'ordre de 5 %.

2. MINÉRALOGIE DES ARGILES

2.1. COUPE DE LA CHAISE (fig. 2 et tabl. 1)

Dans le torrent de la Chaise (fig. 1), les formations du Crétacé inférieur dépassent 115 m d'épaisseur et sont représentées par des alternances de calcaires fins tachetés et de marnes schistoïdes qui s'étendent du Berriasien inférieur au Barrémien inférieur. Comprenant de nombreux glissements synsédimentaires, elles sont perturbées par des intercalations gréso-glauconieuses particulièrement bien développées à l'Hauterivien. Elles sont surmontées par la Formation gréso-glauconieuse parfois grossière, à structures localement chenalisées, et probablement d'âge paléocène. Les analyses d'argiles portent sur 18 échantillons prélevés dans ces formations, dont la dernière est transgressée par un flysch à base conglomératique, d'âge probablement éocène supérieur ; une seule analyse provient de cette formation.

Les assemblages argileux sont dominés par la chlorite, l'illite, et pour le Crétacé, par les smectites, tandis que les édifices interstratifiés et surtout la kaolinite apparaissent en moindre quantité. La proportion de smectites est élevée pendant la période comprise entre le Berriasien et le Barrémien inférieur. Ces minéraux disparaissent dès le Paléocène supérieur à moyen. A ce moment, la chlorite et surtout l'illite représentent la majeure partie du cortège argileux.

* Les termes "Alternances", "Calcaires sublithographiques", "Calcaires plaquetés", "Flysch" portent une majuscule lorsqu'ils sont employés pour définir une formation ; lorsqu'ils désignent un faciès, ils seront en minuscules.

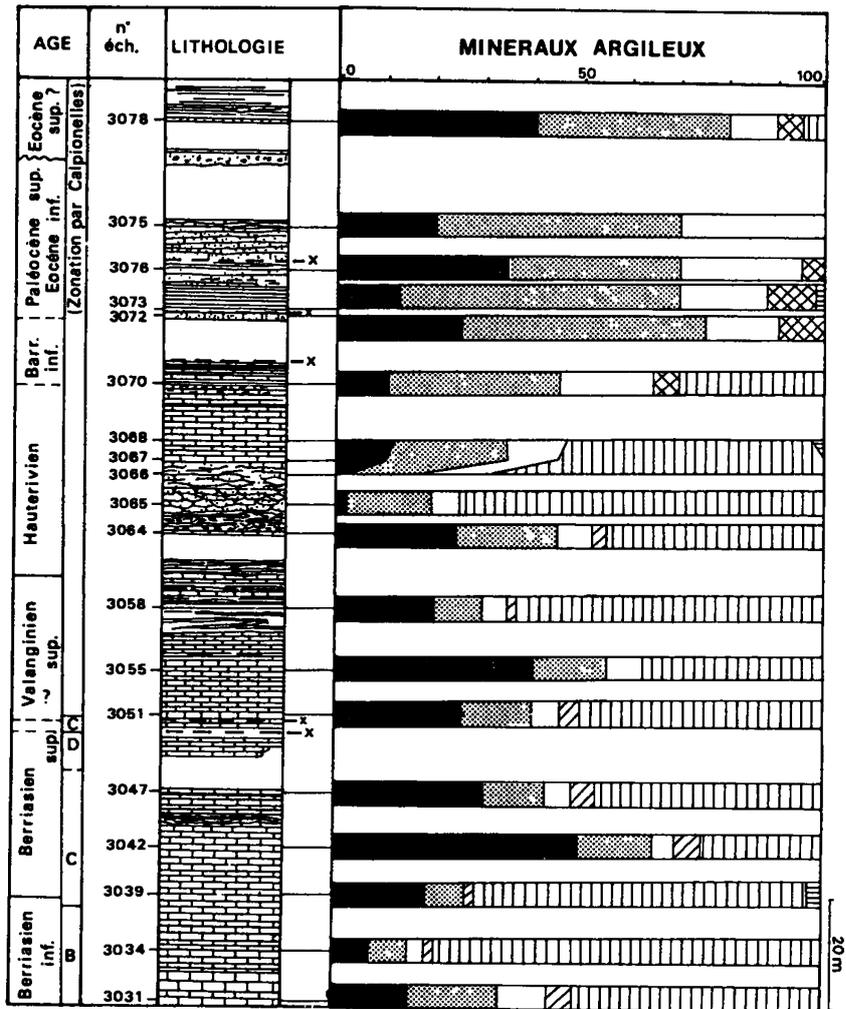


Fig. 2.- Minéralogie des argiles de la coupe de la Chaise.

LITHOLOGIE (d'après CHAROLLAIS et al., 1981)

- Calcaires
- Calcaires marneux
- Calcaires gréseux
- Calcaires à silex
- Marnes
- Grès
- Conglomérats
- - - x Contact tectonique

MINÉRAUX ARGILEUX

- Chlorite
- Illite
- (10-14_s) = interstratifiés irréguliers illite - smectite
- (10-14_v) = interstratifiés irréguliers illite - vermiculite
- (14_c-14_s) = interstratifiés irréguliers chlorite - smectite
- 14_c-14_s = interstratifiés sub-réguliers chlorite - smectite
- Vermiculite
- Smectite
- Kaolinite

Ces résultats permettent donc :

- d'individualiser un premier ensemble au Crétacé inférieur, caractérisé par la présence de smectites, et un deuxième au Paléocène supérieur-Eocène inférieur, par son absence ;
- de différencier, grâce aux assemblages argileux, les faciès grésoglaucoschistofides intercalés dans les Alternances de calcaires fins tachetés et de marnes schistofides, de la Formation grésoglaucoschistofide Paléocène supérieur-Eocène inférieur.

2.2. COUPE DU CHEMIN ENTRE ST FERREOL ET NANTBELLET (fig. 3 et tabl. 2)

C'est le long du chemin qui relie St Ferréol aux chalets de Nantbellet que s'observe le plus aisément la succession des formations du Crétacé, représentatives de l'unité de Nantbellet. Malgré les nombreuses lacunes d'observation et des accidents tectoniques importants et fréquents, apparaissent successivement, au-dessus de la "barre tithonique" des auteurs,

- Des alternances (inférieures) de calcaires fins tachetés et de marnes schistofides : Berriasien-Hauterivien supérieur.
- Des faciès grésoglaucoschistofides, datés par encadrement et attribués au Barrémien inférieur.
- Des alternances (supérieures) de calcaires fins tachetés et de marnes schistofides : Barrémien inférieur.
- La Formation grésoglaucoschistofide (Paléocène supérieur-Eocène inférieur).
- Au-dessus, CHAROLLAIS *et al.* (1981) avaient décrit des Calcaires sublithographiques (Cénomaniens-Santonien) et un complexe d'écaillés tectoniques comportant des calcaires marneux plaquetés du sommet de l'Eocène inférieur et des calcaires sublithographiques du Crétacé supérieur. Cet ensemble pourrait être interprété comme un flysch à lentilles (wildflysch) comportant des olistolites du Crétacé supérieur et du Tertiaire.

- Le Flysch : Eocène supérieur très probable.

Les assemblages argileux de cette coupe comprise entre le Jurassique supérieur et l'Eocène supérieur (?), se composent toujours de chlorite, d'illite et d'interstratifiés. Par contre, les smectites permettent de délimiter quatre ensembles lithologiques :

- La "barre tithonique" des auteurs semble dépourvue de smectites et se caractérise par une abondance d'illites. Mais, trop peu d'échantillons (n° 2 885, 2 886) ont été analysés pour en déduire des conclusions significatives.
- Les alternances (inférieures et supérieures) de calcaires fins tachetés et de marnes schistofides montrent une fréquence, parfois même une abondance remarquable de smectites (jusqu'à 50 %). Un seul échantillon (n° 2 897) prélevé dans les faciès grésoglaucoschistofides intercalés dans ces alternances n'a pas révélé de smectite. Mais, il serait hasardeux de conclure à l'absence de smectite dans ce faciès développé sur 11 m d'épaisseur, à partir d'une unique analyse.
- La Formation grésoglaucoschistofide paléocène supérieur-éocène inférieur, dépourvue de smectite et par contre riche en illites et interstratifiés.
- Au-dessus, les Calcaires sublithographiques (Crétacé supérieur) et les Calcaires marneux plaquetés (Eocène inférieur-Eocène moyen) s'enrichissent en smectites et illites, au détriment des chlorites et des interstratifiés.

En résumé, il ressort que la présence de smectites caractérise les séries déposées au Crétacé inférieur et Eocène moyen, tandis que les faciès détritiques du Paléocène en sont totalement dépourvus. Ce résultat confirme les conclusions émises à la suite de l'étude de la coupe du torrent de la Chaise. Dans l'hypothèse d'une origine ultrahelvétique des Calcaires sublithographiques et des Calcaires marneux plaquetés (écaillés tectoniques ou olistolites), ces formations offriraient une composition minéralogique voisine de celle du Crétacé inférieur.

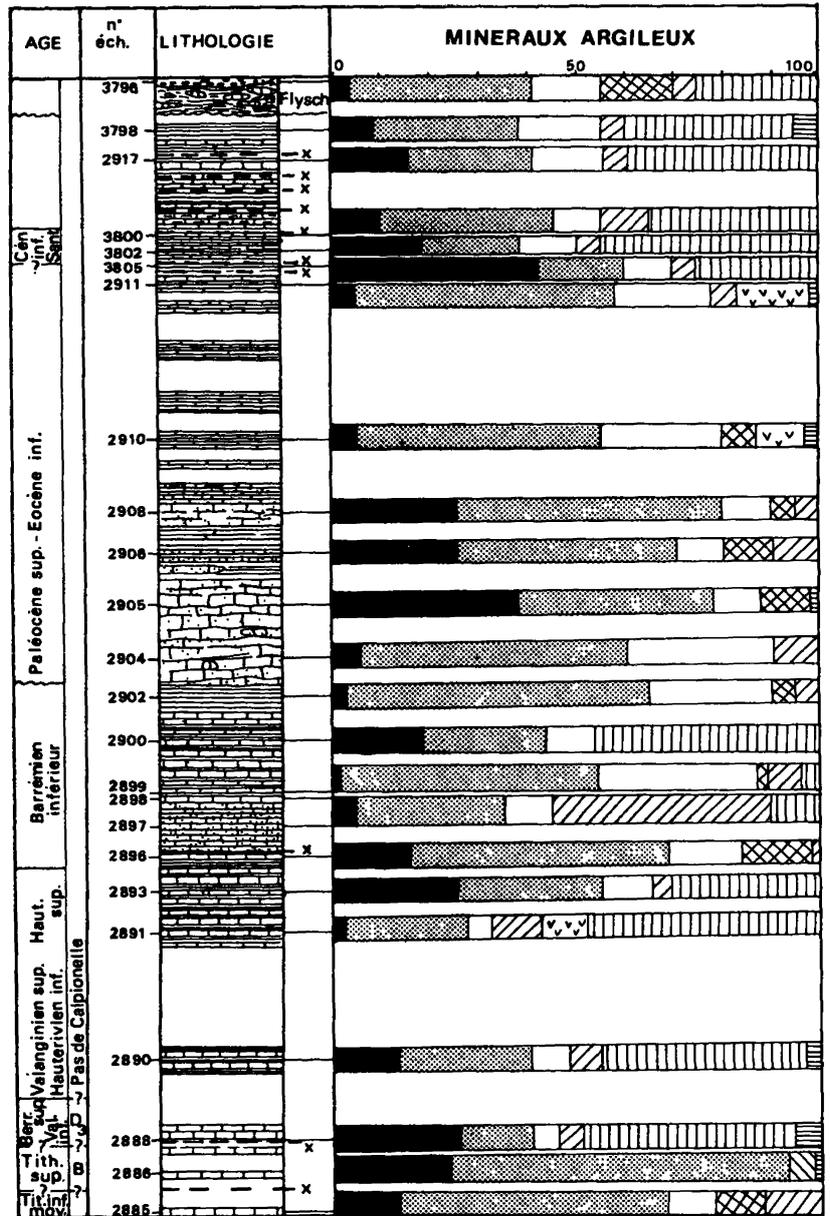


Fig. 3.- Minéralogie des argiles de la coupe du chemin reliant St Ferréol à Nantbellet (même légende que la figure 2).

2.3. COUPE DU TORRENT SOUS LES PRES DE NANTBELLET (tabl. 3)

L'affleurement décrit dans un torrent sous les prés de Nantbellet (fig. 1), complète la coupe relevée le long du chemin reliant St Ferréol à Nantbellet. En effet, il permet d'observer : 1) le sommet de la Formation grésoglaucconieuse qui pourrait être rattachée au Paléocène supérieur-Eocène inférieur par analogie avec les coupes étudiées par KINDLER (1986) entre Arve et Giffre et aux Collines de Faucigny ; 2) les Calcaires marneux plaquetés situés près de la limite Eocène inférieur/Eocène moyen et le Flysch d'âge probablement Eocène supérieur.

La Formation grésoglaucconieuse (= "grésoglaucconieux supérieur" de CHAROLLAIS *et al.*, 1981, p. 30, fig. 4) se compose, à la base, d'un faciès quartzoglaucconieux classique et, au sommet, d'une série d'alternances de calcaires et de marnes à radiolaires. La chlorite et surtout l'illite dominent largement les assemblages argileux.

2.4. COUPES DE LA REGION DE GUILLON (fig. 4 et tabl. 4)

Dans la région de Guillon, CHAROLLAIS *et al.* (1981) ont décrit successivement de bas en haut, au-dessus de la "barre tithonique" des auteurs :

- Des alternances inférieure et supérieure de calcaires fins tachetés et de marnes schistofides, dont la base a été attribuée au Berriasien moyen et dans lesquelles s'intercalent deux niveaux grésoglaucieux, l'un peu épais (30 cm ; échantillon n° 2 134) au sein des alternances inférieures, l'autre bien développé (5 m), échantillons n° 2 143, 2 144) et qui a été choisi par CHAROLLAIS *et al.* (1981) pour séparer les alternances inférieures et les alternances supérieures.

- La Formation grésoglaucieuse transgressive sur les terrains sous-jacents.

- Les Calcaires sublithographiques : Turonien supérieur-Santonien.

- Le Flysch (transgressif) : Eocène supérieur probable.

Cette coupe offre une grande similitude avec celle qui a été relevée le long du chemin entre St Ferréol et Nantbellet, non seulement sur le plan lithologique, mais également dans la répartition des minéraux argileux. Ainsi, les Alternances de calcaires fins tachetés et de marnes schistofides sont caractérisées, outre la fréquence parfois élevée d'illite et de chlorite, par la présence de smectites tandis que la Formation grésoglaucieuse en est dépourvue.

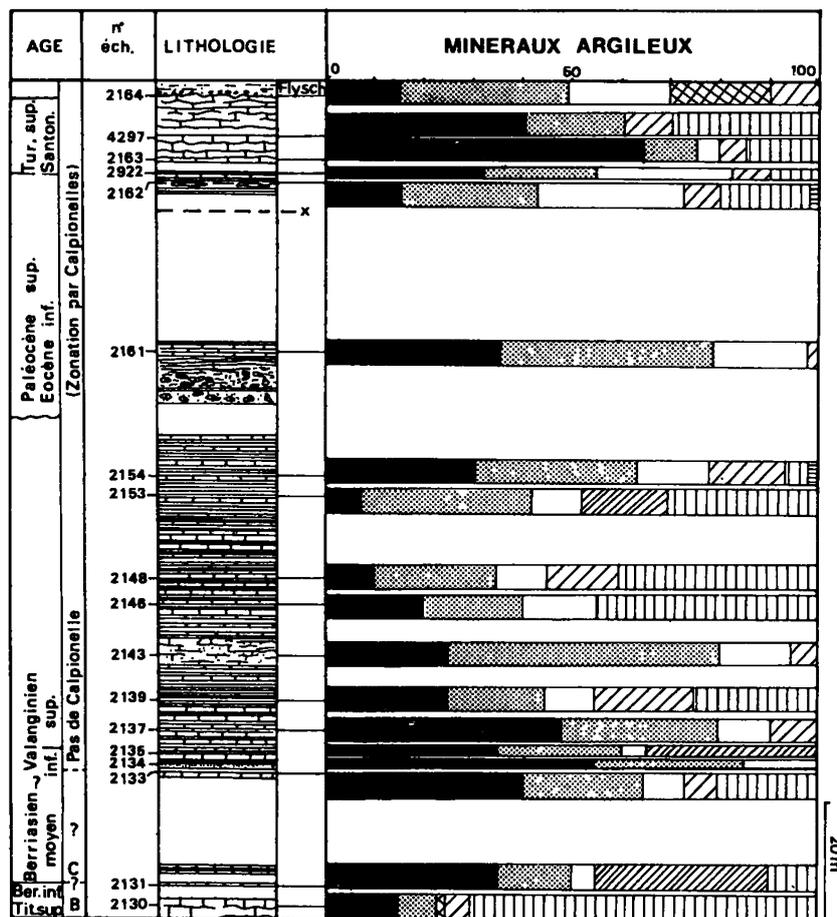


Fig. 4.- Minéralogie des argiles des coupes de la région de Guillon (même légende que la figure 2).

Il est également remarquable de constater que les smectites se rencontrent :

- dans les Calcaires sublithographiques du Crétacé supérieur, comme dans la coupe décrite entre St Ferréol et Nantbellet ;
- dans la "barre tithonique" des auteurs, ce qui n'était pas le cas entre St Ferréol et Nantbellet.

Enfin, la fraction argileuse des niveaux très carbonatés renferme une forte proportion de chlorites : ces dernières sont fréquemment associées à des édifices interstratifiés sub-réguliers chlorite-smectites, parfois présents en forte proportion (35 %). L'augmentation de chlorite et/ou de chlorite-smectite s'effectue généralement au détriment des smectites.

2.5. COUPES DU BORD MERIDIONAL DE L'UNITE DE NANTBELLET

La stratigraphie de la partie méridionale de l'unité de Nantbellet est difficile à établir avec précision, car la région est très couverte, la tectonisation intense et les coupes sont fragmentaires. La minéralogie des argiles porte sur des échantillons prélevés, soit le long de la route reliant Marlens au col de l'Epine, soit dans le torrent qui descend sous le chalet de l'Epine.

2.5.1. En amont du virage 827 m, sur la route entre Marlens et le col de l'Epine, les assemblages argileux ont été étudiés sur 10 échantillons provenant de la base des Alternances de calcaires fins tachetés et de marnes schistoïdes, attribuée au Berriasien supérieur (tabl. 5a). L'illite est toujours présente (5 à 45 %). La fréquence de la chlorite varie beaucoup ; à l'état de trace dans l'échantillon n° 2 929, elle peut atteindre 90 % dans l'échantillon n° 2 939. Quant aux smectites, elles oscillent entre 5 et 30 % et n'apparaissent pas dans deux échantillons. Cette présence de smectites dans la partie inférieure des Alternances de calcaires fins tachetés et de marnes schistoïdes confirme les observations déjà faites dans la partie occidentale de l'unité de Nantbellet.

2.5.2. Le long de la route reliant Marlens au col de l'Epine, entre Brassou-des et le pont 730 m, les Alternances de calcaires fins tachetés et de marnes schistoïdes affleurent de façon discontinue. Six échantillons prélevés dans les faciès du Berriasien supérieur et du Valanginien présentent des assemblages argileux du même type que ceux qui ont été décrits dans la coupe précédente, en amont du virage 827 m (tabl. 5b).

Il est intéressant de relever que dans les deux cas (2.5.1. et 2.5.2.) les rares niveaux dépourvus de smectites sont exceptionnellement riches en chlorite : 75 à 90 % dans le Berriasien supérieur au virage 827 m et 60 à 70 % dans le Berriasien supérieur des affleurements de la route du col de l'Epine.

2.5.3. Dans le torrent qui descend sous le chalet de l'Epine en direction du col de l'Epine (fig. 5 et tabl. 5c), affleure une épaisse série (109 m) d'alternances ("supérieures", d'après CHAROLLAIS *et al.*, 1981) de calcaires fins tachetés et de marnes schistoïdes. Elle surmonte un niveau grésoglaucieux d'au moins 10 m d'épaisseur, attribué au Valanginien moyen à supérieur. Au vu des récentes découvertes de KINDLER (1986) sur des faciès identiques, il convient de rester prudent quant à l'attribution chronostratigraphique de ces niveaux. Deux échantillons (n°3 114 et 3 115) ont été analysés dans ce faciès détritique : ils renferment tous deux, illites, chlorites et interstratifiés, mais l'un contient des smectites, tandis que l'autre en est dépourvu.

Quant aux alternances "supérieures" de calcaires fins tachetés et de marnes schistoïdes, elles possèdent, outre chlorites, illites et interstratifiés, des smectites (sauf l'échantillon n° 2 329), ce qui est en accord avec les résultats déjà obtenus dans la formation équivalente de la bordure occidentale de l'unité de Nantbellet.

Cependant, il faut rappeler que ces alternances "supérieures" ont été attribuées à l'Hauterivien par CHAROLLAIS *et al.* (1981) ; or, ces auteurs intrigués par la présence exceptionnelle de microfaunes sénoniennes et tertiaires qui pourraient être due, selon eux, à des pollutions, restent dubitatifs quant à l'attribution chronostratigraphique provisoire proposée dans leur publication. Au cas où des microfaunes tertiaires seraient retrouvées dans cette formation, il faudrait conclure à une resédimentation totale d'une série alternante de calcaires fins tachetés et de marnes schistofides, à l'Eocène.

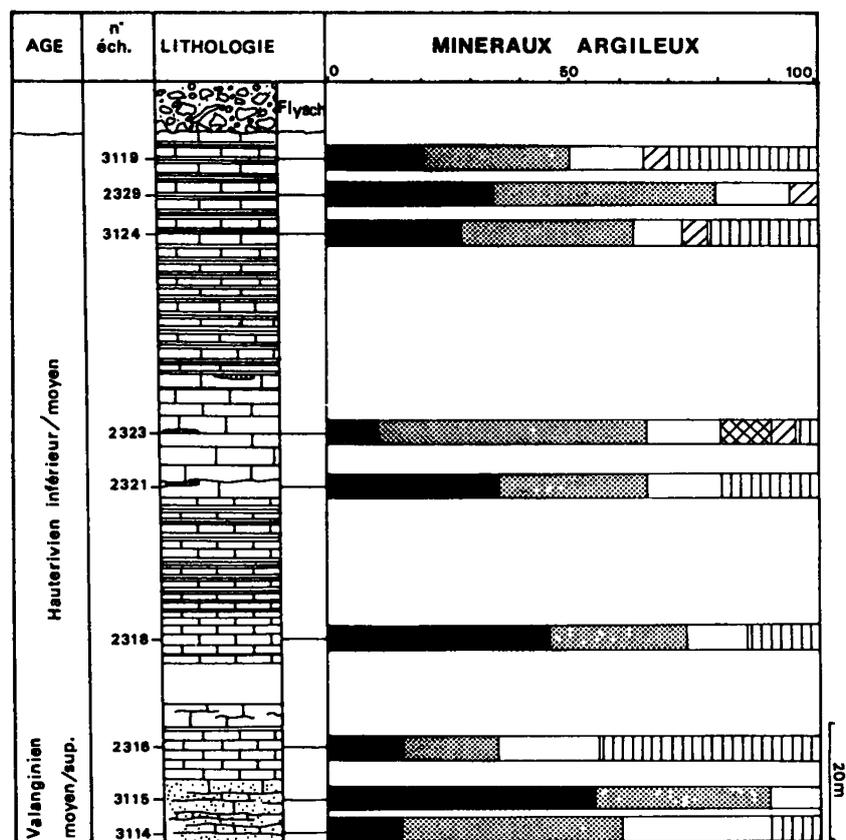


Fig. 5.- Minéralogie des argiles de la coupe du torrent sous le chalet de l'Epine (même légende que la figure 2).

2.6. COUPE D'UN RAVIN SOUS LE FREU (fig. 6 et tabl. 6)

Dans le lit d'un torrent naissant sous les chalets de "sur le Freu" (fig. 1), affleure sur plus de 100 m d'épaisseur, la partie inférieure des Alternances de calcaires fins tachetés et de marnes schistofides attribuée, tout au moins en partie, au Valanginien supérieur. Les huit échantillons analysés dans cette formation sont totalement dépourvus de smectites, mais renferment par ailleurs, des illites et surtout des chlorites dans des proportions importantes qui peuvent atteindre 85 %.

2.7. COUPES DANS LA REGION DE L'ARBARETE (tabl. 7 et 8)

Six échantillons en provenance de deux affleurements de la région de l'Arbarete décrits en détail par CHAROLLAIS *et al.* (1981) ont fait l'objet d'analyses d'argiles : 5 ont été prélevés dans la partie supérieure des Alternances de calcaires fins tachetés et de marnes schistoïdes, 1 seul provient d'un niveau grésoglaucconieux sous-jacent. Tous les résultats, à une exception près (échantillon n° 2 958), révèlent la présence de smectites en plus de l'illite et de la chlorite.

2.8. COUPE DANS LA REGION DU MACHEUX (tabl. 9)

Les dix échantillons étudiés proviennent d'une coupe relevée par CHAROLLAIS *et al.* (1981) avant le glissement de terrain de 1970, près de la ferme du Macheux (fig. 1). Ils appartiennent aux Alternances de calcaires fins tachetés et de marnes schistoïdes dont la base a été attribuée au Berriasien moyen et le sommet à l'Haute-rivien supérieur. Tous les niveaux renferment de l'illite et de la chlorite qui peut atteindre 80 % (échantillon n° 2 980). Seuls deux échantillons (n° 2 970 et 2 975) contiennent des smectites. Cette absence assez générale des smectites rapproche cette coupe de celle qui a été relevée dans le ravin sous le Freu. Par ailleurs, ces deux coupes présentent des épaisseurs comparables, nettement plus fortes que dans la partie occidentale de Nantbellet.

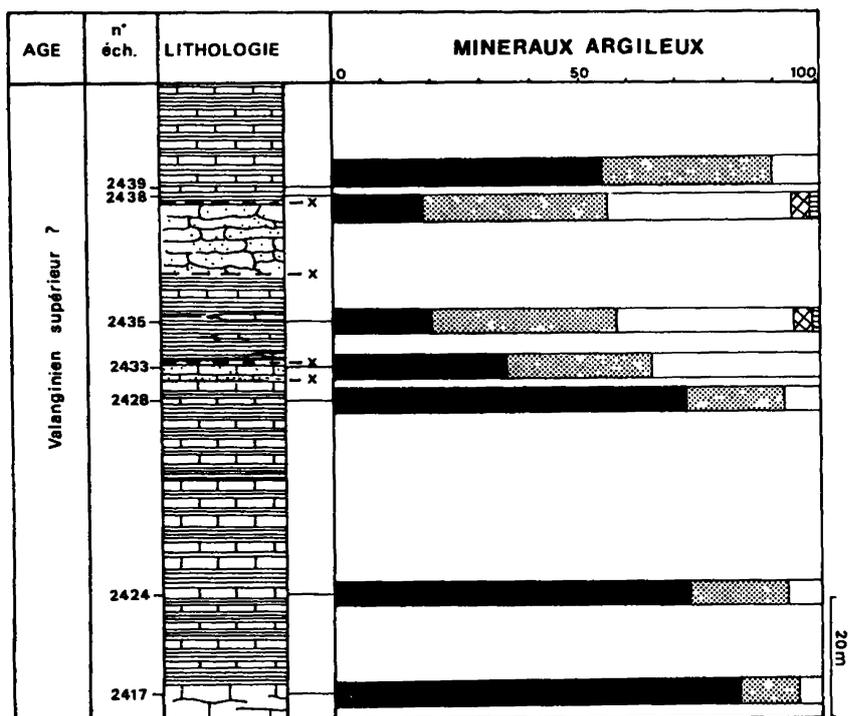


Fig. 6.- Minéralogie des argiles de la coupe d'un ravin sous le Freu (même légende que la figure 2).

3. DISCUSSION

3.1. INFLUENCES DIAGENETIQUES

La présence de smectite mal cristallisée dans la plupart des coupes, traduit une influence thermodynamique faible, puisque ce minéral est considéré comme très sensible aux augmentations de pression et de température (DUNOYER DE SEGONZAC, 1969 ; KISCH, 1983). Toutefois, les très nettes relations qui existent entre la lithologie et la minéralogie des argiles, suggèrent une influence diagénétique liée à la lithologie. Par ailleurs, la fréquence moins élevée des smectites dans les échantillons provenant de certaines coupes situées au Nord-Est de l'unité de Nantbellet, pourrait résulter d'une diagénèse liée à l'augmentation de pression et température.

3.1.1. Relations entre la lithologie et la minéralogie des argiles.

Sur toutes les coupes étudiées, il existe des correspondances très marquées entre la lithologie et la minéralogie des argiles. Dans les niveaux de marnes et de calcaires marneux, l'illite et les interstratifiés (10-14 Å) dominent largement le cortège minéralogique, tandis que les bancs calcaires présentent une fraction argileuse enrichie en chlorite et interstratifiés (14-14 Å) subréguliers aux dépens de smectites. Ces correspondances apparaissent très nettement sur les deux diffractogrammes correspondant à chaque lithologie (fig. 7).

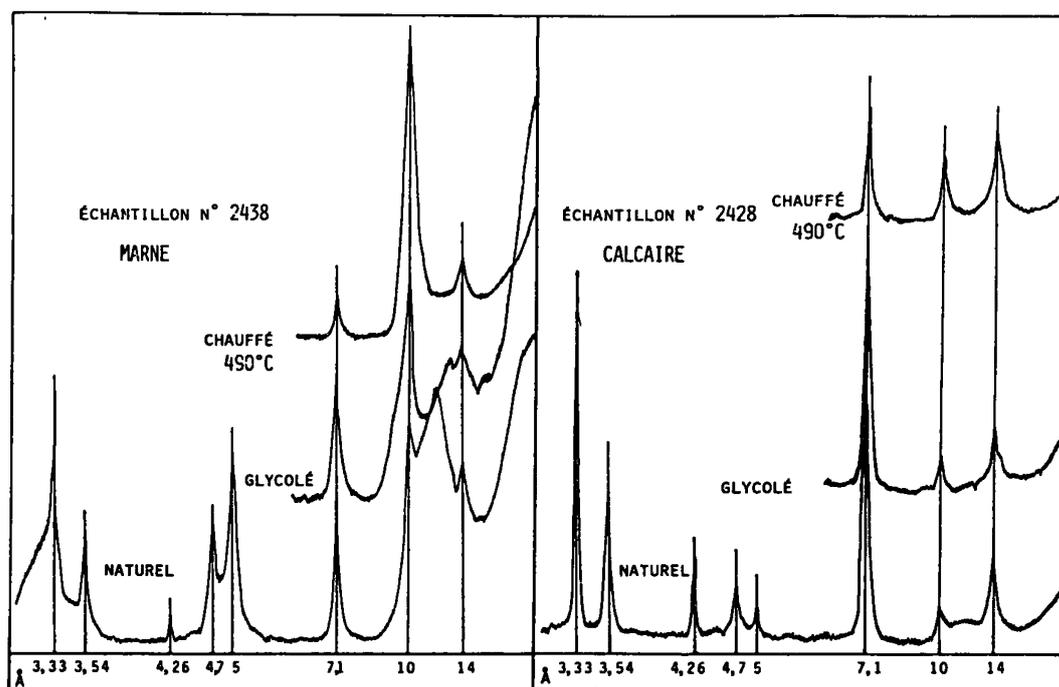


Fig. 7.- Diffractogrammes obtenus sur deux échantillons de la coupe d'un ravin sous le Freu, permettant d'observer les importantes différences de composition de la fraction argileuse des marnes et des calcaires

Des relations identiques existent dans les alternances de marnes et de calcaires du Crétacé inférieur subalpin vocontien ; elles résultent clairement d'une transformation de smectites détritiques en chlorites par l'intermédiaire d'interstratifiés (14-14 Å) (DECONINCK et CHAMLEY, 1983 ; FERRY *et al.*, 1983 ; DECONINCK, 1986). Dans les marnes, en revanche, la proportion de chlorite est plus faible, alors que l'illite et les édifices interstratifiés (10-14 Å) sont généralement abondants et traduisent les étapes des transformations de smectites en illites.

Les transformations diagénétiques des smectites en chlorites dépendent de la disponibilité du magnésium et du fer (DECONINCK et DEBRABANT, 1986) et sont favorisées par l'augmentation de pression et de température.

En résumé, l'étude comparée des assemblages argileux dans les marnes et les calcaires de l'unité de Nantbellet permet de mettre en évidence des transformations diagénétiques comparables à celles décrites dans le domaine vocontien.

3.1.2. Evolution spatiale des minéraux argileux

Les cortèges minéralogiques des coupes situées au Nord-Est de l'unité de Nantbellet contiennent généralement moins de smectites que celles étudiées sur la bordure occidentale (fig. 6, tabl. 9). Corrélativement, la proportion de chlorite augmente très fortement dans les calcaires. Les interstratifiés (14-14 Å) subréguliers, termes intermédiaires des transformations de smectites en chlorites, sont absents des secteurs orientaux alors qu'ils sont fréquents dans les coupes de la partie occidentale. Cette différence indique que les transformations de smectites en chlorites sont plus complètes dans les secteurs orientaux. Toutefois, ces observations doivent être nuancées, puisque dans la région du Macheux quelques smectites ont été préservées et que, près des chalets de l'Arbarête, une lentille de calcaires urgoniens resédimentée renferme 55 % de smectites. Les transformations diagénétiques, dans l'ensemble plus complètes vers l'Est s'accordent avec le développement de quartz, d'albite et de dolomite authigènes dans certaines coupes de la partie orientale de l'unité de Nantbellet, ainsi qu'avec l'élévation des pouvoirs réflecteurs de la matière organique (KUBLER *et al.*, 1979). Ces évolutions doivent être mises en relation avec l'influence croissante du métamorphisme selon un gradient orienté du Sud-Ouest vers le Nord-Est et déjà mis en évidence par MARTINI et VUAGNAT (1965), KUBLER *et al.* (1974) et par SAWATZKI (1975).

En résumé, les assemblages argileux des formations crétacées et tertiaires de l'unité de Nantbellet ont subi une diagenèse croissante vers le Nord-Est. Celle-ci se marque par des transformations de smectites en chlorites dans les calcaires, de smectites en illites dans les marnes.

3.2. INFLUENCE DU PALEOENVIRONNEMENT

La diagenèse argileuse plus faible dans les secteurs occidentaux et méridionaux n'oblitére pas complètement les variations argileuses d'origine détritique observées dans les coupes étudiées sur tout le territoire occupé par l'unité de Nantbellet. Les coupes de la Chaise, du chemin entre St Ferréol et Nantbellet et dans la région du Guillon, présentent des successions argileuses comparables, où les smectites sont en moyenne relativement abondantes depuis le Tithonique jusqu'au Barrémien. Au Paléocène supérieur-Eocène inférieur, ces minéraux sont relayés par l'illite. Cette évolution minéralogique paraît plutôt d'origine détritique que diagénétique. En effet, si des smectites s'étaient déposées au Paléocène-Eocène inférieur, elles auraient dû être préservées, puisqu'elles ont été conservées dans les formations sous-jacentes (Alternances de calcaires fins tachetés et de marnes schistofides).

3.2.1. Origine des minéraux argileux

Les smectites sont probablement d'origine pédogénétique, puisqu'on ne connaît pas au Crétacé d'influences volcaniques dans le secteur d'étude et que les minéraux argileux se sont déposés en milieu marin ouvert, non soumis au confinement chimique. Les smectites pédogénétiques se forment actuellement sous climats chauds à forts contrastes saisonniers de l'humidité et dans les parties basses des bassins versants mal drainés à morphologie peu accentuée (PAQUET, 1970). L'abondance de ces minéraux au Crétacé inférieur traduit un climat chaud à humidité saisonnière contrastée ainsi qu'une grande stabilité des bordures continentales permettant une pédogenèse active. Le relais des smectites par les illites au Paléocène supérieur-Eocène inférieur suggère une érosion active des zones émergées, puisque l'illite caractérise des roches profondes du substrat continental. Cette reprise d'érosion marquée d'ailleurs par la présence locale de conglomérats serait à relier aux mouve-

ments tectoniques majeurs dans les zones internes. Notons que les illites pourraient provenir, comme les microfaunes, de faciès aptiens-albiens par ailleurs riches en illite dans d'autres secteurs alpins (DECONINCK, 1984 ; JOSEPH et al., 1985) et dans le sillon lombard (Alpes méridionales italiennes) (DECONINCK, résultats non publiés). Dans les faciès du Crétacé supérieur, pour autant qu'ils appartiennent bien au domaine ultrahelvétique (olistolithes), les smectites augmentent et traduisent une grande stabilité des terres pourvoyeuses de matériaux détritiques. Cette évolution est comparable à celle du domaine delphino-helvétique, où la sédimentation silico-clastique du "Gault" fait place, au Crétacé supérieur, à une sédimentation de boues calcaires pélagiques riches en smectites (DECONINCK, 1984).

Entre le Jurassique supérieur et le Crétacé supérieur, la kaolinite est pratiquement absente. La rareté de ce minéral ne semble pas due à l'empreinte diagénétique, puisque les smectites, plus sensibles que la kaolinite aux augmentations de pression et de température, sont abondantes. Les très faibles proportions de kaolinite doivent plutôt être mises en relation avec un éloignement important des sources terrigènes, puisque ce minéral se dépose préférentiellement près des rivages et sur les plates-formes carbonatées (GIBBS, 1977 ; DARSAC, 1983 ; VIEBAN, 1983).

3.2.2. Le détritisme de la Formation grésoglaucieuse et des faciès grésoglaucieux intercalés dans les Alternances de calcaires fins tachetés et de marnes schistoïdes

La Formation grésoglaucieuse (Paléocène supérieur-Eocène inférieur) est toujours pauvre en smectites, mais renferme des illites ; ce n'est pas toujours le cas pour les faciès grésoglaucieux intercalés dans les Alternances de calcaires fins tachetés et de marnes schistoïdes qui, pourtant, présentent de grandes similitudes au niveau des microfaciès (pétrographie et association faunistique). Toutefois, le nombre d'échantillons analysés dans ce travail est trop faible pour établir des comparaisons significatives entre les assemblages argileux de ces niveaux détritiques.

4. CONCLUSIONS

L'analyse des assemblages argileux des formations crétacées et tertiaires de l'unité de Nantbellet, reflètent à la fois les effets de la diagenèse et du paléo-environnement.

La diagenèse s'exprime, comme dans le domaine subalpin, par une transformation des smectites plutôt en chlorites dans les calcaires, plutôt en illites dans les marnes. Ces transformations sont, en général, plus poussées dans le secteur nord-oriental de l'unité de Nantbellet, ce qui est en accord avec les gradients géothermiques régionaux déjà mis en évidence par différents auteurs.

L'influence du paléo-environnement apparaît assez clairement dans le domaine occidental de l'unité de Nantbellet.

- L'abondance relative de smectites entre le Jurassique supérieur et le Barrémien, indique une stabilité des terres émergées soumises à une pédogenèse active développée sous climats chauds à forts contrastes saisonniers de l'humidité.

- La quasi-absence de kaolinite suggère que les terres émergées étaient très éloignées du bassin ultrahelvétique.

- La diminution des smectites au profit de l'illite au Paléocène supérieur-Eocène inférieur, traduit une reprise importante de l'érosion, consécutive d'une tectonique active et aboutissant à de nombreux phénomènes de resédimentation.

- Les analyses d'argiles trop peu nombreuses ne permettent pas de tirer des conclusions significatives quant à l'origine du détritisme de la Formation grésoglaucieuse et des faciès grésoglaucieux qui se sont déposés entre le Berriasien et la base du Barrémien. Toutefois, elles pourraient contribuer à lever l'incertitude quant aux attributions chronostratigraphiques en l'absence de microfaune.

Remerciements : Nous remercions Monsieur Hervé CHAMLEY de nous avoir permis d'utiliser le matériel du laboratoire de sédimentologie de Lille.

Ce travail a bénéficié du soutien du F.N.S.R.S. (requête n° 2 315084) à qui nous témoignons notre gratitude.

BIBLIOGRAPHIE

- CHAROLLAIS J., ROSSET J. & BUSNARDO R., (1970).- Le Crétacé de la nappe inférieure de la klippe de Sulens (Haute-Savoie, France). *Géobios*, 3, 2, pp. 7-40.
- CHAROLLAIS J., ROSSET J., BUSNARDO R., MANIVIT H. & REMANE J., (1981).- Stratigraphie du Crétacé en relation avec les formations qui l'encadrent dans l'unité de Nantbellet (= nappe inférieure sensu lato de la klippe de Sulens) Haute-Savoie, France. *Géol. Alpine*, Grenoble, 57, pp. 15-91.
- DARSAC C., (1983).- La plate-forme berriaso-valanginienne du Jura méridional aux massifs subalpins (Ain, Savoie) : sédimentologie, minéralogie, stratigraphie, paléogéographie, micropaléontologie. **Thèse 3ème cycle**, Grenoble, 319 p.
- DECONINCK J.-F., (1984).- Sédimentation et diagenèse des minéraux argileux du Jurassique supérieur-Crétacé dans le Jura méridional et le domaine subalpin (France, Sud-Est). Comparaison avec le domaine atlantique-nord. **Thèse 3ème cycle**, Lille, 150 p.
- DECONINCK J.-F., (1986).- Identification de l'origine détritique ou diagénétique des assemblages argileux : le cas des alternances marne-calcaire du Crétacé inférieur subalpin. *Bull. Soc. géol. France*, sous presse.
- DECONINCK J.-F. & CHAMLEY H., (1983).- Héritage et diagenèse des minéraux argileux dans les alternances marno-calcaires du Crétacé inférieur du domaine subalpin. *C. R. Acad. Sci.*, Paris, II, 297, pp. 589-594.
- DECONINCK J.-F. & DEBRABANT P., (1986).- La diagenèse des argiles dans le domaine subalpin : rôles respectifs de la lithologie, de l'enfouissement et de la surcharge tectonique. *Rev. Géol. dynam. Géogr. phys.*, Paris, sous presse.
- DUNOYER DE SEGONZAC G., (1969).- Les minéraux argileux dans la diagenèse, passage au métamorphisme. *Mém. Serv. Carte géol. Als. Lorr.*, 29, 320 p.
- FERRY S., COTILLON P. & RIO M., (1983).- Diagenèse croissante des argiles dans des niveaux isochrones de l'alternance calcaire-marne valanginienne du bassin vocontien. Zonation géographique. *C. R. Acad. Sci.*, Paris, II, 297, pp. 51-56.
- GIBBS R. J., (1977).- Clay mineral segregation in the marine environment. *J. sedim. petrol.*, 47, pp. 237-243.
- HOLTZAPFFEL T., (1985).- Les minéraux argileux. Préparation, analyse diffractométrique et détermination. *Soc. géol. Nord Publ.* Lille, 12, 136 p.
- JOSEPH P., BEAUDOIN B., FRIES G. & DECONINCK J.-F., (1985).- Megasequences and resediments in the subalpine basin, France (Malm-Cretaceous). **6th European Regional Meeting of Sedimentology**, Lerida.
- KINDLER P., (1986).- Découverte de Paléocène supérieur-Eocène inférieur dans l'ultra-helvétique savoyard (Préalpes chablaisiennes, France). Conséquences sédimentologiques et paléogéographiques. *C. R. Acad. Sci.*, Paris, à paraître.

- KISCH H. J., (1983).- Mineralogy and petrology of burial diagenesis (burial metamorphism in clastic rocks. In : Diagenesis in sediments and sedimentary rocks. **Developments in sedimentology**, 25, 2, pp. 289-294.
- KUBLER B., MARTINI J. & VUAGNAT M., (1974).- Very low grade metamorphism in the Western Alps. **Schweiz Min. Petr. Mitt.**, 54, 2/3, pp. 461-469.
- KUBLER B., PITTION J. L., HEROUX Y., CHAROLLAIS J. & WEIDMANN M., (1979).- Sur le pouvoir réflecteur de la vitrinite dans quelques roches du Jura, de la Molasse et des Nappes préalpines, helvétiques et penniques (Suisse occidentale et Haute-Savoie). **Eclogae geol. Helv.**, Bâle, 72/2, pp. 347-373.
- MARTINI J. & VUAGNAT M., (1965).- Présence du faciès à zéolites dans la formation des "grès" de Taveyanne (Alpes franco-suissees). **Bull. suisse Min. Pétr.**, 45, pp. 281-283.
- PAQUET H., (1970).- Evolution géochimique des minéraux argileux dans les altérations et les sols des climats méditerranéens et tropicaux à saisons contrastées. **Mém. Serv. Carte géol. Als. Lorr.**, 30, 206 p.
- ROSSET J., CHAROLLAIS J., TOURMAKINE M., MANIVIT H., CHATEAUNEUF J.-J. & SCHAUB H., (1976).- Présentation des différentes unités du synclinal de Thônes (Haute-Savoie, France). **Eclogae geol. Helv.**, Bâle, 69/2, pp. 359-402.
- SAWATSKI G., (1975).- Etude géologique et minéralogique des flyschs à grauwackes volcaniques du synclinal de Thônes (Haute-Savoie, France) - Grès de Taveyanne et grès du Val d'Illiez. **Arch. Sci.**, Genève, 28/3, pp. 265-368.
- VIEBAN 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 et paléogéographie. **Thèse 3^{ème} cycle**, Grenoble, 293 p.

TABLEAUX DES RESULTATS MINERALOGIQUES (fraction inférieure à 2 μ m)

C = chlorite, I = illite, (10-14s) = interstratifiés irréguliers illite-smectite, (10-14v) = interstratifiés irréguliers illite-vermiculite, (14c-14s) = interstratifiés irréguliers chlorite-smectite, 14c-14s = interstratifiés subréguliers chlorite-smectite, 14v-14s = interstratifiés subréguliers chlorite-vermiculite, V = vermiculite, Sm = smectite, K = kaolinite.

Q = quartz, F = feldspaths, Go = goethite, C.T. = cristobalite-tridymite.

+ : rare, ++ : peu abondant, +++ : abondant, ++++ : très abondant, tr : traces.

Tabl.1.- COUPE DE LA CHAISE

Ech.	C	I	(10-14s)	(10-14v)	(14c-14s)	Sm	K	Q	F	Go	CT
3078	40	40	10	5		5		++	+++		
3075	20	50	30					++++			
3076	35	35	25	5				++++			
3073	10+	60-	20-	10			tr	+++			
3072	25	50	15	10				++++			
3070	10	35	20	5		30		++			
3068	10+	25-	10			55-	tr	+++	+		
3067	10	25	10			55		++++			
3066	tr	15	15-			70		+++			+
3065	5-	15+	5			75		++++			+
3064	25	20	10-		tr	45		++++	+		
3058	20	10	5		tr	65-		++			
3055	40+	15	10-			35		++++			
3051	25	15	5		5	50		++			
3047	30	10+	5		5	50-		+			+
3042	50	15	5		5	25		+			
3039	20-	10-	tr		tr	65+	5-	+			
3034	5+	10-	5-		tr	80		++			
3031	15	20-	10		5	50+		++++			

Tabl. 2.- COUPE DU CHEMIN DE St FERREOL A NANTBELLET

Ech.	C	I	(10-14s)	(10-14v)	(14c-14s)	V	Sm	K	Q	F
3796	5-	35+	15	15	5		25		++++	
3798	10-	30	15+		5		35	5	+++	+
2917	15	25	15		5		40		++++	+
3800	10	35	10		10		35		+++	
3802	20-	20	10+		5		45		++++	+
3805	40+	20-	10		5		25		++	
2911	5	55-	20	5		15		tr	+	
2910	5	50	25	5+		10		5-	++	
2908	25	55	10	5	5				++++	+
2906	25	45	10	10	10				++++	+
2905	40-	40	10	10				tr	++++	
2904	5	55	30		10				++++	
2902	tr	65-	25	5	5				++	+
2900	20-	25	10				45+		++++	
2899	tr	55-	35-	tr	5+		5-		++	
2898	5	30	10		45		10		+++	
2897	30	40	15	15					++++	+
2896	15	55-	15	15	tr				++	+
2893	25	30	10		5		30		++	
2891	tr	25	5		10	10	50-		++++	
2890	15-	25+	5+		10-		40+	5-	++++	+
2888	25	15	5		5		45-	5+	+	
2886	25-	70			5			tr	++++	+++
2885	15-	55	10	10	10+				++++	

Tabl. 3.- COUPE DU TORRENT SOUS LES PRES DE NANTBELLET

Ech.	C	I	(10-14s)	(10-14v)	(14c-14s)	Sm	K	Q	F
3976	15	30+	25-	5	5-	20	tr	+++	+
3974	25	40	20-	5+	tr	10-		+++	
3972	45-	30+	10			15		+++	
3969	60	25	10+			5-		+++	
3965	25	35	15	10		15		+++	+
3964	40	45	10		5			++++	+
3962	20	55	15	5		5		+++	
3961	10	55-	25	5+		5		+++	
3960	10	60-	25	5+				++	
3958	20	50-	15	5	5		5+	+	

Tabl. 4.- COUPE REGION DE GUILLOM

Ech.	C	I	(10-14s)	(10-14v)	(14c-14s)	14c-14s	Sm	K	Q	F	Go	CT
2164	15	35	20	20	10		30		++++			
4297	40	20	10				30		++++			
2163	65	10	5		5		15		++++			
2922	30+	25	25		10-		10		++			
2162	15	30-	30		5+		20-	tr				
2161	35	45-	20		tr				++++			
2154	30	35-	15		15		5	tr	++			
2153	5+	35	10			20-	30		+			
2148	10	25	10		15		40		+++			
2146	20	20	15				45		++++			
2144	25	55	15		5				++++			
2143	25	55	15		5				+++			++
2139	25	20	10		20		25		++++			
2137	50-	30+	10		10				++			
2135	35	25	5			35			+++			
2134	55	30	15						+++			
2133	40	25	10		5		20		++			
2131	35	15	5			35	10			+	+	
2130	15	10-		tr	5		70			+		+

Tabl. 5a.- COUPE MARLENS, COL DE L'EPINE (en amont du virage 827 m)

Ech.	C	I	(10-14s)	(10-14v)	(14c-14s)	14c14s	(14v-14s)	Sm	K	Q	F	Go
2955	10	30	35			tr		20	5-	+		+
2952	45	20-	10+					25		++		+
2949	45-	15+		10-		10+			20			+
2947	tr	30	25	5			5	30	5-		+	
2946	40+	15	20			5		20-			++	
2942	5	35	20	5		5		25	5			+
2939	90-	5	5							tr		+
2929	tr	45	25	5		5		10	10-		+	+
2934	65-	10+	10			10		5			+	+
2932	75	10	10			5					++	
2926	15	15	10				15	10	35			+

Tabl. 5b.- COUPE MARLENS, COL DE L'EPINE (entre Brassoudes et le pont 730 m)

Ech.	C	I	(10-14s)	(10-14v)	(14c-14s)	Sm	K	Q	F	Go
2311	35	35	10		15	5		+++		
2308	5	30	35			30-	tr	++++		+
3104	5	40-	45-	tr	5	tr	5	++		+
3109	5	40-	40	tr	5	5	5	+		
3099	70-	15+	10		5			++		
3097	60	20	10		10			++		+

Tabl. 5c.- COUPE SOUS LE CHALET DE L'EPINE

Ech.	C	I	(10-14s)	(10-14v)	(14c-14s)	Sm	K	Q	F
3119	20	30	15		5	30		++++	
2329	35	45	15		5				
3124	30-	35	10		5	20+		++	
2323	10	55	15	10	5	5		++	
2321	35	30	15			20		++++	
2318	45	30-	10+			15		++++	
2316	15	20	20			45		++++	
3115	55	35	10					+	+++
3114	15	45	30			10		++++	+

Tabl. 6.- COUPE SOUS LE FREU

Ech.	C	I	(10-14s)	(10-14v)	Sm	K	Q	F
2439	55	35	10				+++	
2438	20-	40	35	5		tr	++	
2435	20	40-	35	5		tr	++	
2433	35	30	35				++++	+
2428	70+	20	10-				++++	+
2424	75-	20	5+				++++	
2417	85-	10+	5				++++	+

Tabl. 7.- COUPE TETE D'ORSIERE, ARBARETE

Ech.	C	I	(10-14s)	(10-14v)	(14c-14s)	Sm	K	Q	F	CT
2958	5-	45	45+			5		++		
2957	25	35	20+		5-	10 ⁺	5-	++	+	
2959		30+	15			55-		+		++

Tabl. 8.- COUPE LES MOUILLES, ARBARETE

Ech.	C	I	(10-14s)	(10-14v)	(14c-14s)	V	Sm	Q	F
3136	15+	25	35-		5		20	++++	
3135	15	30	25	5		5	20	++++	+
3133	10	30	30				30	++++	

Tabl. 9.- COUPE DU MACHEUX

Ech.	C	I	(10-14s)	(10-14v)	(14c-14s)	V	Sm	K	Q	F	Go	CT
2989	10+	60-	20	5	5				++			
2987	40	40	20						++++			++
2983	15	50	20	10	5				++++	+		
2982	50-	35+	15						++++	+		
2980	80	20							++++			
2978	60	20	15		5				++			
2975	30	35	20	5	5		5		+++			
2970	35	20	20	5	10		10		+			
2968	20	35	25	5	5	5		5	+		+	
2966	15	45-	20	10	5		tr	5	+		+	