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

Band: 68 (1988)

Heft: 1

Artikel: Métamorphisme transporté dans les Préalpes

Autor: Mosar, Jon

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-52051

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

SCHWEIZ. MINERAL. PETROGR. MITT. 68, 77–94, 1988

Métamorphisme transporté dans les Préalpes

par *Jon Mosar*[1]

Abstract

Metamorphism in the Prealps has been studied using illite crystallinity and the evolution of the argillaceous mineral parageneses. Samples have been taken in the limestones of the Préalpes médianes and the surrounding units in the Chablais Prealps (France), the Préalpes Romandes (W-Switzerland) and the Stanserhorn-Arvigrat Klippen (Central Switzerland). We found evidence for an increase in the degree of metamorphism from diagenesis in the frontal part of the nappe (Préalpes médianes plastiques) to epizonal conditions in the trailing part of the nappe (Préalpes médianes rigides). The increasing degree of metamorphism goes hand in hand with a change in the chemical composition of the white micas which have a tendency to an evolution from an illite type to a muscovite type. Studying the metamorphism of the units underlying the Préalpes médianes shows that the metamorphism of the Préalpes médianes is tranported.

Keywords: Prealps, transported metamorphism, illite crystallinity, diagenesis, epizone.

Resumé

Le métamorphisme des Préalpes est étudié par le biais de l'évolution de la paragenèse des minéraux argileux et de la cristallinité de l'illite. L'échantillonnage s'est fait dans les calcaires des Préalpes médianes et des unités encadrantes et ceci dans les Préalpes du Chablais (France), les Préalpes Romandes (Suisse) et les Klippes du Stanserhorn-Arvigrat (Suisse). Nous avons ainsi pu mettre en évidence une augmentation de l'intensité métamorphique depuis la diagenèse au front de la nappe (Préalpes médianes plastiques), jusqu'à l'épizone à l'arrière de la nappe (Préalpes médianes rigides). Avec le métamorphisme croissant les micas blancs originellement du type illite montrent une tendance à l'évolution vers le type muscovite. L'étude du métamorphisme des unités encadrant les Préalpes médianes permet d'affirmer que le métamorphisme des Préalpes médianes est transporté.

Zusammenfassung

Die Metamorphose der Voralpen wurde mit Hilfe der Illit-Kristallinität und der Veränderung der Tonmineral-Paragenese in Kalkgesteinen studiert. Die Proben stammen aus den Préalpes der Schweiz und Frankreichs (Préalpes du Chablais, Préalpes Romandes) sowie aus den Stanserhorn-Arvigrat-Klippen der Zentral-Schweiz. Es konnte bewiesen werden, dass die Metamorphose von der Diagenese, in den frontalen Teilen der Decke (Préalpes médianes plastiques) bis in die Epizone, in den rückwärtigen Teilen der Decke (Préalpes médianes rigides) ansteigt. Mit ansteigender Metamorphose zeigen die Hellglimmer vom Illit-Typus eine Tendenz in Richtung Muskovit-Typus. Die Untersuchungen in den unterliegenden Einheiten beweisen, dass die Metamorphose der Préalpes transportiert ist.

[1] Institut de Géologie, Université de Neuchâtel, 11 rue Emile Argand, CH-2000 Neuchâtel, Switzerland. Adresse actuelle: Princeton University, Dept. of Geophysical & Geological Sciences, Guyot Hall, Princeton, New Jersey 08544, USA.

1. Introduction

Les Préalpes, en France et en Suisse, forment un ensemble de nappes tectoniques d'origine paléogéographique pennique et austroalpine. Elles sont actuellement situées au Nord des nappes helvétiques et des massifs cristallins externes (fig. 1). Dans cette pile de nappes on peut distinguer trois grands ensembles: A) la nappe Supérieure et la nappe de la Brèche, B) la nappe des Préalpes médianes et C) la nappe du Niesen (CARON, 1972 et 1973; TRÜMPY, 1980) (fig. 2). Les différentes nappes reposent sur les flyschs ultrahelvétiques, les flyschs subalpins ou la molasse subalpine.

Les Préalpes médianes, qui font l'objet de cette étude, forment l'ossature de l'ensemble des Préalpes avec leurs épaisses séries calcaires du Trias moyen, Lias et Malm et leurs séries à alternances marno-calcaires du Dogger, Néocomien et Crétacé supérieur-Tertiaire (Couches Rouges). Classiquement on les subdivise en Préalpes médianes plastiques au Nord, formant la partie frontale de la nappe, et Préalpes médianes rigides au Sud-Sud-Est, formant la partie arrière de la nappe. La chaîne des Gastlosen-Tours d'Aï – située entre le Vanil-Noir et la Gummfluh (fig. 2b) dans la partie Ouest des Préalpes et cachée (non-affleurant) en-dessous du Turnen (fig. 2c) dans les Préalpes orientales – forme une partie intermédiaire entre ces deux ensembles. La géologie structurale des Préalpes médianes plastiques est caractérisée par des grands plis-failles tandis que dans les Préalpes médianes rigides on observe des structures chevauchantes imbriquées (fig. 2). Pour de plus amples détails sur la géologie structurale des Préalpes on se rapportera à BADOUX (1962), BADOUX et MERCANTON (1962), PLANCHEREL (1979) et MOSAR (1988).

Peu d'études ont été faites sur le métamorphisme des Préalpes et surtout des Préalpes mé-

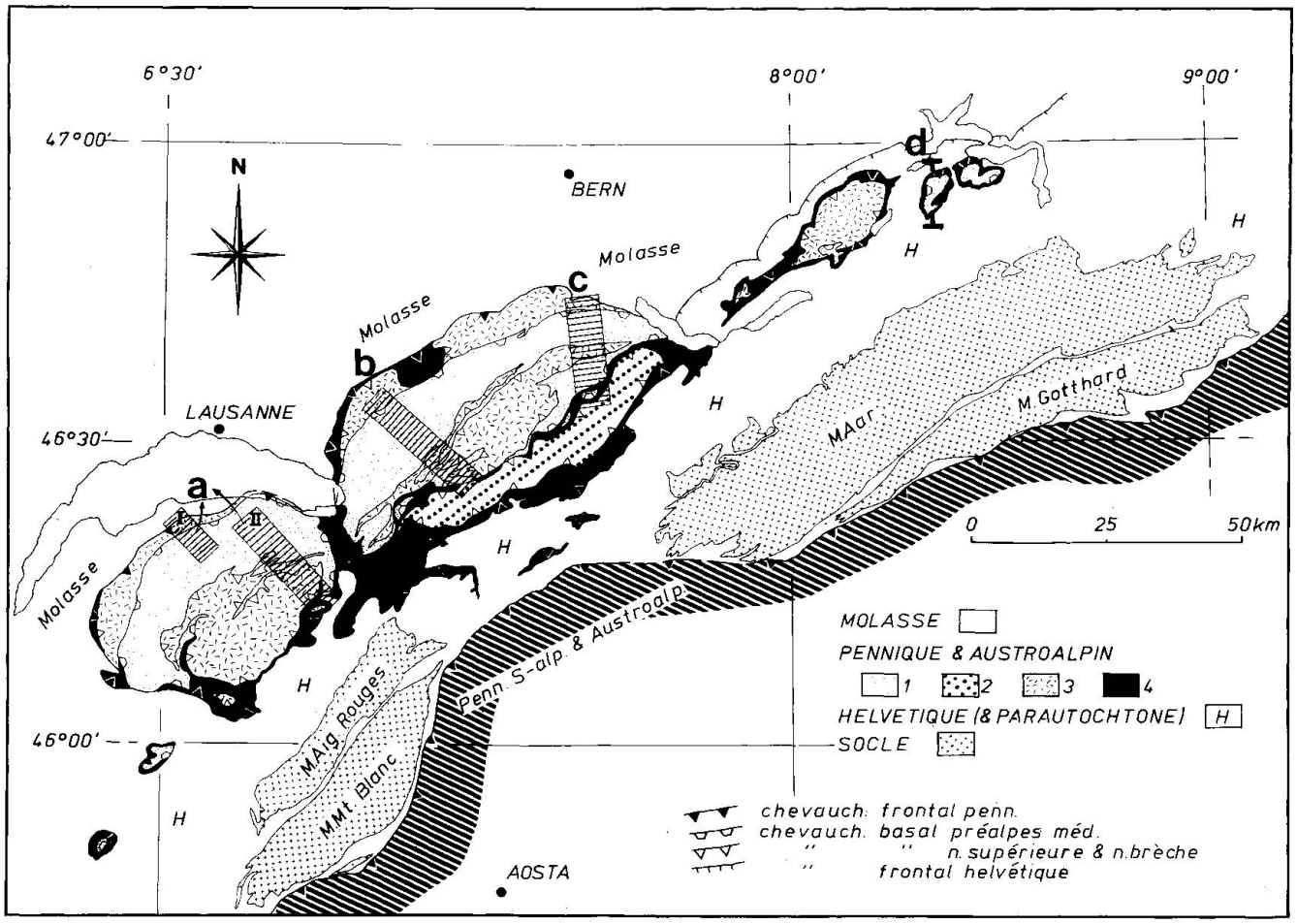

Fig. 1 Schéma structural simplifié. 1: nappe des Préalpes médianes; 2: nappe des flysch du Niesen; 3: nappe Supérieure et nappe de la Brèche; 4: Ultrahelvétique. Les aires désignés par les lettres a (I, II), b, c, et d indiquent les secteurs qui ont permis de construire les coupes de la figure 3.

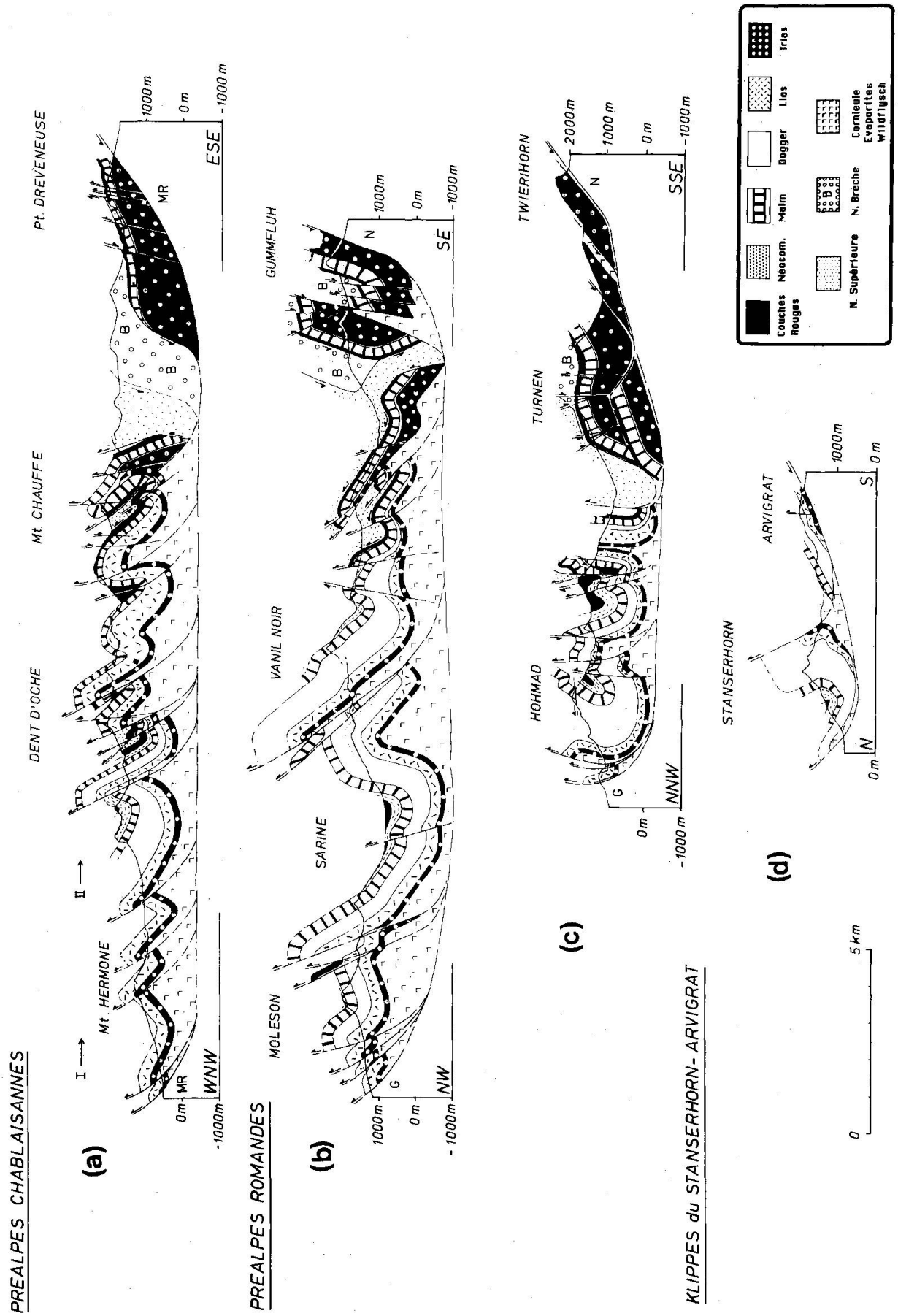

Fig. 2 Profils tectoniques synthétiques. Localisation voir fig. 1. MR = Molasse Rouge (Chattien), G = Flyschs de la nappe du Gurnigel, N = Flyschs de la nappe du Niesen. Le chevauchement basal des Préalpes se fait sur des niveaux fortement tectonisés de l'Ultrahelvétique accompagnés des gypses et cornieules des Préalpes. Les coupes sont construites en compilant les données des régions signalées sur la fig. 1.

dianes. Les différents auteurs admettent généralement que les Préalpes ne sont pas ou que très peu métamorphiques, à l'exception de la nappe du Niesen où certaines parties ont atteint l'anchizone. Nous allons, dans ce travail, étudier l'intensité du métamorphisme le long de quatre coupes (plus de 200 échantillons) dans les Préalpes du Chablais, les Préalpes Romandes de l'Ouest, les Préalpes Romandes de l'Est et les Klippes du Stanserhorn-Arvigrat (fig. 1 et 2).

Des études sur la géologie structurale et la déformation interne des calcaires ont permis de montrer le parallélisme entre le changement du style tectonique, plis et plis-failles dans la partie frontale et structures en rampes et plats dans la partie arrière de la nappe (MOSAR, 1988), et l'augmentation de la déformation interne des calcaires (MOSAR, 1988) dans les Préalpes médianes romandes. Sachant que la déformation dans les Préalpes médianes augmente des zones frontales vers l'arrière (MOSAR, 1988), il a paru intéressant d'examiner si cette évolution était accompagnée d'une augmentation du métamorphisme. Pour analyser celui-ci dans des ensembles qui ont été soumis à des effets thermiques modestes ou faibles, nous avons utilisé l'évolution de la cristallinité de l'illite dans des calcaires du Trias, du Malm et du Crétacé supérieur-Tertiaire (Couches Rouges). Et, afin de situer ces analyses dans un contexte tectonique régional plus étendu, nous étudierons le métamorphisme des unités encadrantes, à savoir la Molasse Rouge, la nappe du Niesen et les nappes dites supérieures.

2. Métamorphisme

Depuis les travaux de KÜBLER (1964, 1967 et 1986) et de DUNOYER (1969 et 1970), entre autres, on sait que la fraction argileuse inférieure à 2 μm d'un sédiment enregistre dans ses paramètres cristallographiques et cristallochimiques l'évolution subie depuis la diagenèse jusqu'au métamorphisme, alors que les fractions plus grandes (p.ex. 2–16 μm) reflètent probablement l'héritage détritique. Avec l'élévation de la température les paragenèses minérales de surface sont peu à peu déstabilisées et remplacées par des minéraux néoformés stables dans les nouvelles conditions. Pour suivre cette évolution, nous avons utilisé l'analyse par diffraction RX sur des fractions argileuses orientées < 2 μm et de 2–16 μm (fig. 3).

2.1 MINÉRALOGIE DES ARGILES (ILLITES-CHLORITES)

Dans les calcaires des Préalpes les fractions argileuses < 2 μm et de 2–16 μm sont essentiellement composées d'illites et dans une proportion moindre de chlorites. A cette association s'ajoutent dans les échantillons provenant des régions peu métamorphiques des Préalpes médianes plastiques (diagenèse), des interstratifiés, de la kaolinite et des smectites qui disparaissent avec le métamorphisme croissant au profit de la seule association illite-chlorite. En dehors des minéraux phylliteux, il faut noter la présence, dans de nombreux échantillons, de quartz et de feldspaths (plagioclases).

2.1.1 Illites

Afin de caractériser le type de minéraux et de mettre en évidence des variations régionales, nous avons étudié les intensités des pics de réflexions. REY et KÜBLER (1983) montrent qu'on peut utiliser les intensités du premier, deuxième et cinquième pics de l'illite rapportées à leur somme, afin de représenter les différentes familles de micas sur un diagramme ternaire. Les analyses (fig. 4 et 5) révèlent que dans les échantillons étudiés il s'agit surtout d'illites, aussi bien dans les Couches Rouges, le Malm et Trias des Préalpes médianes que dans les flyschs de la nappe du Niesen et la Molasse Rouge. Font exception uniquement les échantillons de l'Aalénien des nappes Helvétiques (fig. 5f, BURKHARD, données non publiées) où la tendance muscovite est très claire. D'une manière générale on remarque que les fractions de 2–16 μm sont plus près du domaine des muscovites (fig. 4 et 5), donc des micas sans substitutions de H_2O par K et de Fe par Al, que les fractions fines < 2 μm.

Nous constatons, en passant des régions peu métamorphiques des Préalpes médianes plastiques (diagenèse) (fig. 4a, 4d et 5a) aux régions plus métamorphiques des Préalpes médianes rigides (anchi-,épizone) (fig. 4b, 4c, 4e et 5b), que la substitution de H_2O par K et de Fe par Al devient plus importante caractérisant ainsi une tendance vers les muscovites. Il faut cependant se rappeler que l'étude de ces dia-

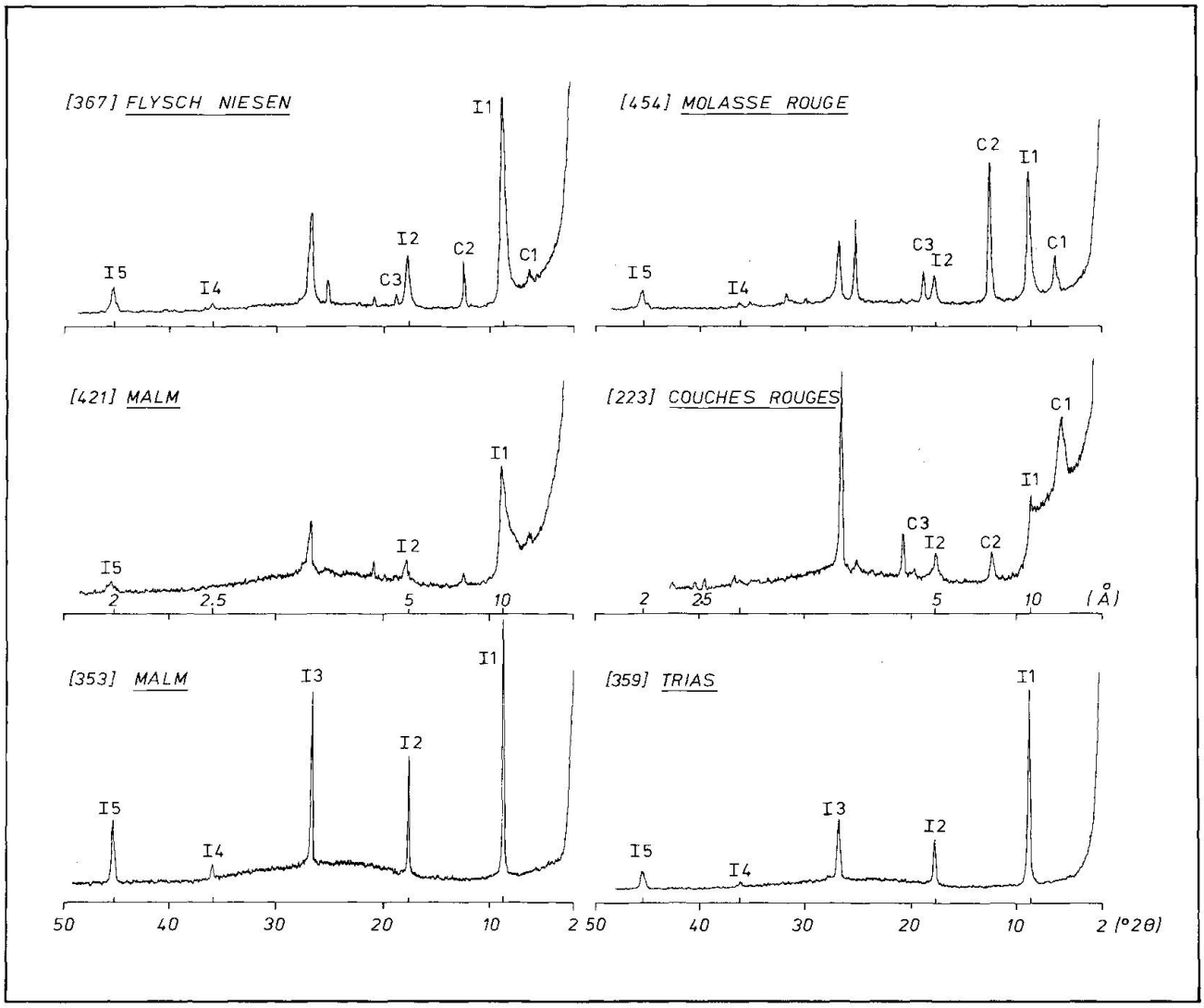

Fig. 3 Exemples de diffractogrammes rayons-X de fractions argileuses <2 μm, orientées et séchées à l'air. [421] MALM: numéro d'échantillon et type de roche. I1, I2, I3 etc. correspond aux différents pics de l'illite, C1, C2 etc. aux pics de la chlorite. Les échelles sont en Angström (Å) et en degrés 2Θ (rayonnement CuKα filtré Ni, détail voir texte).

grammes ternaires n'équivaut pas à une analyse chimique mais reflète uniquement des tendances.

La valeur du rapport des pics (001)/(002) en tant qu'indicateur du changement du rapport Fe+Mg/Al est très discutable (ESQUEVIN, 1969 et HUNZIKER et al., 1986). Ainsi dans les Préalpes ces rapports restent stables, avec toutefois une légère tendance à des valeurs plus petites si on va des Préalpes médianes plastiques vers les - rigides, c'est-à-dire avec le métamorphisme croissant. Nous avons utilisé dans la suite des diagrammes (001)/(002) en fonction de l'IA (indice d'aïgu IA ou indice de cristallinité IC) uniquement afin de montrer les variations de l'intensité du métamorphisme (chap. 2.2).

2.1.2 Chlorites

L'étude de l'intensité des pics (001) à 14 Å, (002) à 7 Å et (003) à 4.7 Å, sur des pâtes orientées des fractions argileuses < 2 μm et de 2-16 μm, permet d'évaluer la composition chimique des chlorites en les reportant dans des

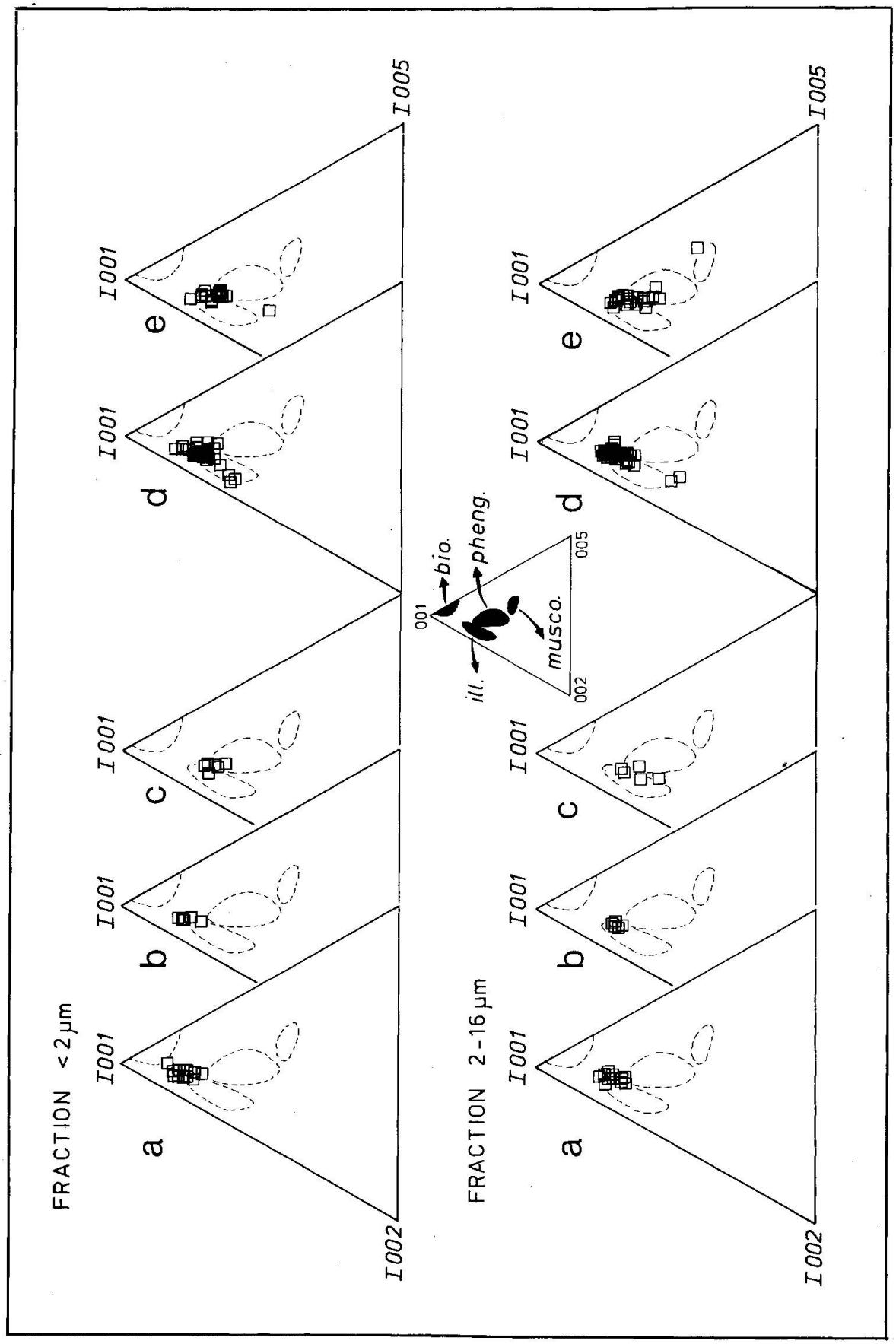

Fig. 4 Diagramme ternaire de REY et KUBLER (1983) pour les micas. Malm des Préalpes médianes. (a) Préalpes médianes plastiques entre Moléson et Vanil Noir (fig. 3b); (b) Préalpes médianes: Laitemaire (fig. 3b); (c) Préalpes médianes rigides entre Rübli et Gummfluh (fig. 3b); (d) Préalpes médianes plastiques et Klippes; (e) Préalpes médianes rigides.

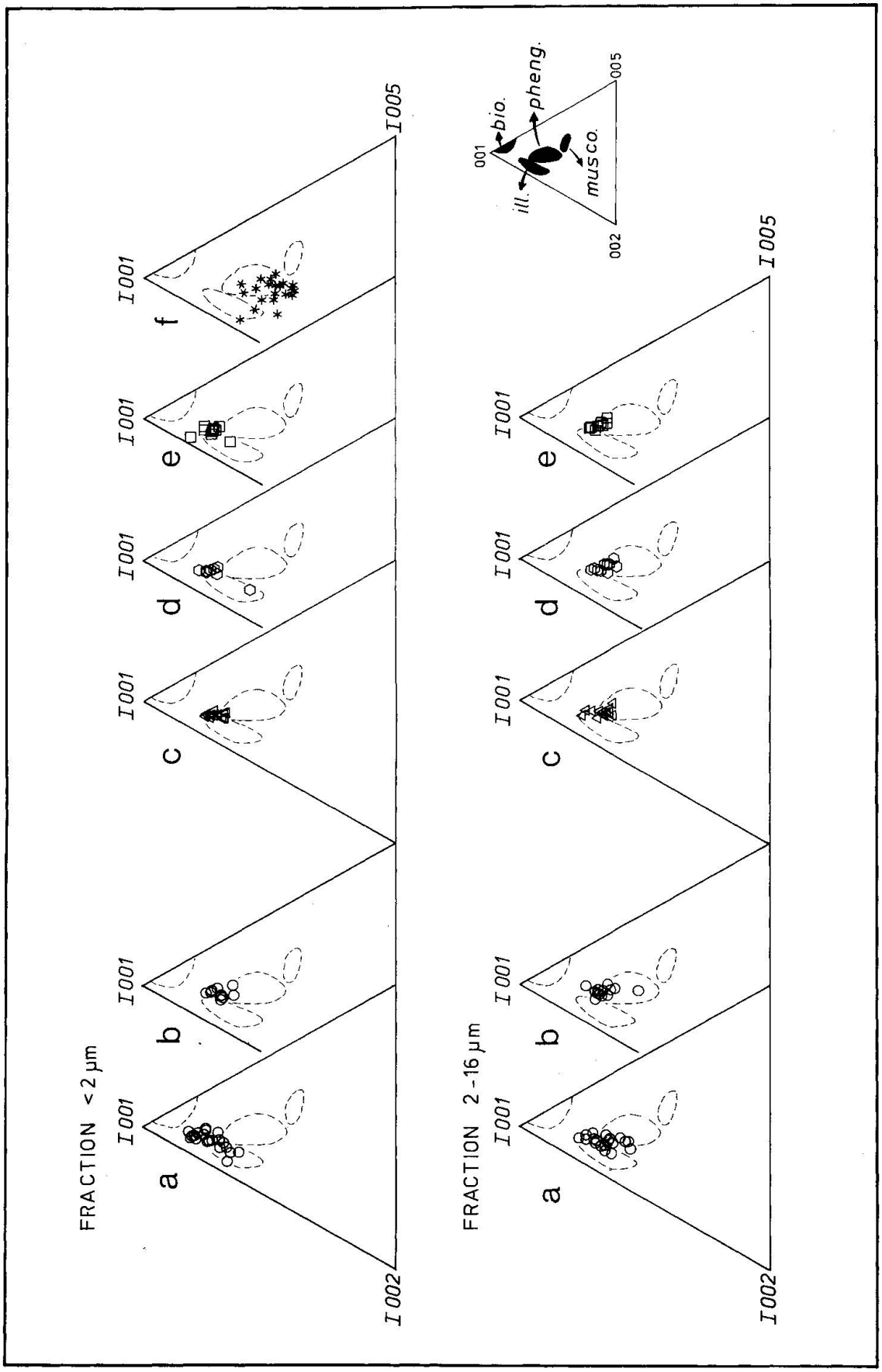

Fig. 5 Diagrammes ternaires REY et KUBLER (1983) pour les micas: (a) Couches Rouges des Préalpes médianes plastiques; (b) Couches Rouges des Préalpes médianes rigides; (c) Trias des Préalpes médianes rigides; (d) Molasse Rouge du Chablais; (e) flysch de la nappe du Niesen; (f) Aalénien des nappes Helvétiques (d'après BURKHARD, inédit.). bio. = biotites, ill. = illites, musco. = muscovites, pheng. = phengites.

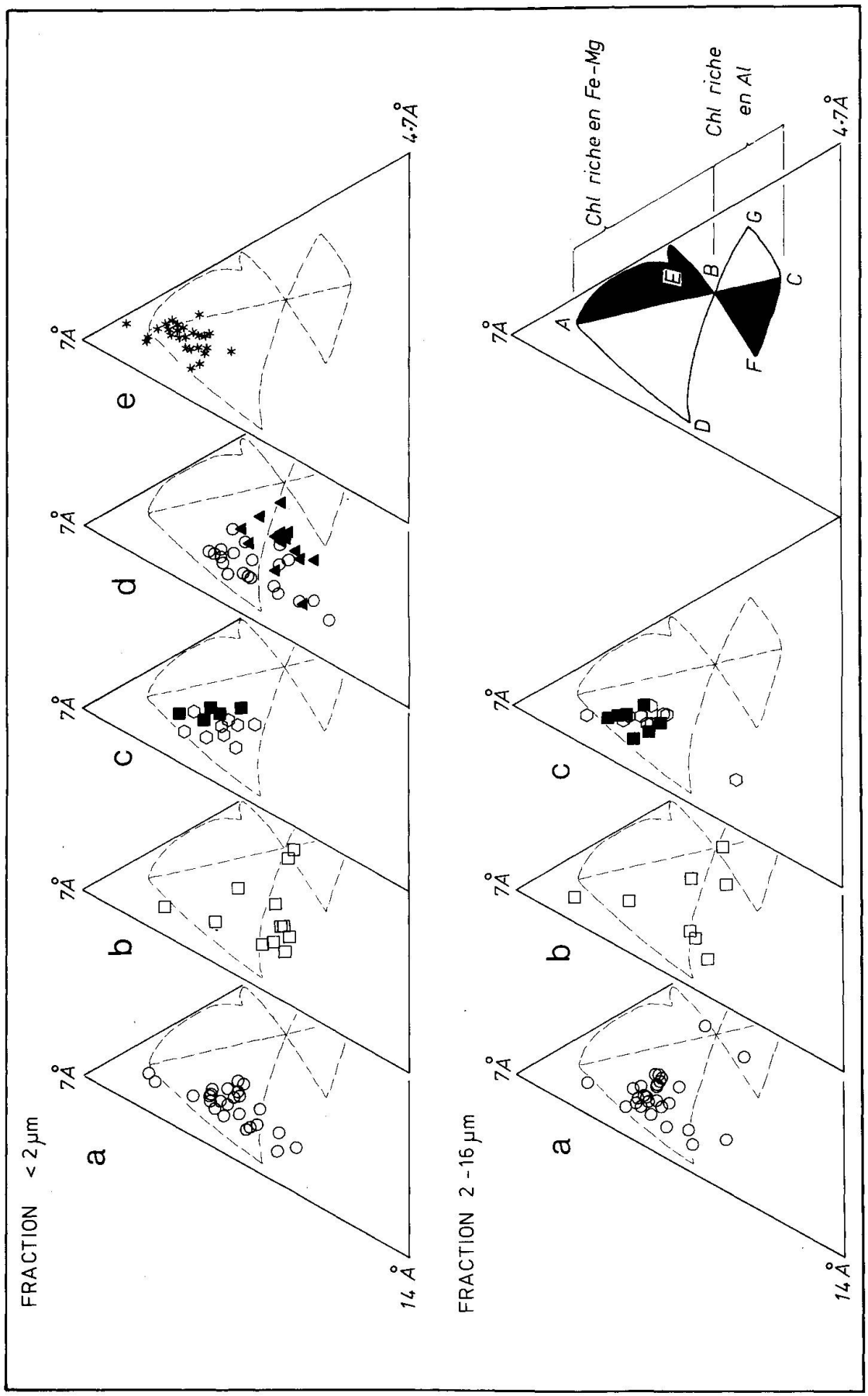

Fig. 6 Diagramme ternaire d'OINUMA (1972) pour les chlorites. On sait que la structure des chlorites dérive de celle du talc combiné à des feuillets hydroxylés de type brucite avec la possibilité de remplacements par des ions di- et trivalents (GRIM, 1953). Sur le diagramme ternaire la plage ABDE est caractéristique de chlorites riches en Fe-Mg alors que la plage BFCG représente les chlorites riches en Al. Les plages ABD montrent un excès de Fe, les plages BCG un excès de Al dans les couches silicatées, alors que les plages ABE indiquent un excès de Fe, les plages BCF un excès de Al dans les couches hydroxylées.
(a) Couches Rouges des Préalpes médianes; (b) Malm des Préalpes médianes; (c) Molasse Rouge du Chablais et flysch de la nappe du Niesen; (d) nappe de la Brèche (d'après SAUDAN, 1986) et Trias des Préalpes médianes rigides (d'après BAUD, 1987); Aalénien des nappes Helvétiques (d'après BURKHARD, inédit); (e) diagramme explicatif, détails voir texte.

diagrammes triangulaires (OINUMA et al., 1972) (fig. 6). Il faut cependant noter que le diagramme triangulaire d'OINUMA n'est valable que pour des conditions d'analyse bien particulières et ne semble s'appliquer qu'aux uniques échantillons étudiés par son auteur. Néanmoins en appliquant cette méthode à des analyses de chlorites décrites dans la littérature et dont on connaît la composition chimique et l'intensité des pics de réflexion aux RX (BRINDLEY et BROWN, 1980; BROWN et BAILEY, 1962; CHATTERJEE, 1966; FRENZEL et SCHEMBRA, 1965; LISTER et BAILEY, 1967; SHIROZU, 1958), on peut généraliser l'interprétation que donne OINUMA (1972) en admettant que le pôle à 14 Å représente la tendance Mg, le pôle à 7 Å la tendance Fe et le pôle à 4.7 Å la tendance Al.

Les échantillons étudiés dans les Préalpes (fig. 6) montrent, et ceci dans toutes les lithologies et apparemment indépendamment de toute évolution métamorphique, des chlorites trioctaédriques riches en Fe-Mg avec un excès de Fe dans les couches silicatées. Dans différents niveaux de la nappe de la Brèche (fig. 6d, SAUDAN, 1986) et dans le Trias des Préalpes médianes (fig. 6d) l'analyse révèle une tendance vers les chlorites riches en Mg, alors que dans les niveaux Aaléniens de l'Helvétique (fig. 6e, BURKHARD, données non publiées) la tendance Fe domine. Les analyses des divers échantillons sont réparties sur différentes plages selon leur appartenance stratigraphique. On n'a pas pu mettre en évidence d'évolution avec le métamorphisme croissant. Par ailleurs les fractions argileuses de 2–16 μm ont une tendance plus prononcée vers le pôle Fe que les fractions fines < 2 μm. Comme il s'agit probablement dans le cas des fractions de 2–16 μm de l'héritage détritique, on peut attribuer cet enrichissement en Fe à l'altération (WETZEL, 1973).

2.2. CRISTALLINITÉ DE L'ILLITE

La cristallinité de l'illite (indice d'aïgu IA ou indice de cristallinité IC) proposé par KÜBLER (1964 et 1967) est défini par la largeur en degrés 2θ à mi-hauteur du pic (001) à 10 Å de l'illite. De nombreux travaux (DUNOYER, 1969 et 1970; ESQUEVIN, 1969; FREY, 1970; KÜBLER et al., 1979; WEAVER, 1960; WEBER, 1972) ont montré que cet indice varie avec le métamorphisme subi par la roche et qu'il est donc un bon indicateur de l'intensité du métamorphisme. On peut donc l'intégrer dans une zonéographie du métamorphisme (fig. 7) subdivisée en: diagenèse (IC > 0.42), anchizone (0.42 > IC > 0.25) et épizone (IC < 0.25). Ces valeurs sont fonction de l'appareillage utilisé, dans notre cas (laboratoire de l'Institut de Géologie de l'Université de Neuchâtel) il s'agit d'un diffractomètre Philips, 40 kV, 20 mA, à rayonnement CuKα filtré Ni, des fentes 1°, 0.2 mm, 1°, une vitesse de 2°/min. et sans monochromateur (KÜBLER, 1986).

Trois observations générales s'imposent sur les résultats obtenus. Premièrement: après comparaison des IA des préparations traitées à l'éthylèneglycol et des préparations séchées à l'air, on constate que l'IA est systématiquement plus faible après saturation à l'éthylèneglycol (fig. 8A). Cette diminution est mise en relation avec l'existence d'interstratifiés gonflants accompagnant les couches micacées non gonflantes (KÜBLER, 1987). Dès l'anchizone profonde ces interstratifiés gonflants disparaissent (fig. 8A). C'est là une confirmation indirecte de l'évolution de la paragenèse minérale avec le métamorphisme croissant. Nous avons utilisé dans les représentations graphiques de la cristallinité de l'illite, les valeurs des préparations traitées à l'éthylèneglycol. Deuxièmement, l'IA des fractions de 2–16 μm est généralement meilleur que celui des fractions < 2 μm (fig. 8B) et ceci pour les différents types de lithologies. KÜBLER (1986) associe cette constatation, qui est générale, à l'influence des associations détritiques héritées dans ces granulométries. Troisièmement, dans les Préalpes, comme dans d'autres régions, la fluctuation de l'IA pour des échantillons pris au même endroit peut être importante (fig. 9). Avec le métamorphisme croissant cette dispersion tend à disparaître (fig. 9).

Les illites des fractions < 2 μm analysées dans les niveaux du Malm des Préalpes, montrent que l'intensité du métamorphisme augmente depuis les Préalpes médianes plastiques (front de la nappe), qui sont dans la diagenèse, vers les Préalpes médianes rigides (arrière de la nappe) qui atteignent l'épizone (IA jusqu'à 0.16; fig. 9), voir surtout l'exemple des Préalpes médianes Romandes de l'Ouest (fig. 9b). Dans les Préalpes médianes Romandes de l'Est, les micas des Couches Rouges ont subi une évolution identique. Les niveaux du Trias des Préalpes médianes rigides ont atteint l'anchi-, épizone (fig. 7d d'après BAUD, 1987). Les fractions

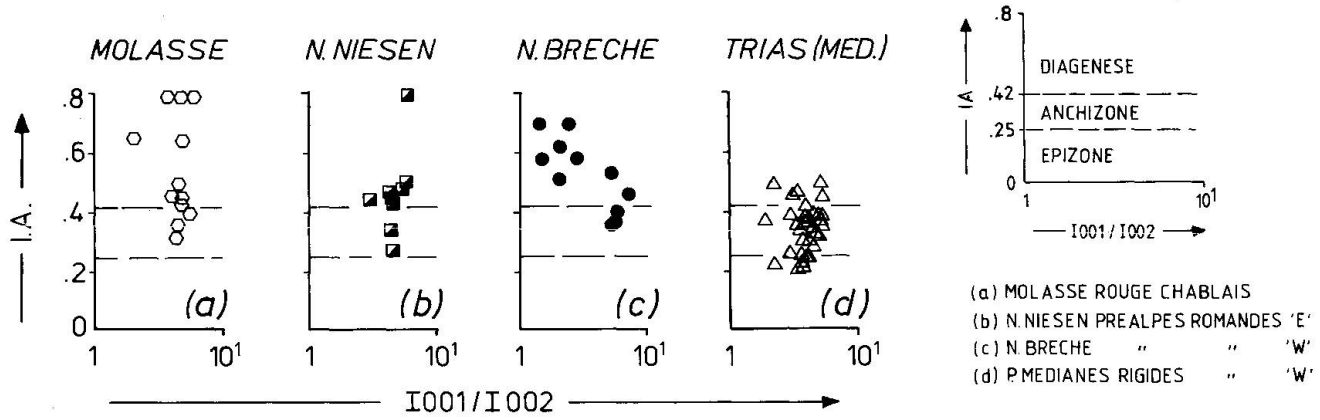

Fig. 7 Diagrammes de la cristallinité de l'illite (IA) en fonction du rapport de l'intensité des pics (001)/(002) de l'illite. (a) Echantillons de la région entre St. Gingolph et Troistorrents; (b) Partie supérieure de la nappe du Niesen, région du Twierihorn; (c) d'aprés SAUDAN, (1986), région de la Gummfluh; (d) d'après BAUD, (1987), Trias des calcaires de St. Triphon.

de 2–16 µm (influence sédimentaire) montrent une évolution identique bien que dans les Préalpes médianes plastiques la cristallinité indique déjà l'anchizone et que dans les Préalpes médianes rigides on est clairement dans l'épizone.

Pour compléter notre étude et placer le métamorphisme des Préalpes dans le contexte régional et celui de la mise en place des nappes, nous avons étendu notre analyse du métamorphisme aux formations de la Molasse (Molasse Rouge du Chattien des Préalpes du Chablais, échantillons provenant de la région St. Gingolph - Troistorrents) (fig. 2a) situées sous les Préalpes médianes rigides et plastiques et aux flyschs de la nappe du Niesen (fig. 2c) qui eux se retrouvent uniquement sous les Préalpes médianes rigides. Dans les deux cas le métamorphisme reste faible (diagenèse à anchizone sup.) pour les fractions < 2 um (fig. 7a et b).

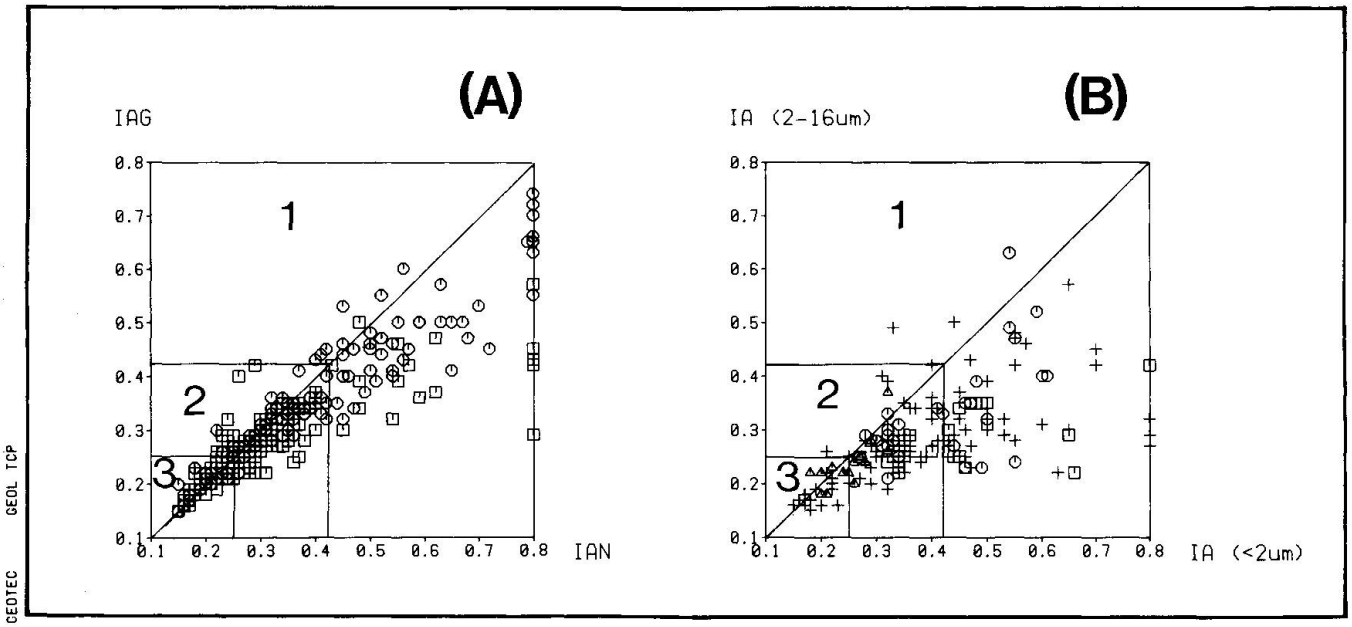

Fig. 8 (A) Indice d'aïgu des préparations séchées à l'air (IAN) en fonction de l'indice d'aïgu des préparations traitées à l'éthylèneglycol (IAG). Ronds: Fractions <2 µm, carrés: fractions de 2–16 µm. La forte proportion d'interstratifiés gonflant, responsable de la dispersion des points dans la plage de la diagenèse, disparaît avec le métamorphisme croissant. (B) Indice d'aïgu des fractions <2 µm en fonction des fractions de 2–16 µm. Triangles: Trias, carrés: Malm, ronds: Couches Rouges, croix: flysch de la nappe du Niesen et de la Molasse Rouge. Les cristallinités des fractions de 2–16 µm sont meilleures que pour les fractions <2 µm. C'est là une indication de l'influence des associations détritiques héritées dans les granulométries de 2–16 µm. 1) zone de la diagenèse, 2) anchizone, 3) épizone.

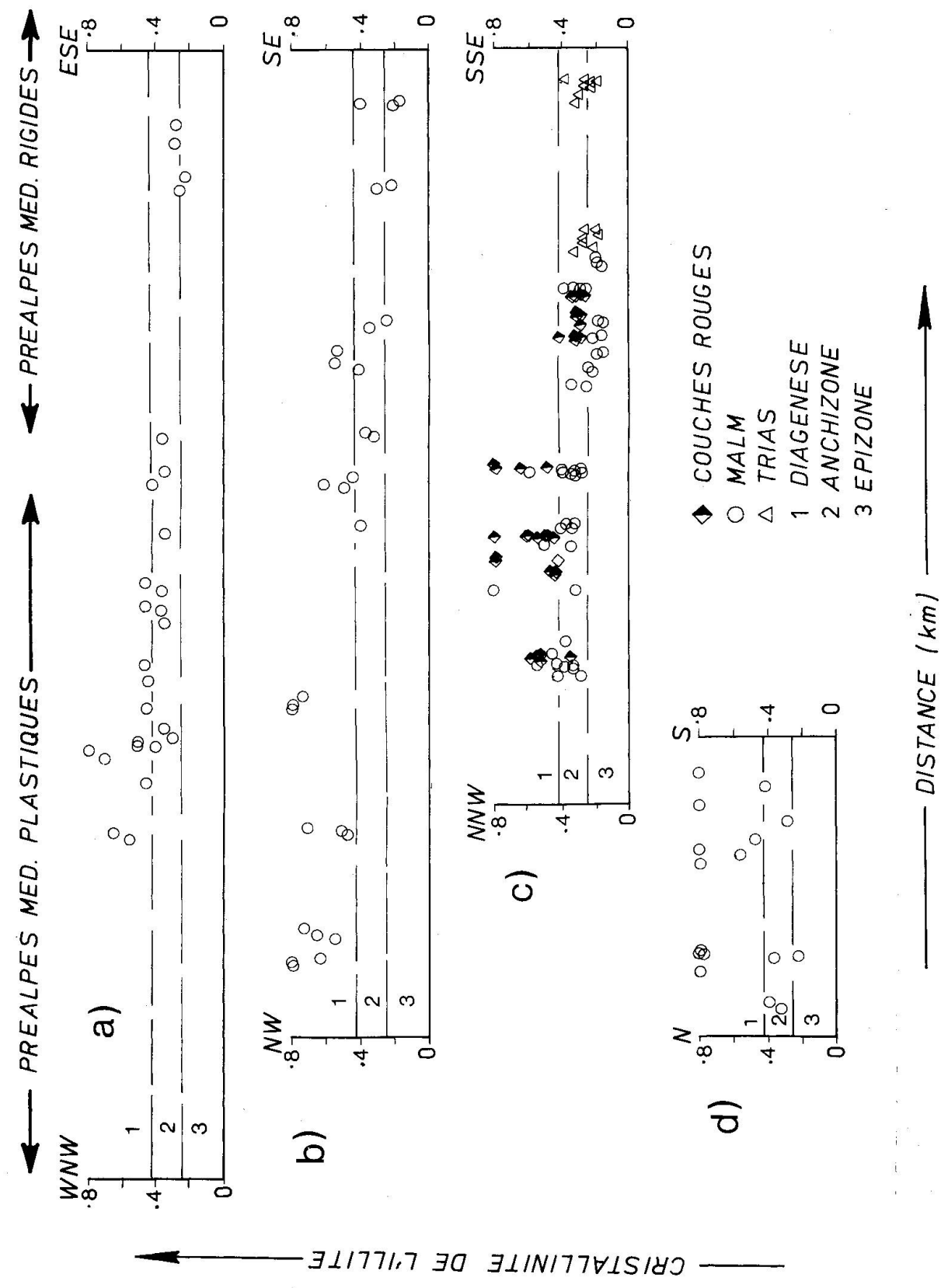

Fig. 9 Cristallinité de l'illite des divers échantillons en fonction de leur position le long des coupes. On peut voir qu'on passe de manière continue de la diagenèse dans les Préalpes médianes plastiques à l'épizone dans les Préalpes médianes rigides. Ces coupes correspondent exactement aux coupes géologiques de la fig. 2 et peuvent y être superposées (longueur de profils indentique).

Nous avons également étudié l'évolution de la cristallinité de l'illite dans un profil vertical à l'arrière de la nappe des Préalpes médianes rigides allant des Couches Rouges des Préalpes médianes jusque dans les flyschs de la nappe du Niesen (fig. 10). La cristallinité montre que le métamorphisme est d'anchizone profonde à épizone jusqu'au chevauchement basal des Préalpes médianes. Dès qu'on passe dans la nappe du Niesen par contre, on retrouve le faciès diagénétique (fig. 10). Le même phénomène s'observe entre les Préalpes médianes rigides du Chablais (fig. 7a) et la Molasse Rouge chevauchée par ces mêmes Préalpes médianes rigides (fig. 9a). Il y a donc un saut très net dans l'intensité du métamorphisme entre les Préalpes médianes rigides et les unités sous-jacentes, ce qui nous oblige à admettre que le métamorphisme des Préalpes médianes est transporté.

3. Études analogues dans l'ensemble des Préalpes

On ne compte actuellement qu'un nombre restreint d'études concernant d'une manière ou d'une autre les Préalpes, que ce soit en étudiant la réflectance de la vitrinite, les minéraux indexes (évolution des argiles), la cristallinité de l'illite ou les inclusions fluides. Nous allons brièvement résumer les travaux les plus importants et considérer leurs résultats dans le cadre tectono-métamorphique général des nappes des Préalpes. Pour une discussion approfondie sur les relations entre réflectance de la vitrinite et cristallinité de l'illite le lecteur pourra se référer entre autres à FREY et al. (1980), KÜBLER et al. (1979) et TEICHMÜLLER et al. (1979).

3.1. LES PRÉALPES MÉDIANES ET LES KLIPPES

Les travaux récents dans les Préalpes médianes et les Klippes (APRAHAMIAN et PAIRIS, 1981; BAUD, 1987; BAUD et MASSON, 1976;BERTHERIN, 1980; BREITSCHMID, 1982; CHATEAUNEUF et al., 1973; DECONINCK et CHAROLAIS, 1986; DUNOYER, 1969; FREY, 1986; FREY et NIGGLI, 1971; FREY et al., 1980; KÜBLER et al., 1974; KÜBLER et al., 1979; MARTINI, 1972; MASSON et al., 1980; MÜLLIS, 1979; OBERHÄNSLI et al., 1985; STALDER et TOURAY, 1970; TEICHMÜLLER et TEICHMÜLLER, 1978) s'accordent pour identifier un métamorphisme faible (diagenèse). Dans les Préalpes médianes rigides on a localement pu mettre en évidence de la pyrophyllite (BAUD, 1987; BERTHERIN, 1980) qui est un indicateur du métamorphisme d'anchizone et on a pu obtenir, grâce à des mesures de cristallinité de l'illite, des indications sur un métamorphisme d'épizone (BAUD et MASSON, 1976).

Les travaux sur la réflectance de la vitrine (surtout KÜBLER et al., 1979; TEICHMÜLLER, et al., 1979), montrent le faible degré d'évolution de la matière organique, donc un métamorphisme faible, qui est en accord avec les anciennes analyses (composés volatils purs secs et carbone pur sec), faites sur des charbons de diverses mines des Préalpes (GENGE, 1942; LETSCH et RITTER, 1925; WEHRLI, 1919).

3.2. NAPPES SUPÉRIEURES, DE LA BRÈCHE, DU NIESEN ET MOLASSE ROUGE

Dans les flyschs de la nappe du Gurnigel au front NW des Préalpes médianes plastiques, DE KAENEL (1986), MOREL (1980), WINKLER (1983) et STUIJVENBERG (1979) ont pu montrer que les minéraux argileux n'ont pas subi de transformation notable. On est dans le domaine de la diagenèse supérieure.

WICHT (1984) et CLÉMENT (1986), dans des analyses des minéraux argileux de la nappe de la Simme s.l., indiquent que l'on passe de la limite diagenèse-anchizone dans le bas de la nappe à des conditions de diagenèse supérieure dans les parties sommitales de la nappe.

La nappe de la Brèche reste pour SAUDAN (1986) dans le domaine de la diagenèse (fig. 7c et ce travail fig. 10). FREY et NIGGLI (1971), DORTMANN (1982) et ACKERMANN (1986) ont montré, à l'aide de la réflectante de la vitrinite et de la cristallinité de l'illite que la base de la nappe du Niesen peut atteindre l'anchizone profonde, alors que le sommet de la même nappe est diagénétique (fig. 10 et fig. 11).

La Molasse Rouge et les flyschs subalpins n'ont subi qu'un faible métamorphisme (KÜBLER et al., 1979; ce travail fig. 7a).

Dans les faciès de l'Ultrahelvétique de la zone des Cols, MASSAAD (1973) montre que le métamorphisme ne dépasse guère la diagenèse profonde (voir aussi ZINGG, 1983).

La Molasse Rouge, les flyschs subalpins comme l'Ultrahelvétique ne montrent pas d'évolution métamorphique importante (dia-

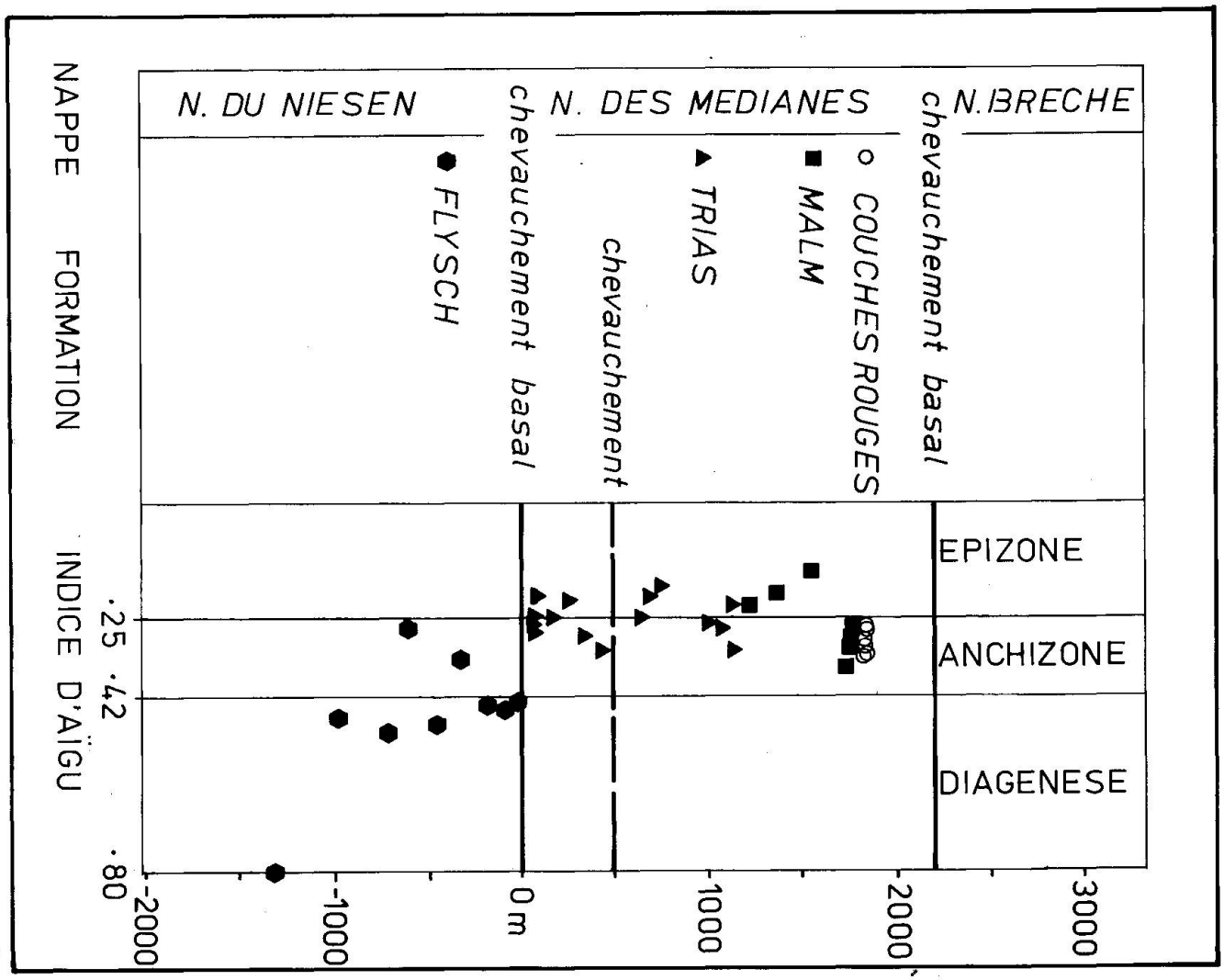

Fig. 10 Cristallinité de l'illite dans un profil vertical à travers l'arrière de la nappe des Préalpes médianes rigides (région du Diemtigtal) jusque dans la nappe des flysch du Niesen. Le saut du métamorphisme d'anchi- à épizone dans les Préalpes médianes rigides à un métamorphisme de diagenèse dans la nappe du Niesen montre que le métamorphisme des Préalpes médianes est transporté.

genèse peu profonde). La présence d'un métamorphisme régional dans les Préalpes médianes avec des indications d'une évolution prograde de l'avant vers l'arrière de ces unités chevauchantes implique que ce métamorphisme est transporté.

4. Discussion - Conclusion

1- L'étude générale du métamorphisme des Préalpes médianes montre une augmentation de l'intensité de ce métamorphisme et une évolution de la paragenèse des argiles du front de la nappe (Préalpes médianes plastiques) vers l'arrière de la nappe (Préalpes médianes rigides). On passe de la diagenèse-anchizone supérieure à l'épizone. Cette évolution se marque dans diverses lithologies et est interprétée comme marque d'un métamorphisme régional affectant tout le corps des Préalpes médianes et non seulement la zone en contact avec le chevauchement basal comme l'ont postulé BAUD et MASSON (1976) et MASSON et al. (1980). Une variation latérale par rapport à la chaîne n'a pas pu être mise en évidence dans ce travail. Au cours du métamorphisme on peut estimer que des températures voisines de 300° C (voir p.ex. FREY, 1986 qui met la limite anchi-, épizone vers environ 300 °C) ont été atteintes dans les Préalpes médianes rigides. Cette proposition se trouve en accord avec les données provenant de l'étude des mécanismes de déformation dans les calcaires (MOSAR, 1988), où on peut

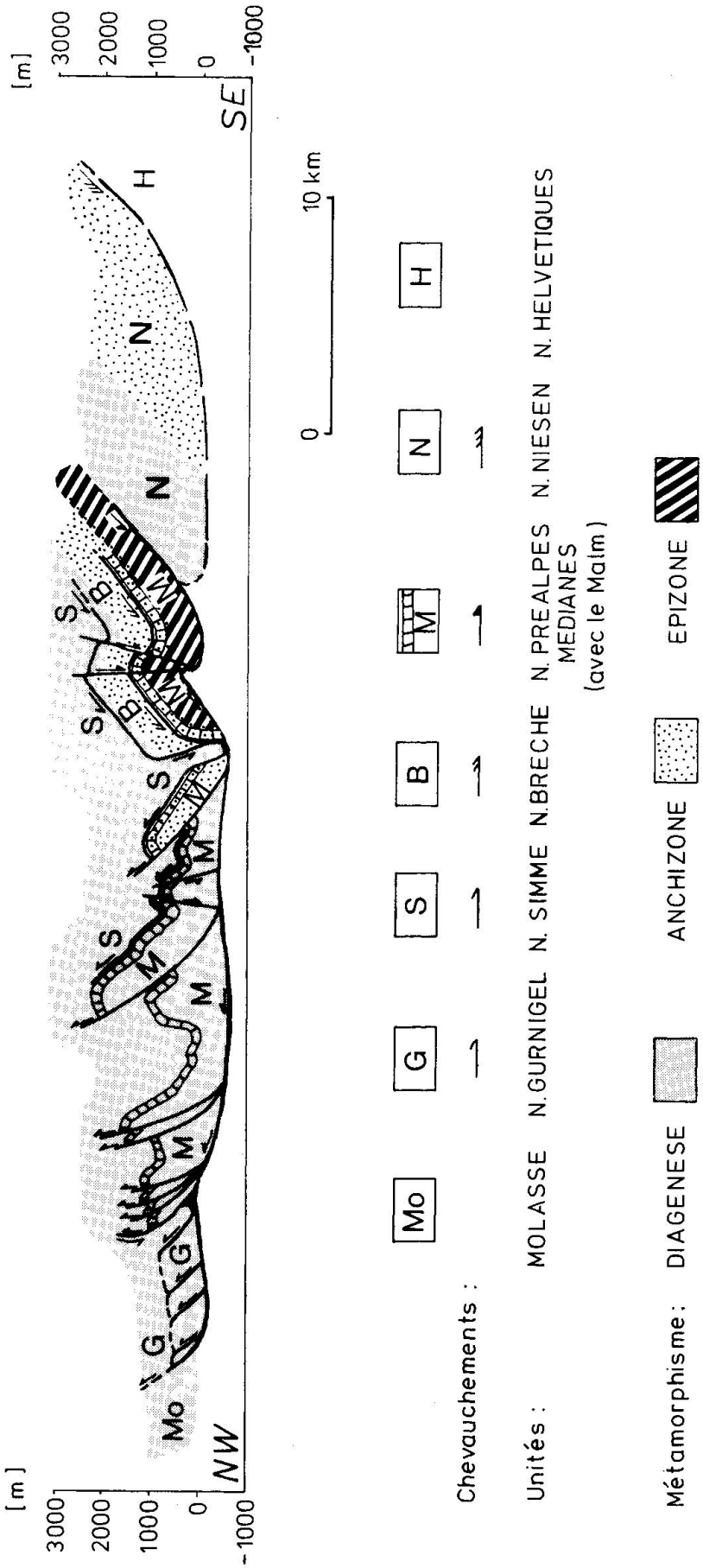

Fig. 11 Coupe simplifiée des Préalpes Romandes et des unités encadrantes, avec en surcharge l'intensité du métamorphisme (compilation des données présentées dans cet article).

observer de la recristallisation dynamique dans les calcites, recristallisation dynamique qui selon les travaux de GROSHONG et al. (1984) et BURKHARD (1986), par exemple, intervient aux alentours de 300° C.

2- Le métamorphisme croissant s'accompagne d'une évolution de la composition des micas blancs. Le métamorphisme progressif fait évoluer les micas du type illite vers des micas du type muscovite. Exprimé autrement, on dira qu'avec le métamorphisme croissant la substitution de Fe par Al et de H_2O par K devient de plus en plus importante (voir aussi HUNZIKER et al., 1986). Il s'agit là d'une tendance à une évolution vers le pôle des muscovites et non d'une transformation en muscovites.

L'analyse des chlorites a montré qu'il s'agit essentiellement de chlorites trioctaédriques riches en Fe-Mg avec un excès en Fe dans les couches silicatées.

3- Les unités allochtones des Préalpes médianes apparaissent, au vu de l'analyse de la cristallinité de l'illite, comme un ensemble faiblement métamorphique à non métamorphique à l'avant, plus nettement métamorphique à l'arrière, pris en sandwich entre des unités moins métamorphiques: en position chevauchée la Molasse Rouge et la nappe du Niesen et en position chevauchante la nappe de la Brèche. Le saut dans l'intensité du métamorphisme au niveau du chevauchement basal des Préalpes médianes se répète au niveau du chevauchement basal de la nappe du Niesen en contact avec les nappes Helvétiques (fig. 11), (DORTMANN, 1982; BURKHARD, 1986). Cette situation implique que le métamorphisme des Préalpes est transporté (fig. 11) (voir aussi FREY, 1986).

Les âges voisins de 57 Ma obtenus par datations radiométriques sur K-Ar et Rb-Sr dans des niveaux du Trias des Préalpes médianes rigides (MASSON et al. 1980; HUNZIKER, 1986) ne peuvent donc plus être interprétés comme âges liés aux premiers chevauchements. Des travaux en cours sur la composition des micas analysés et la distribution des âges en fonction de la nature exacte et de la taille de ceux-çi permettrait de rajeunir d'une dizaine de Ma l'âge de 57 Ma obtenu précédemment (HUNZIKER, HUON, com. orale). Il est alors possible de réinterpréter ces datations en tant qu'indicateurs de l'âge du métamorphisme des Préalpes médianes.

4- Au-delà de l'observation, il paraît nécessaire de rechercher les causes du métamorphisme des Préalpes. Dans le contexte régional des charriages des zones frontales des Alpes il paraît difficile d'envisager des gradients géothermiques supérieurs à 30° C par km. Pour réchauffer les Préalpes médianes on est donc amené à rechercher des éléments chevauchants d'une puissance de 10 km. Les unités des Préalpes supérieures (nappe de la Brèche et nappe Supérieure) préservées aujourd'hui par l'érosion atteignent tout au plus 4 à 5 km. La surcharge manquante pourrait être constituée par les unités de la nappe du Grand St. Bernard (ESCHER, sous presse, MARTHALER, 1984).

Des travaux récents (SARTORI, 1987) montrent que les séries de Toûno et du Barrhorn (couverture de la nappe de Siviez-Mischabel) sont les équivalents latéraux des Préalpes médianes rigides (côté oriental), plutôt que leur prolongation vers le Sud. Le socle de la nappe de Siviez-Mischabel constituerait la patrie des Préalpes médianes rigides, alors que la patrie des Préalpes médianes plastiques se trouverait dans la nappe des Pontis et la zone Houillière. Ces mêmes travaux montrent qu'actuellement la patrie des Préalpes médianes plastiques est chevauchée par la nappe de Siviez-Mischabel et que celle des Préalpes médianes rigides est chevauchée par la nappe de Mont Fort, du Tsaté et de la Dent Blanche (SARTORI, op. cit.). Le métamorphisme puis le décollement des Préalpes médianes ont donc dû se faire avant ou pendant l'arrivée de la nappe du Mont Fort et des unités supérieures, à savoir nappe du Tsaté et nape de la Dent Blanche. Cette vision paraît satisfaisante pour expliquer le métamorphisme des Préalpes médianes rigides. Pour le métamorphisme des Préalpes médianes plastiques la seule surchage de la nappe Supérieure est probablement suffisante.

5- Le fait que dans les Préalpes médianes plastiques on ne dépasse pas la diagenèse profonde et que les nappes supérieures reposent directement sur les Préalpes médianes (la nappe de la Brèche ne se retrouve que dans le secteur des Préalpes médianes rigides, CARON, 1972 et 1973), montre que la partie frontale de la nappe des Préalpes médianes n'a subi, pendant son histoire, qu'un enfouissement modéré. Les nappes supérieures les plus frontales (nappe du Gurnigel) et les Préalpes médianes plastiques constituent donc la partie frontale des nappes penniques.

(Des tableaux avec l'ensemble des données sur l'IA, les intensités de pics des illites et des chlorites et la localisation précise des échantillons peuvent être obtenus par demande à l'auteur de l'article.)

Remerciements

J'aimerais témoigner ma reconnaissance à M. J. P. Schaer, qui est à l'origine de ce travail, MM. B. Kübler, F. Persoz, A. Pfiffner, A. Baud, J. C. Hunziker, R. Plancherel et M. Sartori pour leur aide et leurs nombreux conseils. Je remercie aussi M. M. Frey pour la lecture critique de ce texte. Ce travail à pu être réalisé grâce au soutien financier du Fonds national Suisse (requête FN n° 2.837-0.85) et de l'Université de Neuchâtel, je leur témoigne ma gratitude.

Références

ACKERMANN, T. (1986): Le flysch de la nappe du Niesen. Eclogae geol. Helv., vol. 79/3, p. 641-684.

APRHAMIAN, J. and PAIRIS, J.-L. (1981): Very low-grade metamorphism with a reverse gradient induced by an overthrust in Haute-Savoie (France). In: Thrust and Nappe Tectonics, Geol. Soc. London spec. publ., vol. 9, p. 159-166.

BADOUX, H. (1962): Géologie des Préalpes valaisannes. Mat. carte géol. Suisse, N. S. 133.

BADOUX, H. et MERCANTON, C.H. (1962): Essai sur l'évolution tectonique des Préalpes médianes du Chablais. Eclogae geol. Helv., vol. 55/1, p. 135-188.

BAUD, A. (1987): Stratigraphie et sédimentologie des calcaires de Saint-Triphon (Trias, Préalpes, Suisse et France). Mém. géol. Lausanne, 1, 322 pp.

BAUD, A. et MASSON, A. (1976): Déformation ductile et bréchification le long du plan de chevauchement de l'écaille de la Gummfluh (Préalpes médianes rigides, Suisse), Résumé. Eclogae geol. Helv., vol. 69/2, p. 471-472.

BERTHERIN, G. (1980): Bauxites siliceuses dans le paléokarst jurassique des Spillgerten. Travail de Diplôme, Univ. de Lausanne, 45 pp., inédit.

BREITSCHMID, A.(1982): Diagenese und schwache Metamorphose in den sedimentären Abfolgen der Zentralschweizer Alpen (Vierwaldstätter See, Urirotstock). Eclogae geol. Helv., vol. 75/2, p. 331-380.

BRINDLEY, G.W. and BROWN, G. (1980): Crystal structures of clay minerals and their X-Ray identification. Mineral. Soc. London, monogr., vol. 5, 495 pp.

BROWN, B. E. and BAILEY, S. W. (1962): Chlorite polytypism: I, regular and semi-random one-layer structures. J. mineral. Soc. Amer., vol. 47/7-8, p. 819-850.

BURKHARD, M. (1986): Déformation des calcaires de l'Helvétique de la Suisse occidentale (Phénomènes, mécanismes et interprétations tectoniques). Rev. géol. dyn. géograph. phys., vol. 27/5, p. 281-301.

CARON, CH. (1972): La nappe supérieure de Préalpes: subdivisions et principaux caractères du sommet de l'édifice préalpin. Eclogae geol. Helv., vol. 65/1, p. 47-73.

CARON, CH. (1973): Survol géologique des Alpes occidentales. Bull. Soc. Frib. Sc. Nat., vol. 62/2, p. 73-81.

CHATEAUNEUF, J.-J., DEBELMAS, J., FEYS, R., LEMOINE, M. et RAGOT, J.-P. (1973): Les premiers résultats d'une étude des charbons jurassiques de la zone briançonnaise. C. R. Acad. Sc. Paris, t. 276, p. 1649-1652.

CHATTERJEE, N. D. (1966): On widespread occurrence of oxidized chlorites in the Pennine zone of the western Alps. Contr. Mineral. and Petrol. 12, p. 325-339.

CLÉMENT, J.-P. (1986): Les sédiments pélagiques de la nappe de la Simme (Préalpes Romandes). Thèse de doctorat Univ. Fribourg, no. 906, 138 pp.

DECONINCK, J.-F. et CHAROLAIS, J. (1986): Minéraux argileux des formations crétacées et tertiaires du domaine Ultrahelvétique (Unité de Nantbellet, Klippe de Sulens: Haute-Savoie): diagenèse et paléoenvironnement. Géologie alpine, 62, p. 11-31.

DE KAENEL, E. (1986): Géologie de la nappe du Gurnigel entre Schwyberg et Hellstätt, les nouvelles données sur la limite Crétacé-Tertiaire. Trav. Dipl. Univ. Neuchâtel, 103 pp., inédit.

DORTMANN, T. (1982): Ein Querprofil durch die Niesendecke. Sedimente, Tektonik, Metamorphose und ihre Bedeutung für die Gebirgsbildung. Dipl. Univ. Bonn, 105 pp., inédit.

DUNOYER DE SEGONZAC, G. (1969): Les minéraux argileux dans la diagenèse, passage au métamorphisme. Mém. serv. géol. Alsace-Lorraine, vol. 29, 320 pp.

DUNOYER DE SEGONZAC, G. (1970): The transformation of clay minerals during diagenesis and low-grade metamorphism: a review. Sedimentology, 15, p. 281-246.

ESCHER, A. (en prép.): Rapport du Serv. hydrol. geol. Suisse.

ESQUEVIN, J. (1969): Influence de la composition chimique des illites sur leur cristallinité. Bull. Centre Rech. Pau-SNPA, 3/1, p. 147-153.

FRENZEL, G. und SCHEMBRA, F. W. (1965): Ein dioktaedrischer Chlorit vom Kaiserbachtal. N. Jahrb. Mineral., Monatsh. p. 108-114.

FREY, M. (1970): The steps from diagenesis to metamorphism in pelitic rocks during alpine orogenesis. Sedimentology, 15, p. 261-279.

FREY, M. (1986): Very low-grade metamorphism of the Alps - an introduction. Schweiz. mineral. petrogr. Mitt., 66, p. 12-27.

FREY, M. und NIGGLI, E. (1971): Illit-Kristallinität, Mineralfazien und Inkohlungsgrad. Schweiz. mineral. petrogr. Mitt., 51, p. 229-234.

FREY, M., TEICHMÜLLER, M., TEICHMÜLLER, R., MULLIS, J., KÜNZI, B., BREITSCHMID, A., GRUNER, U. and SCHWIZER, B. (1980): Very low-grade metamorphism in external parts of the Central Alps: Illity cristallinity, coal rank and fluid inclusion data. Eclogae geol. Helv., vol. 73/1, p. 173-203.

GENGE, E. (1942): Über die Kohlenvorkommen im Ostende der Gastlosenschuppe. Eclogae geol. Helv., vol. 35, p. 293-311.

GRIM, R. E. (1953): Clay mineralogy. Ed. McGraw-Hill, London, 384 pp.

GROSHONG, R.H., PFIFFNER, O.A. and PRINGLE, L.R. (1984): Strain partitioning in the Helvetic thrust belt of eastern Switzerland from the leading edge to the internal zone. J. struct. Geol. vol. 6/1-2, p. 5-18.

HUNZIKER, J.C. (1986): The Alps: a case of multiple collision. Geol. Soc. London, spec. publ., n° 19, p. 221-227.

HUNZIKER, J.C., FREY, M., CLAUER, N., DALLMEYER, R.D., FRIEDRICHSEN, H., FLEHMIG, W., HOCHSTRASSER, K., ROGGWILLER, P. and SCHWANDER, H. (1986). The evolution of illite to muscovite: mineralogical and isotopic data from the Glarus Alps, Switzerland. Contrib. Mineral. Petrol., vol. 92, p. 157-180.

KÜBLER, B. (1964): Les argiles, indicateurs de métamorphisme. Rev. Inst. Pétrole, 10, p. 1093-1113.

KÜBLER, B. (1967): La cristallinité de l'illite et les zones tout à fait supérieures du métamorphisme. In: Etages tectoniques, Colloques Neuchâtel, p. 105-122.

KÜBLER, B. (1986): Cristallinité de l'illite, largeur de Scherrer des micas. Méthodes normalisées de préparation des mesures. Cahiers de l'Inst. Géologie Neuchâtel, 27, 9 pp.

KÜBLER, B. (1987): Cristallinité de l'illite. Influence du monochromateur et influence de la saturation à l'éthylèneglycol sur la largeur de Scherrer, l'intensité des pics, la distinction illite-phengite-muscovite. Cahiers de l'Inst. Géologie Neuchâtel, 30 pp.

KÜBLER, B., MARTINI, J. and VUAGNAT, M. (1974). Very low-grade metamorphism in the Western Alps. Schweiz. mineral. petrogr. Mitt., 54/2-3, p. 461-469.

KÜBLER, B., PITTION, J.-L., HÉROUX, Y., CHAROLAIS, J. et 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. Eclogae geol. Helv., vol. 72/2, p. 347-373.

LETSCH, E. und RITTER, E. (1925): Die schweizerischen Molassekohlen III. Beitr. geol. Karte Schweiz, geotech. Ser., 12, p. 94-104.

LISTER, J. and BAILEY, S.W. (1967): Chlorite polytypism: IV, regular two-layer structures. Amer. mineral., vol. 52, p. 1614-1631.

MARTHALER, M. (1984): Géologie des unités penniques entre le val d'Anniviers et le val de Tourtemagne (Valais, Suisse). Eclogae geol. Helv., vol. 77/2, p. 395-448.

MARTINI, J. (1972): Le métamorphisme dans les chaînes alpines externes et ses implications dans l'orogenèse. Bull. Suisse minéral. pétrogr., 52/2, p. 257-275.

MASSAAD, M. (1973): Pétrographie de quelques shales de l'Aalénien de l'Helvétique et de l'Ultrahelvétique. Bull. lab. Géol. minéral. géophys. Univ. Lausanne, 203, 11 pp.

MASSON, H., BAUD, A., ESCHER, A., GABUS, J. et MARTHALER, M. (1980): Compte rendu de l'excursion de la Société Géologique Suisse: coupe Préalpes-Helvétique-Pennique en Suisse occidentale. Eclogae geol. Helv., vol. 73/1, p. 331-349.

MOREL, R. (1980): Géologie du Massif du Niremont (Préalpes Romandes) et de ses abords. Bull. Soc. Frib. Sc. Nat., 69/2, p. 99-207.

MOSAR, J. (1988): Structure, déformation et métamorphisme dans les Préalpes romandes. Thèse de doctorat, Univ. Neuchâtel, 123 pp.

MULLIS, J. (1979): The system methane-water as a geologic thermometer and barometer from the external part of the Central Alps. Bull. Minéral., 102, p. 526-536.

OBERHÄNSLI, R., HOFMANN, B. und GRUNER, U. (1985): Ein Massivsulfidvorkommen in der Trias der Präalpen. Schweiz. mineral. petrogr. Mitt., 65, p. 95-110.

OINUMA, K., SHIMODA, S. and SUDO, T. (1972): Triangular diagrams for surveying chemical compositions of chlorites. J. Tokyo Univ., Tokyo, 15, p. 1-13.

PLANCHEREL, R. (1979): Aspects de la déformation en grand dans les Préalpes médianes plastiques entre Rhône et Arve. Eclogae geol. Helv., vol. 72/1, p. 145-214.

REY, J.-P. et KÜBLER, B. (1983): Identification des micas des séries sédimentaires par diffraction X à partir de la série harmonique (001) des préparations orientées. Schweiz. mineral. petrogr. Mitt., 63, 13-36.

SARTORI, M. (1987): Blocs basculés briançonnais en relation avec leur socle originel dans la nappe de Siviez-Mischabel (Valais, Suisse). C. R. Acad. Sc., Paris, t. 305, Série II, p. 999-1005.

SAUDAN, F. (1986): Etude des nappes de la Brèche et des Préalpes médianes rigides: région de la Videmanette. Dipl. Univ. Lausanne, inédit, 122 pp.

SHIROZOU, H. (1958): X-Rax powder patterns and cell dimensions of some chlorites in Japan with a note on their interference colors. Mineral. J., vol. 2/4, p. 209-223.

STALDER, H.A. und TOURAY, J.C. (1970): Fensterquarze mit Methan-Einschlüssen aus dem westlichen Teil der Schweizer Kalkalpen. Schweiz. mineral. petrogr. Mitt., 50/1, p. 109-130.

STUIJVENBERG, J. VAN (1979): Geology of the Gurnigel area. Beitr. geol. Karte Schweiz, N.S. 151.

TEICHMÜLLER, M. (1971): Anwendung kohlenpetrographischer Methoden bei der Erdöl- und Erdgasprospektion. Erdöl & Kohle, 24, p. 69-76.

TEICHMÜLLER, M. and TEICHMÜLLER, R. (1978): Coalification studies in the Alps. In: Cloos, Roeder & Schmidt (Eds.): Alps, Appenines, Hellenides. Schweizbart, Stuttgart, p. 49-55.

TEICHMÜLLER, M., TEICHMÜLLER, R. und WEBER, K. (1979): Inkohlung und Illit-Kristallinität (Vergleichende Untersuchungen im Mesozoikum und Paläozoikum von Westfalen). Fortschr. Geol. Rheinl. Westf., vol. 27, p. 201-276.

TRÜMPY, R. (1980): Geology of Switzerland: a guidebook, part A. Ed.: Schweiz. Geol. Kommission, 104 pp.

WEAVER, C.E. (1960): Possible uses of clay minerals in search for oil. Bull. Amer. Ass. Petrol. Geol., 44, p. 1505-1518.

WEBER, K. (1972): Kristallinität des Illits in Tonschiefern und andere Kriterien schwacher Metamorphose im nordöstlichen Rheinischen Schiefergebirge. N. Jb. Geol. Paläont. Abh., 141, p. 333-363.

WEHRLI, L. (1919): Die postkarbonischen Kohlen der Schweizer Alpen. Beitr. geol. Schweiz. geotech. Ser., 7.

WETZEL, R. (1973): Chemismus und physikalische Parameter einiger Chlorite aus dem Grünschieferfazies. Schweiz. mineral. petrogr. Mitt., 53, p. 273–298.

WICHT, J.M. (1984): Les flysch de la nappe de la Simme dans les Préalpes romandes. Thèse de Doctorat, Univ. Fribourg, n° 877, 166 pp.

WINKLER, W. (1983): Stratigraphie, Sedimentologie und Sedimentpetrographie des Schlieren-Flysches (Zentral-Schweiz). Mat. carte géol. Suisse, N.S. 158, 105 pp.

ZINGG, M. (1983): Geologie und Metamorphose der Subniesenzone in der Gegend von Adelboden-Achseten. Diplomarb. Diplom, Univ. Bern.

Manuscrit reçu le 19 janvier 1988; manuscrit révisé accepté le 18 avril 1988.