Essai de zonéographie métamorphique entre les Diablerets et le massif de l'Aar (Suisse occidentale), basée sur l'étude des Grès de Taveyanne

Autor(en): **Bussy, François / Epard, Jean-Luc**

Objekttyp: **Article**

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

Band (Jahr): **64 (1984)**

Heft 1-2

PDF erstellt am: **27.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-49538

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Schweiz. mineral. petrogr. Mitt. 64, 131-150, 1984

Essai de zonéographie métamorphique entre les Diablerets et le massif de l'Aar (Suisse occidentale), basée sur l'étude des Grès de Taveyanne

par *François Bussy* et *Jean-Luc Epard**

Abstract

This paper is a study, between Les Diablerets and the Aar Massif, of the metamorphic mineral associations of the «Grès de Taveyanne» formation. These grauwackes, which contain basic volcanic elements, have been sampled in four Helvetic tectonic units (s. l.), namely: the Morcles nappe, the Diablerets nappe, the Gellihorn nappe and the Jägerchrüz wedge. In addition to the classic localities (Taveyanne, Loèche, etc), some new ones have been considered (Gsteig, Wiler, Erschmatt, etc).

Four mineral zones have been distinguished:

1) the laumontite zone, characterized by the presence of this mineral,
2) the prehnite-pumpellyite zone, between the disappearance of laumontite and the appearance of actinolite,
3) the pumpellyite-actinolite zone, characterized by the coexistence of these two minerals,
4) the epidote-actinolite zone, characterized by the disappearance of pumpellyite.

These zones correspond to the zeolite (1), the prehnite-pumpellyite (2 & 3) and the greenschist (4) facies. Their distribution reflects an increase in metamorphic grade from the outer to the inner parts of the Alpine arc.

The lack of thermodynamic equilibrium in these rocks and the multiplicity of the mineral reactions of transformation preclude the use of the isograd or reaction-isograd concept.

Keywords: Grès de Taveyanne, low-grade metamorphism, basic sequence, mineral zone, isograd, Helvetic Alps.

Résumé

Cet article est une étude des associations minérales métamorphiques de la formation des Grès de Taveyanne, entre Les Diablerets et le massif de l'Aar.

Ces grauwackes à éléments volcaniques basiques ont été échantillonnées dans quatre unités tectoniques helvétiques (s. l.) qui sont: la nappe de Morcles, la nappe des Diablerets, la nappe du Gel-

*Instituts de Géologie et de Minéralogie, pl. de la Riponne 6, CH-1005 Lausanne

lihorn et l'écaille de Jägerchrüz. En plus des localités classiques (Taveyanne, Loèche, etc) quelques affleurements nouveaux ont été considérés (Gsteig, Audon, Wiler, Erschmatt, etc).

Cette étude a permis de mettre en évidence quatre zones minérales, qui sont:

1) la zone à laumontite, caractérisée par ce minéral,
2) la zone à préhnite-pumpellyite, comprise entre la disparition de la laumontite et l'apparition de l'actinote,
3) la zone à pumpellyite-actinote, caractérisée par la coexistence de ces deux minéraux,
4) la zone à épidote-actinote, caractérisée par la disparition de la pumpellyite.

Ces zones correspondent aux faciès à zéolites (1), préhnite-pumpellyite (2 & 3) et schistes verts (4). Leur disposition traduit une augmentation du métamorphisme des régions externes aux régions internes de l'arc alpin.

Le déséquilibre thermodynamique de ces roches et la multiplicité des réactions de transformation minérales excluent l'utilisation du concept d'isograde.

1. Introduction

La formation des «Grès de Taveyanne», datée approximativement de la limite Eocène-Oligocène, appartient au Flysch helvétique. Les grauwackes qui la constituent sont formées d'éléments volcaniques de composition originellement andésitique pour 60 à 80%, de quartz pour 5 à 20% et d'autres fragments lithiques dans une moindre mesure. Cette teneur élevée en matériel basique a permis l'enregistrement du métamorphisme anchizonal que ces roches ont subi.

En effet, en 1965, MARTINI & VUAGNAT y signalent la présence de plusieurs minéraux typiques du faible métamorphisme, à savoir la laumontite, la préhnite et la pumpellyite. Ils constatent aussi que les grauwackes à laumontite abondent dans la partie française des Alpes, alors qu'en Suisse, les roches à préhnite et (ou) à pumpellyite semblent prédominer. Par la suite, d'autres genres de grauwackes ont été signalés: le «type vert» (MARTINI, 1968), caractérisé par l'absence de silicates calciques du métamorphisme, et les Grès de Taveyanne à pumpellyite-actinote, très bien décrits par COOMBS et al. (1976).

Hormis l'actinote, ces divers minéraux avaient été considérés jusqu'alors comme des silicates calciques d'altération dont seule la préhnite avait, semble-t-il, été identifiée (VUAGNAT, 1952). Notons cependant qu'en 1834 déjà, STUDER cita le nom de «laumonite» (ancien nom de la laumontite), mais pour un minéral qui s'avérerait être plutôt la préhnite d'après la description qu'il en donne!: «... Eine weisse zeolithähnliche Substanz, ..., erscheint auf den Kluftflächen, theils in schmelzartigen Überzügen mit glatter, oder feinkrystallinischer Oberfläche, theils in sehr dünnen Prismen, welche mit ihrer breiten Fläche dem Stein aufliegen und sich zuweilen concentrisch strahlig zu kleinen Rosen gruppieren (Ralligen). Es scheint dieser Zeolith, der wohl dem Laumonit nahe stehn möchte, bald mit Kalkspath, bald mit Kiesel gemengt zu sein, je nachdem die eine oder die andere Substanz in dem Sandstein Adern bildet.»

Le présent article, qui expose les résultats de notre travail de diplôme, est également orienté vers un aspect minéralogique. Il se restreint à la région comprise entre Taveyanne et le massif de l'Aar, où plusieurs affleurements de Grès de Taveyanne se disposent suivant une ligne Est-Ouest oblique à l'arc alpin. Ces localités permettent d'observer l'évolution des paragenèses, du faciès à zéolites à la fin du faciès à préhnite-pumpellyite (zone à pumpellyite-actinote), voire au début du faciès schistes verts.

2. Situation géographique et tectonique des affleurements

Les échantillons étudiés ont été récoltés dans quatre unités tectoniques, qui sont (voir fig. 1):

- Nappe de Morcles
- Nappe des Diablerets
- Ecaille de Jägerchrüz
- Nappe du Gellihorn

2.1. NAPPE DE MORCLES

La partie interne du flanc normal de la nappe de Morcles présente, dans la profonde vallée de la Lizerne, un flysch qui comprend des Grès de Taveyanne. Ils ont été découverts par LUGEON (1914) et examinés brièvement par VUAGNAT (1952).

Quelques kilomètres plus au Nord, à La Lui / Derborence, MASSON (1976) a signalé des blocs de Grès de Taveyanne emballés dans un wildflysch assez complexe. Ces blocs proviennent probablement de la nappe de Morcles à laquelle ils auraient été arrachés par le passage de la nappe des Diablerets (H. MASSON, com. pers.). Ces Grès de Taveyanne ayant la même composition que ceux situés plus bas dans la vallée, nous les avons regroupés dans le tableau I.

2.2. NAPPE DES DIABLERETS

Les affleurements des Grès de Taveyanne de la nappe des Diablerets sont, pour la plupart, bien connus depuis le milieu du 19ème siècle (STUDER, 1834). On les trouve dans deux situations tectoniques bien distinctes:

2.2.1. Zone frontale comprenant:

Les affleurements de la localité-type de Taveyanne, où MARTINI & VUAGNAT (1965) signalent la laumontite, accompagnée selon eux de pumpellyite abon-

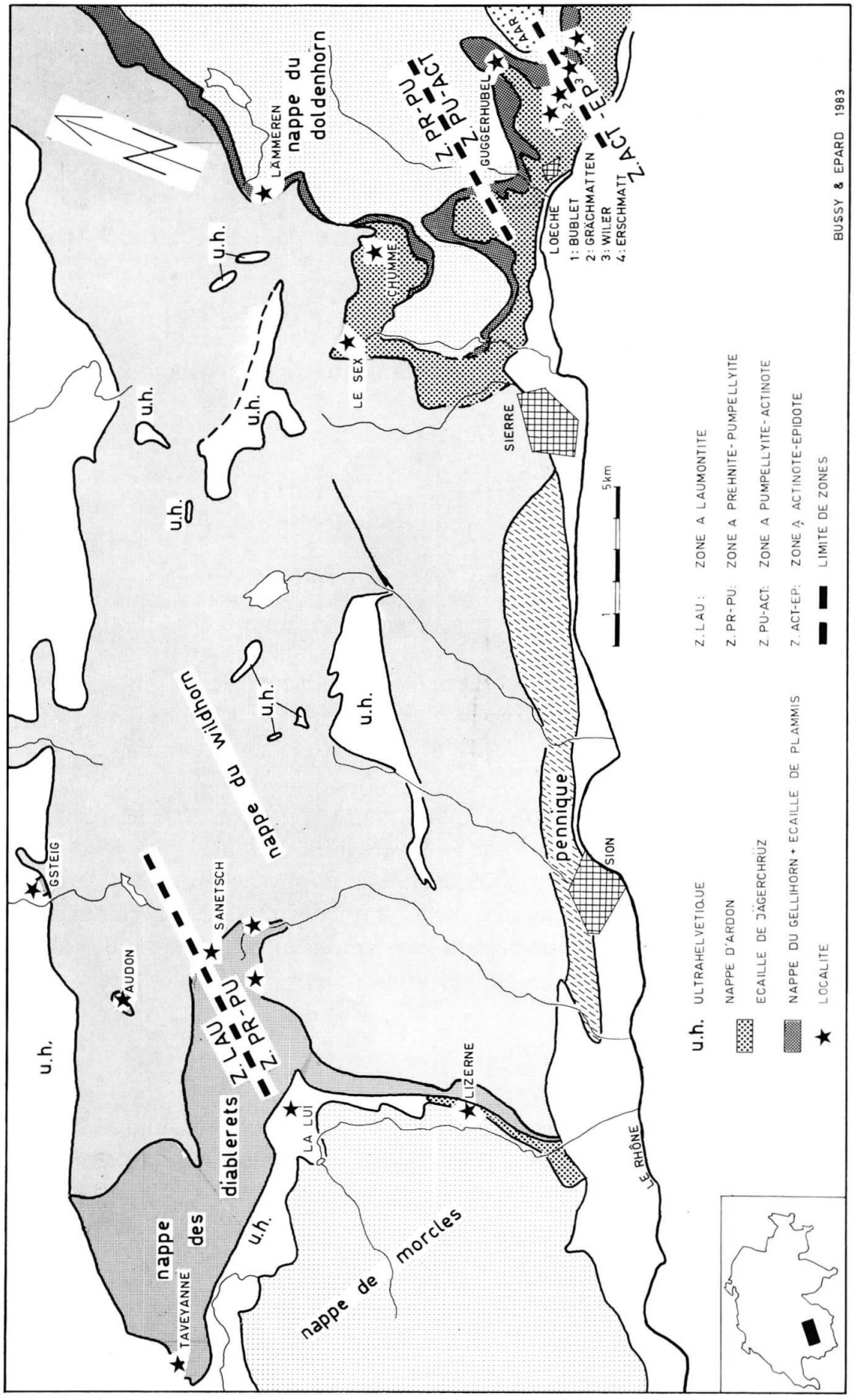

Figure 1: Distribution des localités étudiées et des zones minérales déduites des assemblages métamorphiques des Grès de Taveyanne, à l'exclusion des paragenèses de fissure. Carte tectonique de l'Helvétique d'après MASSON et al. (1980), BUGNON (1981).

dante. A cet égard, STALDER (1979) n'apporte aucune information nouvelle, alors que KISCH (1980) ne mentionne que la laumontite.

2.2.2. Synclinal de raccord entre les nappes des Diablerets et Wildhorn

Les affleurements de Grès de Taveyanne de la région du Sanetsch marquent la trace axiale de ce synclinal. Les masses les plus importantes se trouvent au Sex Rouge, au Viellar et à proximité de l'hôtel du Sanetsch. Le contact entre les deux nappes est jalonné par une série d'autres affleurements, dont ceux des fenêtres de la combe d'Audon (Olden) et de Gsteig, dont les paragenèses métamorphiques n'ont jamais été décrites.

2.3. ECAILLE DE JÄGERCHRÜZ (DÉFINIE PAR BUGNON, 1981)

Au front de cette unité (Chumme-La Tièche), préhnite et pumpellyite ont été signalées en 1965 par MARTINI & VUAGNAT. Ces observations ont été confirmées par STALDER (1979) et KISCH (1980), qui ajoutent que ces Grès de Taveyanne ne contiennent pas de laumontite.

Le bloc éboulé de la route Loèche-Guttet, dont la paragenèse à pumpellyite-actinote a été étudiée en détail par COOMBS et al. (1976), est issu du flanc inverse de cette écaille. Cette association minérale traduisait alors le plus haut degré de métamorphisme atteint par les Grès de Taveyanne. Depuis, BUGNON (thèse en cours) a découvert plusieurs affleurements de situation plus interne, aux environs des villages de Guttet, Wiler et Erschmatt.

2.4. NAPPE DU GELLIHORN

A l'Ouest de la Gemmi, dans la région de Lämmerenboden, la nappe du Gellihorn est formée d'une série normale, terminée par des flyschs contenant quelques bancs de Grès de Taveyanne.

3. Minéralogie des Grès de Taveyanne

Nous distinguerons deux parties dans ce chapitre, qui traiteront respectivement:

- De l'ensemble des minéraux détritiques constitutifs de ces grauwackes.
- Des minéraux néoformés.

3.1. MINERAUX DETRITIQUES

3.1.1. Le quartz

Le quartz est le minéral détritique le plus abondant après le plagioclase. Fraction non altérée et limpide, elle est toujours présente et constitue généralement 5 à 25% de la roche, exceptionnellement 30 à 40%.

3.1.2. Le plagioclase

Il forme véritablement la charpente de ces roches, en constituant facilement jusqu'à 60 à 70% du volume total. On le trouve en lattes idiomorphes dans les lithoclastes à mésostase chloriteuse, de même qu'en plages isolées pouvant perdre alors leurs formes propres.

Sa composition est aujourd'hui celle d'une albite. Il semble bien qu'aucun plagioclase volcanique de composition différente n'existe dans la région étudiée, exception faite de très rares cas isolés, tel à Varneralp (STALDER, 1979) et au Sanetsch par exemple, où nous avons observé quelques individus zonés, incomplètement transformés. C'est sur de telles reliques, abondantes et parfaitement conservées en Savoie dans des marges de bancs calcitisées, que MARTINI (1968) a obtenu une valeur moyenne de 60% d'anorthite pour leur composition initiale. L'existence même de plagioclases originels dans un tel contexte démontre que les phénomènes d'albitisation sont postérieurs au dépôt du flysch.

Les plages d'albite sont habituellement altérées sous des formes et à des degrés divers, au sein d'un même échantillon. Source pratiquement exclusive du calcium (en tant que labrador), le plagioclase peut être partiellement à totalement remplacé par un ou plusieurs des minéraux calciques de néoformation: calcite, laumontite, préhnite, pumpellyite, épidote. La chlorite et la séricite, abondantes, se forment aussi à ses dépens. L'aspect de l'albite va varier suivant le type de néoformation. Ses formes propres sont généralement conservées par la pumpellyite finement cristallisée, alors que d'autres minéraux, en débordant largement les limites originelles, les détruisent complètement et engendrent une masse «informe» ou différemment cristallisée (préhnite, laumontite).

La présence de ces divers minéraux calciques dans les plages d'albite nous fait penser que leur développement est essentiellement contemporain de l'albitisation. Une même constatation peut être faite au sujet de la chlorite. On observe quelquefois un développement hétérogène de ce minéral, qui se dispose en anneaux concentriques rappelant fortement un zonage fantôme. La chlorite a probablement cristallisé suivant un zonage préexistant, donc avant ou pendant l'albitisation.

3.1.3. Pyroxène et amphibole

D'origine andésitique, ces minéraux sont peu abondants. Le pyroxène, de composition augitique, peut former jusqu'à 3%, exceptionnellement 5% de la roche. Quant à l'amphibole, de type hornblende verte, elle est généralement moins abondante, en constituant rarement plus de 1% du volume total. L'un et l'autre peuvent être partiellement à totalement altérés en chlorite.

3.1.4. Minéraux détritiques accessoires

Nous regroupons ici tous les minéraux détritiques dont la présence est accidentelle ou qui sont tout au moins très peu abondants. II s'agit, par ordre d'importance décroissante, de feldspaths potassiques (orthose et microcline), micas blancs, pistachite, biotite (partiellement d'origine volcanique), apatite.

3.2. MINERAUX DE NEOFORMATION

Dans ce paragraphe, nous considérerons l'ensemble des minéraux qui ont pris naissance après le dépôt du flysch, par opposition à ceux décrits sous 3.1. Précisons encore que la laumontite, la préhnite et la pumpellyite ont vu leur détermination optique confirmée par des analyses aux rayons X, soit dans des échantillons de roche totale, soit dans des fractions enrichies par divers procédés (séparation granulométrique, liqueurs de densité, etc)[1]. Des confirmations à la microsonde ont également été faites sur l'ensemble des minéraux décrits ci-dessous.

3.2.1. Plagioclase

Ce minéral est cité pour mémoire, car il en a déjà été question plus haut.

3.2.2. Laumontite

C'est une zéolite monoclinique dite fibreuse, de formule chimique idéale $CaAl_2Si_4O_{12} \cdot 4\,H_2O$. Sa présence dans un Grès de Taveyanne se traduit par l'apparition de taches arrondies blanches à beiges, d'un diamètre de quelques millimètres. Le développement de ces mouches dans un fond chloriteux verdâtre à brunâtre forme ce qu'on appelle les «grès mouchetés».

[1] Les auteurs tiennent à la disposition de chacun les techniques de laboratoire.

Ces grauwackes à laumontite sont des roches plutôt tendres, d'aspect poreux. Les mouches blanches sont friables. La concentration en zéolite peut devenir telle que le fond verdâtre tend à disparaître. La roche est alors à très peu près totalement blanche, friable et poudreuse. La présence des mouches blanches est donc un indicateur sûr de la présence de laumontite, que parfois seuls les rayons X permettent de confirmer!

A l'instar des autres zéolites, la laumontite tend à adopter une texture fibroradiée, reconnaissable en certains endroits à l'extinction roulante qu'elle présente en lumière polarisée. Ce sont de tels agrégats qui trahissent habituellement sa présence. Sa biréfringence est basse: gris-blanc à jaune très pâle du premier ordre, tout comme le plagioclase, le quartz et la chlorite, donc l'essentiel du matériel constitutif de la roche. L'identification est basée, outre la biréfringence et la texture parfois fibroradiée, sur l'observation de masses à extinction inhomogène symptomatique (localement roulante).

La laumontite tend à envahir et remplacer tous les interstices et éléments de la roche, à l'exception du quartz, de l'augite et de la hornblende. Elle peut être étroitement associée tant avec la pumpellyite qu'avec la préhnite.

3.2.3. Préhnite

Orthorhombique, de composition $Ca_2(Al,Fe^{3+})_2Si_3O_{10}(OH)_2$, la préhnite est de loin moins abondante et fréquente que la laumontite dans l'ensemble des échantillons étudiés. Par contre, sa détermination optique est nettement plus facile, en raison de sa biréfringence relativement élevée en comparaison de celle des autres minéraux principaux. Dans la plupart des cas, ce minéral se trouve en fissures, il est alors généralement parfaitement incolore et limpide, et forme de petites baguettes idiomorphes qui tendent à s'enchevêtrer en tous sens en un fin feutrage. En outre, on peut la rencontrer en petits «filonets» discrets, d'extension limitée (environ 1 cm), peu visibles à l'oeil nu. Elle peut aussi cristalliser à leurs abords immédiats ou totalement indépendamment dans la roche. Cette préhnite-là a un habitus toujours différent. Elle se présente en amas de cristaux xénomorphes, parfois à tendance radiée, fortement brunâtres «sales». La biréfringence observée (orange-rouge du premier ordre) est un peu plus faible que celle des cristaux idiomorphes.

A l'échelle de l'échantillon, les fissures à préhnite sont caractéristiques: couleur blanc laiteux, aspect porcelané, dures et cassantes, remplissage par «accrétion» laissant subsister de petites fentes garnies de cristaux de quartz ou de préhnite. Ces fissures sont souvent bordées d'une zone «démouchetée» dans les grauwackes à laumontite, c'est-à-dire une zone appauvrie en ce dernier minéral, qui reprend alors sur quelques centimètres la couleur du fond chloriteux vert-brunâtre. La disparition de cette zéolite est peut-être due à la remobilisa-

tion du calcium, qui migrerait dans la fissure pour participer à la constitution de la préhnite.

3.2.4. Pumpellyite

Monoclinique, la pumpellyite a une composition variable: $Ca_4(Mg,Fe^{2+})(Al,Fe^{3+})_5O(OH)_3(Si_2O_7)_2(SiO_4)_2 \cdot 2\,H_2O$ selon DEER et al. (1966). Chaque auteur en donne une formule différente. Au point de vue structural, ce minéral est très apparenté aux épidotes; chimiquement, il n'en diffère que par la présence de Mg et de moles H_2O. Cette similitude se retrouve par ailleurs dans le comportement optique, lequel varie avec la teneur en fer total.

La pumpellyite confère à la roche un aspect généralement moucheté. Mais la similitude avec les Grès de Taveyanne à laumontite s'arrête là, car ce sont des roches dures et massives. Les mouches sont de couleur gris clair à verdâtre bleuté et ressortent diversement suivant l'intensité de la teinte du reste de l'échantillon.

Au microscope, c'est en lumière naturelle que la pumpellyite est le plus facile à identifier. Elle est souvent incolore et cristallise en petits granules réfringents isolés ou en agrégats, ce qui lui donne un aspect gris-bleuté caractéristique. La présence de fer engendre une coloration verte qui peut devenir assez intense, et un pléochroïsme net lorsque les plages ont une dimension suffisante. Il est courant de trouver ensemble de la pumpellyite incolore et de la pumpellyite verte. D'une manière générale, ces deux variétés croissent dans le plagioclase et la mésostase des éléments andésitiques, en préservant les textures originelles de la roche. Ces dernières ne disparaissent qu'à un stade très avancé du développement de la pumpellyite.

3.2.5. Epidote

L'épidote de néoformation est de la pistachite ou de la clinozoïsite. Elle cristallise en granules réfringents, xénomorphes, de très petite taille, soit dans les plagioclases, soit plus fréquemment en chapelets orientés suivant la schistosité. On observe parfois des individus zonés, à cœur pistachitique et bordure de type clinozoïsite. Il s'agit peut-être d'une cristallisation sur un noyau d'origine détritique, ou d'une néoformation complète, reflétant la tendance de l'épidote de passer de termes ferrifères à des termes plus alumineux avec l'augmentation du métamorphisme, phénomène déjà observé dans d'autres provinces du même type (COOMBS et al., 1976).

L'épidote néoformée est peu abondante et ne se trouve que dans les roches les plus métamorphiques de la région de Loèche. A l'œil nu, rien n'indique la présence de ce minéral, si ce n'est la teinte de certaines surfaces de schistosité légèrement vert pistache.

3.2.6. Actinote

L'actinote peut cristalliser soit en se greffant sur les inosilicates détritiques (a), soit indépendamment dans la roche (b).

(a) Dans le premier cas, elle se localise dans les ombres de pression, sous la forme de petites aiguilles incolores à verdâtre pâle ou en bordures de croissance plus ou moins régulières.

(b) Lorsqu'elle est isolée, on la trouve en fines aiguilles parfaitement orientées dans la schistosité. Elle est alors difficile à distinguer d'un phyllosilicate, si ce n'est par son angle d'extinction.

3.2.7. Chlorite

La chlorite est un minéral ubiquiste et abondant dans les Grès de Taveyanne. On la trouve le plus souvent dans la mésostase des lithoclastes andésitiques et en altération du plagioclase et des inosilicates. Sa composition est celle d'une diabantite entre Arve et Giffre (Savoie) (MARTINI, 1968), alors qu'à Loèche, COOMBS et al. (1976) obtiennent une composition assez uniforme de type ripidolite.

4. Classification des Grès de Taveyanne

VUAGNAT (1952) donne une classification des Grès de Taveyanne basée essentiellement sur la nature des andésites, et plus particulièrement sur le degré de chloritisation des inosilicates. Cet auteur fait passer au second plan la présence de ce qu'il appelle «minéraux d'altération calciques», l'importance de ces silicates du métamorphisme n'ayant pas encore été mise en évidence.

La classification des Grès des flyschs du synclinal de Thônes proposée par SAWATZKI (1975) répond surtout à des exigences d'ordre stratigraphique, puisqu'elle a trait à la teneur en matériel volcanique de ces grauwackes.

Etant donné l'intérêt primordial des minéraux du faible métamorphisme dans les Grès de Taveyanne, il nous a paru utile d'établir une classification de ces roches sur une base minéralogique, déjà suggérée par MARTINI en 1968.

4.1. GRÈS DE TAVEYANNE SANS SILICATES CALCIQUES DU MÉTAMORPHISME (A)

A0: Grauwackes à andésites vraies (semblent ne pas exister en Suisse), mais décrites en France entre autres par MARTINI (1968).

A1: Présence de pyroxènes ou d'amphiboles détritiques. Ce sont des grauwackes vertes à vert foncé, parfois presque noires, massives et très dures. Elles correspondent au «Grès vert» type II a de VUAGNAT (1952).

A2: Absence d'inosilicates. Sur le terrain, se distingue de A1 par une patine plus grise. Les teintes vertes sont plus pâles. Roches très dures. C'est le type IV de VUAGNAT.

N. B. A1 et A2 correspondent au «type vert s.s.» de MARTINI (1968).

4.2. GRÈS DE TAVEYANNE AVEC SILICATES CALCIQUES DU MÉTAMORPHISME (B)

B1: Grauwackes mouchetées à laumontite. Aspect fréquent des Grès de Taveyanne, caractérisé par des mouches pâles (beiges) sur un fond vert «sale» à brunâtre. Elles ont une apparence très poreuse et s'effritent facilement.

B2: Grauwackes mouchetées à pumpellyite. Se distinguent de B1 par la couleur de leurs mouches (vert bleuté) sur un fond vert foncé et surtout par leur dureté plus grande sous le marteau.

B3: Grauwackes micromouchetées à préhnite. Signalées par MARTINI (1968) et que nous n'avons jamais trouvées.

B4: Catégorie où l'on classe les *grauwackes non mouchetées à:*

- pumpellyite (et préhnite), souvent de couleur vert-bleu
- pumpellyite-actinote, de teinte semblable
- actinote-épidote
- etc.

Remarque: Cette classification a été conçue pour être utilisée déjà sur le terrain. A ce stade, la distinction entre les grauwackes des types A et B4 est rendue difficile lorsque:

- le développement de pumpellyite est insuffisant pour donner à l'échantillon cette teinte bleutée caractéristique.
- Il s'agit d'une grauwacke à actinote-épidote.

N	Localités	Ty	Qz	Au	Ho	Plag	Lau	Pr	Pu	Act	Ep	Chlo	Cc	Phyl	Sph Opa	Fissures Pr	Fissures Pu	Fissures Qz	Fissures Cc	Fissures Chlo	Remarques
Mo	Lizerne	A2	●			●						●	•	●	X			X	X	X	Y compris La Lui
Nappe des Diablerets	Audon	B1	●	●	•	●	●	X	•			●	•		X	X	X	X	X		type largement dominant
		B2	●	•		●	•	X	●			●	•		X		X	X	X		épontes de fissures
		B4	●	•		●		X	●			●	•		X	X	X	X	X		épontes de fissures
		A2	●			●						●	•	●	X				X		
	Taveyanne	B1	•	●	•	●	●		•			●	•	•	X	X		X			QQ bancs de types A & B4 non étudiés
	Gsteig	A2	●			●						●	•		X			X	X		2-3 bancs décimétriques
		A1	•	●	●	●						●	•		X	X			X		affleurement principal
	Sanetsch	A1	●	•	•	●						●	•	●	X				X		
		A2	●			●						●	●	●	X				X		
		B4	●	•	•	●		X	•			●	•	●	X	X			X		
Ecaille de Jägerchrüz	Le Sex	B2	●	•	•	●			●			●	•	•	X			X			type dominant
		B4	●			●			•			●	•		X				X		
	Chumme	B2	•	•	•	●		X	●			●	●	•	X			X	X		
		B4	•			●			•			●	•	•	X			X	X	X	
	Bublet	B4	•	●	•	●			●	•	•	●	●	●	X						
		B4	•	●	●	●			●	●		●	•	●	X						
	Grächmatten	B4	•	•	•	●			•	•	●	●	•	•	X			X	X	X	
		B4	●			●					•	●	•	●	X			X	X	X	
	Wiler	B4	•			●				•	•	●	•		X			X	X	X	
	Erschmatt	B4	•			●					•	●	•	•	X			X	X	X	
		A2	●			●						●	•	●	X			X	X	X	
	Guggerhubel	A2	●			●						●	•	●	X			X	X	X	
Ge	Lämmeren	A2	●			●						●	●	●	X			X	X		

Légende:

N: nappe
Mo: Morcles
Ge: Gellihorn
Ty: Type
Qz: Quartz
Au: Augite
Ho: Hornblende
Plag: Plagioclase
Lau: Laumontite
Pr: Préhnite
Pu: Pumpellyite
Act: Actinote
Ep: Epidote
Chlo: Chlorite
Cc: Calcite
Phyl: Phyllosilicate blanc
Sph: Sphène
Opa: Opaques

X : présent
• : peu abondant
●: moyennement abondant
●: abondant

Tableau I Associations minérales observées dans les Grès de Taveyanne entre Les Diablerets et le massif de l'Aar. Les minéraux de fissure ont été séparés de ceux du reste de la roche. Pour l'explication des types, voir texte.

5. Métamorphisme progressif des Grès de Taveyanne

5.1. ASSOCIATIONS MINÉRALES

Le tableau I résume les diverses associations minérales observées dans les localités de la région. Les estimations de quantité sont rapportées, pour une espèce minérale donnée, à la concentration maximale rencontrée sur notre terrain. Par exemple, le quartz est considéré comme abondant s'il dépasse 20%, alors que l'augite l'est pour une concentration de 3% déjà.

5.2. SUBDIVISIONS DANS LE DOMAINE DU FAIBLE MÉTAMORPHISME DE LA SÉQUENCE BASIQUE

Les travaux de plusieurs auteurs, COOMBS (1954), COOMBS et al. (1959), SEKI et al. (1971) ont permis d'établir des subdivisions dans le faible métamorphisme de la séquence basique. Si leurs dénominations varient (faciès, zones ou étages), les associations minérales qui en sont caractéristiques sont plus ou moins identiques. Nous nous baserons sur la nomenclature de SEKI et al (1971), qui définit quatre zones traduisant des conditions de métamorphisme croissant (voir tableau II):

zone	*associations caractéristiques*
- zone à laumontite:	qz + ab + lau + chlo
- zone à préhnite-pumpellyite:	qz + ab + pr + pu + ép + chlo
- zone à pumpellyite-actinote:	qz + ab + pu + ép + act + chlo
- zone du faciès schistes verts:	qz + ab + ép + act + chlo + stilp

qz: quartz/ ab: albite/ chlo: chlorite/ lau: laumontite/ pr: préhnite
pu: pumpellyite/ ép: épidote/ act: actinote/ stilp: stilpnomélane.

5.3. APPLICATION DE LA NOMENCLATURE DE SEKI ET AL. (1971) À LA RÉGION DIABLERETS-AAR

L'examen de la minéralogie des grauwackes du type B conduit à des subdivisions identiques, mais dont les définitions sont quelque peu différentes. Le terme de zone est utilisé ici dans le sens de «zone minérale», c'est-à-dire un domaine géographique défini par la présence ou l'absence d'un ou de plusieurs minéraux (voir tableau III).

La *zone à laumontite* est définie par le domaine complet de stabilité de ce mi-

faciès métamorphique	faciès à laumontite	faciès à préhnite-pumpellyite		faciès schistes v.
zone minérale	I	II	III	IV
laumontite				
préhnite				
pumpellyite				
épidote				
chlorite				
actinote				
albite				
quartz				
mica blanc				
stilpnomélane				

Tableau II Associations minérales dans un contexte de métamorphisme croissant, péninsule de Kii, ceinture métamorphique de Ṣanbagawa (SEKI et al. 1971).

faciès métamorphique	faciès à laumontite	faciès à préhnite-pumpellyite		faciès schistes v.
zone minérale	zone à lau	à pr-pu	à pu-act	à ép-act
laumontite				
préhnite				
pumpellyite				
épidote		?		
chlorite				
actinote				
albite				
quartz				
mica blanc				

Tableau III Evolution des paragenèses métamorphiques dans les Grès de Taveyanne des Diablerets au massif de l'Aar.

néral. La préhnite et la pumpellyite peuvent fréquemment apparaître, mais en faible quantité. La paragenèse typique est:

qz + ab + lau +chlo + sphène-opaques

La *zone à préhnite-pumpellyite* débute lors de la disparition de la laumontite et se termine par l'apparition de l'actinote. La préhnite est souvent absente. On observe les associations suivantes:

qz + ab + chlo + pu + pr

qz + ab + chlo + pu

La *zone à pumpellyite-actinote* est caractérisée par l'assemblage pumpellyite-actinote. Les associations suivantes sont caractéristiques:

qz + ab + chlo + pu + act + ép

qz + ab + chlo + pu + act

La *zone à actinote-épidote* est caractérisée par la disparition de la pumpellyite. Nous avons observé des associations à qz + ab + chlo + act + ép qui, formellement, doivent être incluses dans cette zone. Les problèmes d'observation doivent toutefois être gardés à l'esprit, surtout pour un minéral aussi finement cristallisé et difficile à identifier que la pumpellyite.

En tête du tableau III, nous avons reporté les différents faciès métamorphiques auxquels sont généralement attribuées les zones décrites ci-dessus.

Remarque: Les grauwackes du type A (ou grauwackes du type vert (MARTINI, 1968)) ont une paragenèse monotone à qz + ab + chlo ± sér, qui ne donne aucune indication pour la réalisation du tableau III. Ce type est ubiquiste dans la région.

5.4. DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE DES ZONES (cf fig. 1)

La délimitation des zones sur le terrain ne peut être entreprise que compte tenu des restrictions suivantes:

a) Les grauwackes du type A, qui n'apportent aucune indication, doivent être ignorées lors du tracé des limites.

b) Les minéraux des fissures et de leurs épontes, parfois très différents de ceux du reste de la roche, doivent être également écartés. En effet, ceux-ci expriment, dans le schéma habituel, un degré de métamorphisme plus grand que la paragenèse du reste de la roche. Il s'agit par exemple de veines à préhnite ou à pumpellyite dans des grauwackes mouchetées à laumontite. Les épontes de la fissure sont alors nettement transformées. Il n'est pas rare que, de part et d'autre d'une veine à préhnite, la moucheture de la roche disparaisse sur deux à trois cm (voir § 3.2.3.). Le cas des veines à pumpellyite est très semblable, puisque ce minéral cristallise abondamment de part et d'autre de la fissure (sur environ 5 centimètres) en remplaçant la laumontite in situ, tout en conservant la structure mouchetée de la roche.

Un tel contraste entre paragenèses de roche et de fissure a déjà été souligné par divers auteurs (par exemple MARTINI, 1968, SAWATZKI, 1975). COOMBS (1970) propose une explication selon laquelle la pression d'eau dans les fissures ouvertes (environ égale à la pression hydrostatique) aurait été notablement inférieure à celle régnant dans le reste de la roche (environ égale à la pression lithostatique), favorisant ainsi la cristallisation de phases moins hydratées que la laumontite.

5.5. TRACÉ DES LIMITES (CARTE)

Le tracé précis des limites entre zones minérales bute sur les difficultés majeures que sont la dispersion et la grande discontinuité des affleurements de Grès de Taveyanne. Ces grauwackes, abondantes dans la nappe des Diablerets et l'écaille de Jägerchrüz, sont par contre totalement absentes dans la nappe du Wildhorn. La présence de cette unité tectonique au centre du terrain provoque une lacune d'observation de 18 kilomètres environ. Ailleurs, les distances entre les différentes localités sont de quelques kilomètres en moyenne. Il est clair qu'avec une si faible densité d'informations, nous avons été contraints de placer les limites par interpolation linéaire, à mi-distance entre les localités appartenant à des zones différentes. De plus, étant donné l'alignement relatif de nos points d'échantillonnage sur un profil Est-Ouest, la direction des limites n'a pas pu être déterminée. Arbitrairement, nous avons choisi de les tracer parallèlement à l'arc alpin. Mais à plus grande échelle, cette approximation n'est pas valable, comme le montrent par exemple les lignes d'isocristallinité de l'illite ou les paragenèses de plus faible métamorphisme des Grès de Taveyanne de France (Savoie, Champsaur, Clumac) (STALDER, 1979).

Globalement, la distribution des zones minérales traduit une augmentation du métamorphisme des régions occidentales externes aux régions orientales plus internes. Cette évolution aboutit, à Wiler, 4 kilomètres à l'Est de Loèche, à une paragenèse du faciès schistes verts, inconnue à ce jour dans les Grès de Taveyanne.

5.6. SIGNIFICATION DES LIMITES DE ZONES

Nous discuterons ci-dessous de l'utilisation éventuelle de l'une ou l'autre des trois limites de zones en tant qu'isograde («reaction-isograd» de WINKLER, 1979). Un tel problème a par ailleurs été soulevé par FREY (1974) à propos des séries métamorphiques pélitiques et marneuses des Alpes centrales.

5.6.1. Limite entre zone à laumontite et zone à préhnite-pumpellyite

Plusieurs réactions peuvent être invoquées pour la disparition de la laumontite, qui caractérise cette limite (pour les abréviations, voir § 5.2.):

(1) 31 lau + 25 cc + 2 chlo → 14 pu + 48 qz + 87 H_2O + 25 CO_2
(2) 1 lau + 1 cc → 1 pr + 1 qz + 3 H_2O + 1 CO_2 (WINKLER, 1965)

D'autres réactions ne sont évidemment pas à exclure, mais ne sont pas connues à ce jour. Nous avons souvent observé la cristallisation de préhnite aux dépens de la laumontite, mais cette transformation s'effectue toujours à proximité de fissures (voir § 3.2.3.). Mais hors de ce contexte, elle est toujours volumétriquement insignifiante; nous laisserons donc ce minéral de côté dans la discussion qui va suivre.

La laumontite se serait donc transformée avant tout en pumpellyite selon (1), ainsi que le suggère la moucheture des grauwackes à pumpellyite du Sex-Chumme, très semblable à celle des grauwackes à laumontite des Diablerets. Compte tenu de cette hypothèse, la réaction (1) permet-elle alors d'identifier notre limite de zones à une isograde? Formellement oui, dans la mesure où les roches sont en équilibre thermodynamique lors du métamorphisme, c'est-à-dire si les réactants et les produits de la réaction (1) le sont l'un et l'autre. En fait, la discontinuité des affleurements ne nous permet pas d'étudier les roches où la réaction a exactement eu lieu. Il est donc difficile d'estimer si un état d'équilibre a été atteint. Mais celui-ci nous paraît exclu, dans la mesure où les roches situées de part et d'autre sont en déséquilibre. En effet, d'une part des analyses à la microsonde d'agrégats de laumontite d'un échantillon d'Audon ont révélé la coexistence, à l'échelle du micron, de fines intercroissances de laumontite, albite et labrador, montrant que la réaction:

(3) 1 lab + 2 qz + 4 H_2O → 1 lau + 1 ab (MARTINI & VUAGNAT, 1965)

n'a pas été complète. D'autre part, les pumpellyites de la localité de la Chumme présentent à la microsonde un chimisme très contrasté à l'échelle du millimètre, leur teneur en fer pouvant varier de 3 à 17%. Ce déséquilibre manifeste rend donc impropre la notion d'isograde pour la limite considérée.

Remarquons que la localisation de la limite est incertaine dans la région du Sanetsch, car à côté d'une majorité de grauwackes du type vert sans intérêt, se trouvent quelques roches du type B4 à pumpellyite peu abondante. La moucheture faisant défaut, il n'est pas du tout évident que ce minéral soit issu de la laumontite, d'autant plus qu'il peut cristalliser indépendamment selon la réaction:

(4) 31 lab + 25 cc + 2 chlo + 14 qz + 37 H_2O → 31 ab + 14 pu + 25 CO_2

La cristallisation de pumpellyite n'est donc pas une preuve de l'existence antérieure de laumontite. Dans le cas particulier, nous n'avons pas pu formellement déterminer si cette zéolite fut présente ou non dans la roche. Privés de cette information nécessaire et suffisante, il nous est donc impossible de classer cet affleurement avec certitude. La paragenèse ne contenant pas de laumontite, nous l'avons attribué à la zone à préhnite-pumpellyite.

5.6.2. Limites entre zones à préhnite-pumpellyite et pumpellyite-actinote et entre zones à pumpellyite-actinote et actinote-épidote

Il est bien connu que l'augmentation de la pression et de la température a pour effet d'accélérer les réactions et ainsi de favoriser les équilibres. Ces changements de conditions n'ont certainement pas été assez importants dans la région étudiée car, bien que de Chumme à Loèche on tende vers une homogénéisation du chimisme des minéraux, le déséquilibre est toujours manifeste: épidotes zonées, pumpellyite et actinote de chimisme variable (COOMBS et al., 1976).

Il est clair que dans un tel contexte, il n'est pas possible de parler d'isograde, d'autant plus que les réactions possibles d'apparition de l'actinote et de disparition de la pumpellyite ne sont pas uniques. COOMBS et al. (1976) ne mentionnent pas moins de sept réactions pour la formation de l'actinote (donc cinq consomment et détruisent de la pumpellyite) parmi lesquelles il n'est guère possible de déterminer celles qui ont vraiment eu lieu. La multiplicité de ces réactions est elle aussi suffisante pour écarter la notion d'isograde, aussi bien pour la limite entre zones à préhnite-pumpellyite et pumpellyite-actinote (caractérisée par la cristallisation d'actinote) que pour le passage à la zone à épidote-actinote (caractérisée par la disparition de la pumpellyite).

Remarque: Nous ne discuterons pas ici des conditions de pression et de température ayant régné dans les différentes zones minérales au cours de ce faible métamorphisme, car nous ne pouvons apporter aucune information nouvelle à ce sujet.

6. Conclusions

Dans cette étude, nous avons pu montrer qu'il est possible d'obtenir une image cohérente de la répartition des zones telles que nous les avons définies. Leur succession traduit une augmentation du métamorphisme de l'Ouest vers l'Est. Ce résultat n'est possible que si l'on sépare les paragenèses de fissures de celle du reste de la roche. Remarquons encore que la présence de pumpellyite dans des grauwackes à laumontite n'est pas un signe de déséquilibre, car ce minéral peut cristalliser non seulement aux dépens de la zéolite, mais aussi directement à partir du plagioclase (réaction 4).

La localisation des limites est bien évidemment imprécise, ceci à double titre. D'une part par la grande discontinuité des affleurements, d'autre part par le fait que certaines limites sont caractérisées par la *disparition* de minéraux, ce qui est toujours délicat d'emploi, car il faut alors prouver leur existence antérieure à l'endroit de la limite (problème de la laumontite au Sanetsch) et prouver leur absence actuelle (problème de la pumpellyite à Wiler). Ainsi, dans ce dernier cas, l'apparition du faciès schistes verts doit être considérée avec prudence, d'autant plus que la localité est unique.

Remerciements

Nous tenons ici à exprimer notre très vive reconnaissance à Pierre Bugnon, qui a bien voulu mettre à notre disposition ses nombreux échantillons d'affleurements nouveaux de la région de Loèche. Nous remercions également MM. A. Steck, H. Masson et M. Frey pour leurs encouragements et leur lecture critique du manuscrit, ainsi que M. S. Ayrton pour son aide à l'élaboration du résumé en anglais.

Bibliographie

BUGNON, P.C. (1981): Géologie des racines helvétiques dans la région de Loèche (Valais). Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat. N° 359, Vol. 75, 201-206.

COOMBS, D.S. (1954): The nature and alteration of some Triassic sediments from Southland, New Zealand. Trans. r. Soc. New Zealand, 82, 65-109.

COOMBS, D.S., ELLIS, A.J., FYFE, W.S. & TAYLER, A.M. (1959): The zeolite facies, with comments on the interpretation of hydrothermal synthesis. Geochim. cosmochim. Acta 17, 53-107.

COOMBS, D.S., HORODYSKI, R.J. & NAYLOR, R.S. (1970): Occurrence of prehnite-pumpellyite facies metamorphism in northern Maine. Amer. J. Sci. 268, 142-156.

COOMBS, D.S., NAKAMURA, Y. & VUAGNAT, M. (1976): Pumpellyite-Actinolite Facies Schists of the Taveyanne Formation near Loèche, Valais, Switzerland. J. Petrol. 17/4, 440-471.

DEER, W.A., HOWIE, R.A. & ZUSSMAN, J. (1966): An introduction to the rock-forming minerals. Longman, London.

FREY, M. (1974): Alpine metamorphism of pelitic and marly rocks of the Central Alps. Bull. Suisse Minéral. Pétrogr. 54/2,3, 489-506.

KISCH, H.J. (1980): Illite crystallinity and coal rank associated with lowest grade metamorphism of the Taveyanne greywacke in the Helvetic zone of the Swiss Alps. Eclogae geol. Helv. 73/3, 753-777.

LUGEON, M. (1914): Les Hautes Alpes Calcaires entre la Lizerne et la Kander, Matér. Carte géol. Suisse, (n.s.) 30.

MARTINI, J. (1968): Etude pétrographique des Grès de Taveyanne entre Arve et Giffre (Haute-Savoie, France). Bull. suisse Minéral. Pétrogr. 48/2, 539-654.

MARTINI, J. & VUAGNAT, M. (1965): Présence du facies à zéolites dans la formation des «grès» de Taveyanne (Alpes franco-suisses). Bull. suisse Minéral. Pétrogr. 45/1, 281-293.

MASSON, H. (1976): Sur le wildflysch et l'Ultrahelvétique liés à la nappe de Morcles. Eclogae geol. Helv. 69/2, 279.

MASSON, H., HERB, R. & STECK, A. (1980): Helvetic Alps of Western Switzerland. In: Schweizerische Geologische Kommission: Geology of Switzerland (Part B, 109-153). Wepf & Co, Basel, New York.

SAWATZKI, G.G. (1975): Etude géologique et minéralogique des flyschs à grauwackes volcaniques du Synclinal de Thônes (Haute-Savoie, France). Arch. Sci. (Genève), 28/3, 265-368.

SEKI, Y., ONUKI, H., OBA, T. & MORI, R. (1971): Sanbagawa metamorphism in the central Kii Peninsula. Jap. J. Geol. Geogr. 41, 65-78.

STALDER, P.J. (1979): Organic and inorganic metamorphism in the Taveyannaz Sandstone of the swiss Alps and equivalent sandstones in France and Italy. J. Sediment. Petrol. 49/2, 463-482.

STUDER, B. (1834): Geologie der Westlichen Schweizer-Alpen. Karl Groos, Heidelberg, Leipzig.

VUAGNAT, M. (1952): Pétrographie, répartition et origine des microbrèches du Flysch nordhelvétique. Matér. Carte géol. Suisse. (n.s.) 97.

WINKLER, H.G.F. (1965 & 1979): Petrogenesis of Metamorphic Rocks. 1st & 5th Ed. Springer-Verlag, New York, Heidelberg, Berlin.

Manuscrit reçu le 24 février 1984