

Zeitschrift:	Archives des sciences [1948-1980]
Herausgeber:	Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève
Band:	22 (1969)
Heft:	3
Artikel:	Études minéralogiques et sédimentologiques dans les formations tertiaires des bassins lémanique (Suisse occidentale) et de Frangy-Bellegarde (Haute-Savoie)
Autor:	Wagner, A.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-739158

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: 21.01.2026

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

ÉTUDES MINÉRALOGIQUES ET SÉDIMENTOLOGIQUES DANS LES FORMATIONS TERTIAIRES DES BASSINS LÉMANIQUE (SUISSE OCCIDENTALE) ET DE FRANGY-BELLEGARDE (HAUTE-SAVOIE)

PAR

A. WAGNER ¹

SOMMAIRE

Plusieurs centaines d'échantillons de molasses oligocènes et miocènes ont été prélevés systématiquement dans différentes sections de la zone sub-jurassienne des bassins lémanique, de Frangy-Bellegarde et accessoirement de Rumilly-Chambéry (Haute-Savoie, France). Les résidus de minéraux lourds ont été examinés et des corrélations minéralogiques serrées ont été obtenues à l'échelle locale entre deux séries synchrones du bassin de Frangy-Bellegarde. Des corrélations du même type, un peu moins nettes, ont pu être établies entre des séries vraisemblablement synchrones des bassins lémanique et de Frangy-Bellegarde. Un examen de la fraction légère d'échantillons prélevés dans la section du Fornant (bassin de Frangy-Bellegarde) montre une nette évolution dans le temps des pourcentages relatifs des minéraux légers et des grains de quartz d'origine ignée et métamorphique; il en va de même des pourcentages relatifs des grains de quartz à « extinction roulante » et normale. Une étude de quelques dizaines de résidus de minéraux lourds a été effectuée dans des grès fins à grossiers oligocènes et miocènes examinés respectivement dans trois fractions granulométriques; la composition du cortège des minéraux lourds est influencée par le mode de dépôt et il y a une nette relation entre la granulométrie et la composition minéralogique. Les différentes hypothèses sur les provinces distributives des minéraux lourds de la molasse sont passées en revue; il semble vraisemblable que les flyschs alpins les plus externes aient fourni le gros des grenats aux sédiments molassiques tandis que les épidotes et les hornblendes bleues proviendraient du Pennique. Les remaniements successifs des couches sableuses mésocrétacées et éocènes ainsi que de certains flyschs auraient fourni les molasses en minéraux résistants.

SUMMARY

A few hundred Oligocene and Miocene sandstones have been systematically sampled from various sections of the sub-Jura zone of the Léman (western Switzerland) and Frangy-Bellegarde basins and to a lesser extent the Rumilly-Chambéry basin. The heavy mineral residues have been examined and close mineralogical correlations have been obtained on a local scale between two synchronous Frangy-Bellegarde basin series. Less obvious correlations of the same type have been established between apparently synchronous series from the Léman and Frangy-Bellegarde basins.

¹ Présenté par MM. J.J. Calame et D. Rigassi, membres ordinaires.

A study of the light fraction of samples from the Fornant (Frangy-Bellegarde basin) section shows a clear change of relative percentages of light minerals and igneous or metamorphic quartz grains with time; a similar clear change with time occurs with respect to the relative percentages of stressed or normal quartz grains. A study was made of a few dozen fine to coarse Oligocene and Miocene sandstone heavy mineral residues in three different granulometric fractions; the composition of the heavy mineral suite is influenced by the mode of deposit, and there is a clear relation between the granulometry and the mineral suite. The various hypotheses concerning the origin of the heavy minerals of the molasse are reviewed. It seems likely that the most external alpine flysches provided the bulk of the garnets, whereas the epidotes and blue hornblendes may come from the Pennine Alps. The successive reworkings of the Middle-Cretaceous and Eocene sand beds and certain flysches may have provided the molasse with its resistant minerals.

I. INTRODUCTION

Lors d'un récent travail (A. WAGNER et F. WELLHAÜSER, 1966), nous avions montré quelles étaient les possibilités de corrélérer par minéraux lourds deux séries oligocènes voisines dans l'Est du bassin de Frangy-Bellegarde. Les résultats satisfaisants de cette étude nous ont encouragé à poursuivre nos recherches sur une plus vaste échelle. Ainsi, nos travaux comprennent cette fois une étude pétrographique et sédimentologique de séries oligocènes et miocènes des bassins du Léman et de Frangy-Bellegarde, avec une étude complémentaire dans le bassin de Chambéry.

Trois coupes ont été échantillonnées dans le bassin lémanique. Ce sont:

- 1) La coupe de la Morges (près de la ville du même nom).
- 2) La coupe de la Roulavaz, à l'Ouest de Genève.
- 3) La coupe du Biaz, également à l'Ouest de Genève, dans l'Ain.

Dans la partie orientale du bassin de Frangy-Bellegarde, nous avions repris et étendu nos recherches dans les sections du Jamaloup et du Fornant. Une étude pétrographique d'une centaine d'échantillons récoltés pour le compte de la Esso-Rep dans les bassins de Rumilly et de Chambéry (Haute-Savoie), nous a permis d'étayer nos résultats. Quatre coupes y ont été échantillonnées: celles de la Nèphe, du Sierre, du Nant Bruyant et du Forézan (voir fig. 1).

Ce travail est une tentative d'explorer les possibilités de corrélérer par voie minéralogique des sédiments molassiques affleurant sur une étendue relativement vaste et dans des bassins différents. C'est également un essai de déceler et de définir certaines constantes minéralogiques et sédimentologiques des différents étages et de formuler certaines hypothèses sur l'origine des minéraux lourds.

Nous tenons à remercier tous ceux qui ont contribué à cette étude. Remercions tout spécialement M. F. WELLHAÜSER qui nous a apporté son appui constant autant sur le terrain qu'en laboratoire. Notre reconnaissance va également à M. D. RIGASSI, qui nous a considérablement aidé par ses larges connaissances géologiques et sa grande expérience de la molasse. Nous ne voudrions pas oublier MM. D. KISSLING

et L. FORNARA qui nous ont souvent secondé. Les compagnies ESSO-REP (Bègles), HARRY WASSAL & ASSOCIATES INC. (Genève) et PALEOLAB (Nyon) ont bien voulu

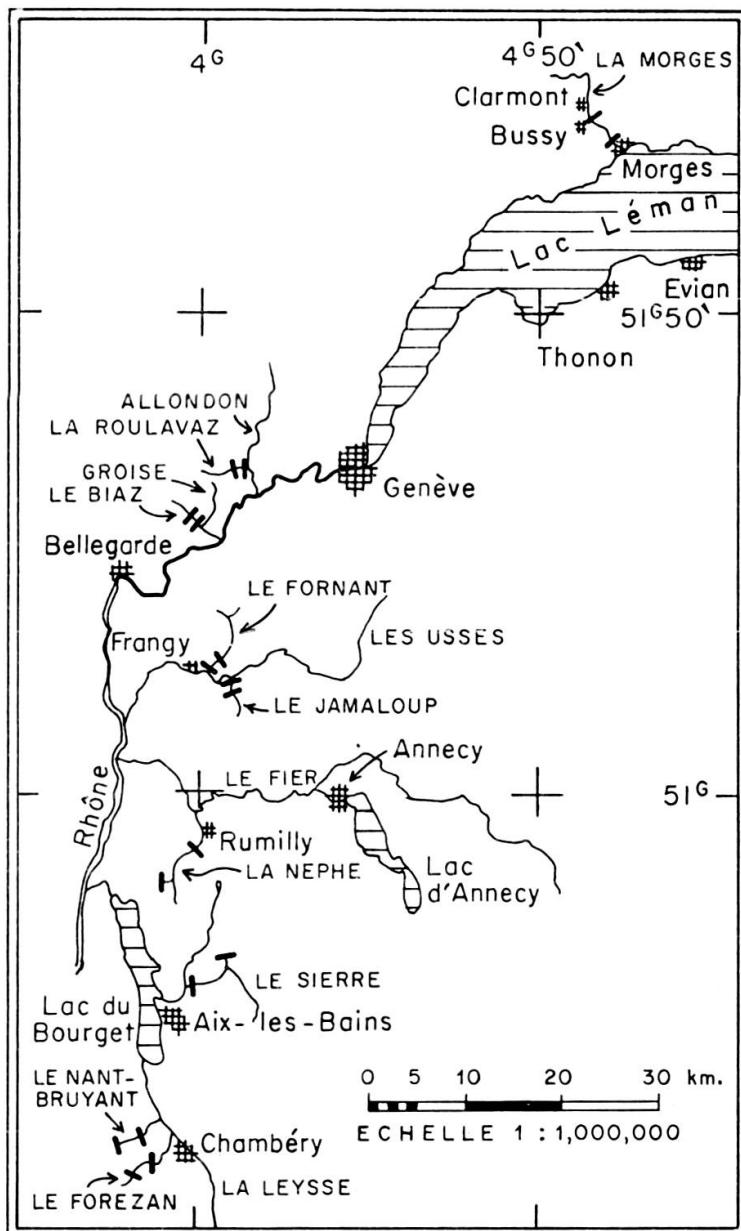


Fig. 1.
Plan de situation

autoriser la publication de certaines analyses réalisées pour leur compte. Nous les en remercions, ainsi que M. A. SAVARY, dessinateur, qui a bien voulu nous apporter son concours bénévole pour la mise au net de nos dessins.

2. MÉTHODES D'ÉTUDE

Les échantillons que nous avons récoltés sont toujours des échantillons moyens des bancs considérés.

L'accent a été mis sur l'étude des minéraux lourds. Nous n'avons pas voulu délaisser complètement l'étude des minéraux légers et notamment celle du quartz qui a été examiné dans différents échantillons sélectionnés de la coupe du Fornant.

Plus de 400 échantillons ont été préparés pour l'étude des minéraux lourds, dont 350 environ ont donné des résidus satisfaisants. Nous donnons ici les résultats des études de minéraux lourds des coupes de la Morges, du Biaz, de la Roulavaz, du Fornant et du Jamaloup. Quelques résultats généraux de l'étude des coupes de la Nèphe, du Sierre, du Nant-Bruyant et du Forézan sont indiqués.

Nous ne reviendrons pas sur les méthodes de préparation maintes fois décrites. Signalons cependant que vu le grand nombre d'échantillons, leur ciment calcaire a été dissout à l'HCl, par souci de simplification, ce qui présente l'inconvénient d'éliminer l'apatite.

Les minéraux lourds de la fraction comprise entre 0,149 mm (tamis 100, US Standard) et 0,066 mm (tamis 300, US Standard) ont été globalement isolés au bromo-forme. En outre, une quarantaine d'échantillons sélectionnés dans la Morges, le Fornant, la Nèphe et le Sierre ont été respectivement étudiés dans trois fractions granulométriques différentes afin de déterminer les relations de la granulométrie et de la minéralogie.

Pour une trentaine d'échantillons du Fornant, la fraction légère comprise entre 0,149 mm et 0,066 mm a été étudiée. L'accent a été mis sur l'étude du quartz. En effet, l'étude des inclusions du quartz, de ses différentes couleurs et de son degré d'usure avait donné des résultats intéressants dans des forages du delta du Niger (A. WAGNER 1966). Le « stress » des grains de quartz a également été étudié: cette caractéristique avait fourni de précieuses indications à H. FUCHTBauer (1964). Les proportions relatives du quartz, des chlorites, des micas, des feldspaths alcalins et des plagioclases ont également été établies.

Les comptages des minéraux lourds ont, en général, été effectués sur 100 grains ou plus. Cependant dans quelques cas isolés, le résidu étant peu abondant, les comptages ont dû être réalisés sur moins de grains.

3. STRATIGRAPHIE

La stratigraphie résumée du Fornant et du Jamaloup a déjà été donnée (A. WAGNER et F. WELLHAUSER 1966). La stratigraphie détaillée de la Morges a été décrite par J. P. VERNET (1956). Celle de la Roulavaz a été publiée par H. LAGOTALA (1935). La coupe du Biaz, très peu épaisse, levée par nous, montre des grès marneux

et des marnes bariolées du Chattien inférieur et la base du Chattien supérieur, représentée par un banc calcaire (D. RIGASSI 1957).

Comme l'ont constaté plusieurs auteurs (entre autres JORDI 1955, D. RIGASSI 1957), on peut suivre, dans l'Oligocène sub-jurassien du bassin de Frangy-Bellegarde jusqu'à la région d'Yverdon, certaines grandes unités lithologiques qui semblent synchrones. Ce sont les suivantes:

Dépôts cycliques fluviatiles gréso-marneux bariolés; à la base: calcaires d'eau douce	Aquitainien
Marnes, grès et calcaires gypsifères plaquetés, saumâtres-lacustres, avec souvent une zone de calcaires lacustres à la base	Chattien supérieur
Dépôts cycliques fluviatiles gréso-marneux bariolés; à la base calcaires d'eau douce.	Chattien inférieur

Nous avons également constaté des analogies lithologiques dans la série burdigaliennes-hélvétique des bassins de Frangy-Bellegarde, Rumilly et Chambéry. Le Burdigalien du Fornant, de la Nèphe, du Sierre, du Nant Bruyant et du Forézan débute par des grès grossiers, plaquetés, à stratifications entrecroisées et « ripple-marks », souvent conglomératiques à la base. A ces grès plaquetés succèdent des grès massifs et grossiers, avec parfois de minces intermèdes marneux. La suite de la série peut s'observer dans les bassins de Rumilly et de Chambéry: les intermèdes marneux deviennent plus nombreux, les grès plaquetés également. Ce sont ces grès plaquetés que l'on observe sous l'épais épisode marneux qui marque probablement la limite entre le Burdigalien et l'Hélvétien, dans ces quatre sections des bassins de Rumilly et de Chambéry. L'Hélvétien est plus marneux et plus silteux que le Burdigalien. On y observe en général des grès bien stratifiés, riches en « ripple-marks » et entrelardés de marnes silteuses grises. Les grès grossiers y sont rares. La série hélvétique se termine toujours par une « Nagelfluh » qui apparaît plus ou moins tôt suivant la section considérée.

4. LES MINÉRAUX LÉGERS (Coupe du Fornant)

Les inclusions des grains de quartz permettent de reconnaître leur origine. A la fin du siècle dernier, MACKIE (1899) démontre que les inclusions des grains de quartz d'origine ignée différaient de celles des quartz d'origine métamorphique. Ces classes d'inclusions étaient les suivantes:

- R. Inclusions régulières origine métamorphique
- A. Inclusions aciculaires.
- I. Inclusions irrégulières origine ignée
- N. Sans inclusions

Des travaux récents montrèrent que la classe « sans inclusions » pouvait être abandonnée, les microscopes modernes permettant de voir des inclusions dans tout grain de quartz. KELLER et LITTLEFIELD (1950) proposèrent la classification suivante:

	<i>Présentes dans les roches métamorphiques</i>	<i>Présentes dans les roches ignées</i>
R. Inclusions régulières	très abondantes	rares
A. Inclusions aciculaires.	rares	abondantes
I. Inclusions irrégulières	très rares	très abondantes
G. Inclusions globulaires	id.	id.

Les recherches des auteurs enseignent cependant que de nombreux grains de quartz des gneiss peuvent contenir les mêmes inclusions que ceux des roches éruptives.

Le calcul des pourcentages moyens par étages des séries molassiques du Fornant nous montre une nette progression des grains de quartz d'origine ignée ou gneissique lorsque l'on monte dans les séries:

	<i>Quartz d'origine ignée ou gneissique</i>	<i>Quartz d'origine métamorphique</i>
Burdigalien	85,0 %	15,0 %
Aquitanien	80,8 %	19,2 %
Chattien sup.	70,4 %	29,6 %
Chattien inf.	65,1 %	34,9 %

L'étude du degré d'usure des grains de quartz montre une légère progression des pourcentages de grains arrondis et sub-arrondis dès le Burdigalien:

	<i>Angulaires</i>	<i>Sub-angulaires</i>	<i>Sub-arrondis</i>	<i>Arrondis</i>	<i>Très arrondis</i>
Burdigalien	20,4 %	35,8 %	36,9 %	6,9 %	0,0 %
Aquitanien	31,9 %	34,9 %	28,0 %	5,2 %	0,0 %
Chattien sup.	27,6 %	36,8 %	27,9 %	7,7 %	0,0 %
Chattien inf.	17,7 %	44,5 %	32,2 %	5,6 %	0,0 %

L'étude du « stress », des extinctions roulantes des grains de quartz, méthode utilisée par H. FUCHTBAUER (1964), montre une progression des grains de quartz à extinction roulante du Chattien inférieur à l'Aquitainien y compris. Leur pourcentage baisse brusquement au Burdigalien:

	<i>Quartz à extinction roulante</i>	<i>Quartz sans extinction roulante</i>
Burdigalien	28,0 %	72,0 %
Aquitanien	60,5 %	39,5 %
Chattien sup.	53,7 %	46,3 %
Chattien inf.	47,9 %	52,1 %

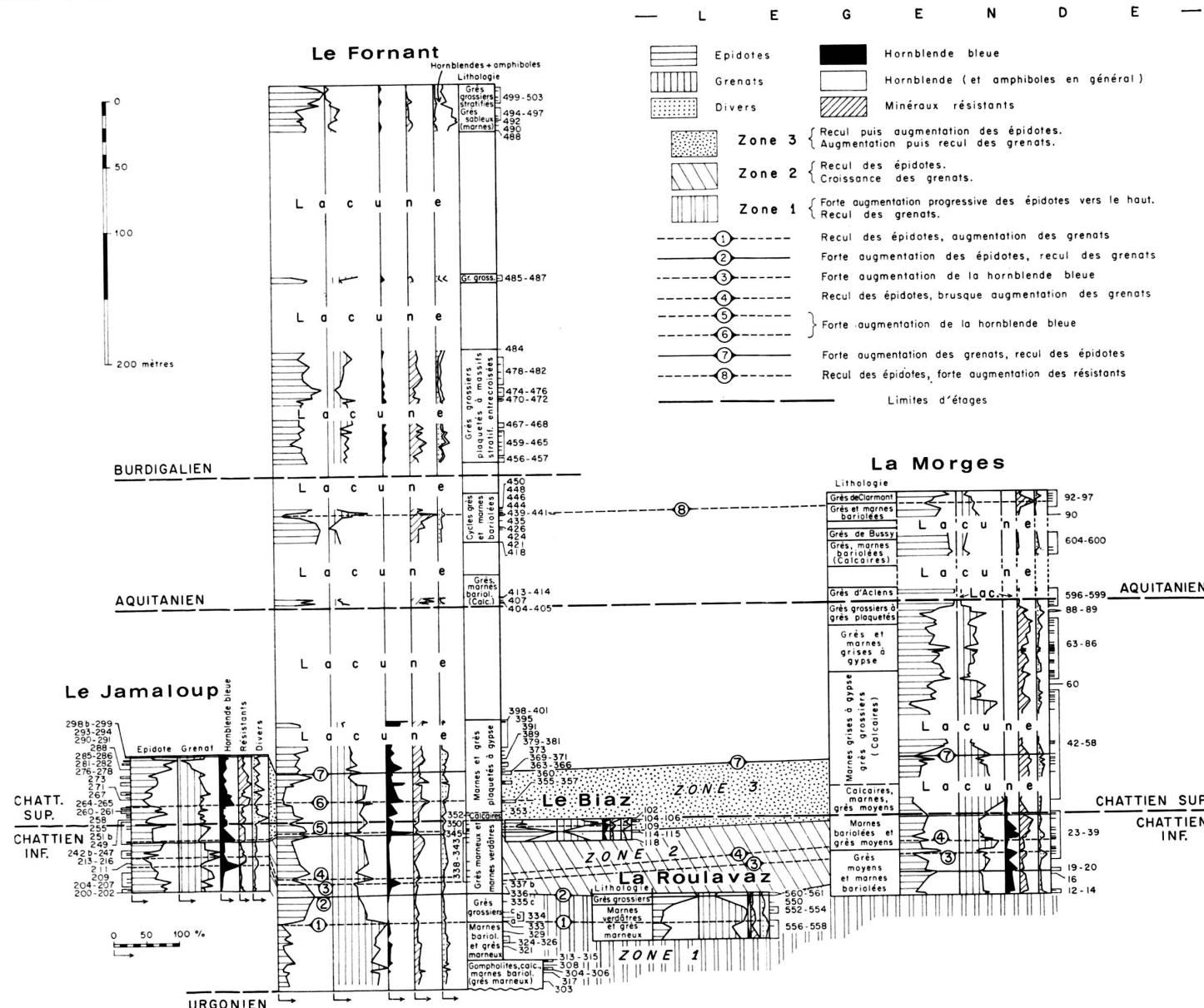


Fig. 3.
Corrélation minéralogique entre le bassin de Frangy-Bellegarde et le bassin lémanique

L'étude des couleurs des grains de quartz n'a pas donné de résultats intéressants.

L'étude des minéraux légers divers (fig. 2) montre une progression des pourcen-

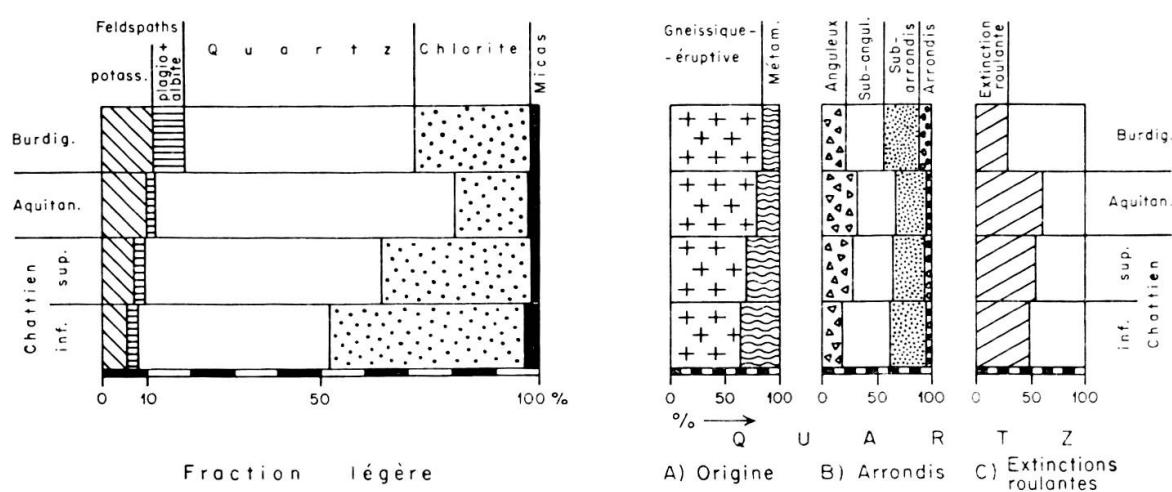


Fig. 2.
Coupe du Fornant: Minéraux légers

tages du quartz depuis le Chattien inférieur jusqu'à l'Aquitainien y compris ainsi qu'un recul de la chlorite. Il y a augmentation du pourcentage de la chlorite ainsi qu'un recul de celui du quartz au Burdigalien. La chlorite est en baisse assez nette à l'Aquitainien. Nous avons constaté qu'elle est très souvent incolore ou partiellement décolorée. La biotite est présente en faible pourcentage et a tendance à reculer lorsque l'on monte dans la série. La muscovite est également présente en faible pourcentage sans différences notables entre les différents étages. Parmi les micas, la biotite et la muscovite jouent un rôle sensiblement équivalent dans le Chattien, alors que plus haut, la muscovite prédomine très nettement. Les feldspaths potassiques progressent sensiblement depuis le Chattien inférieur jusqu'au Burdigalien y compris. Les pourcentages des plagioclases demeurent faibles pendant tout l'Oligocène et augmentent de façon spectaculaire au Burdigalien. Notons également qu'au Burdigalien apparaissent les plagioclases basiques en pourcentages relativement élevés.

	Quartz	Chlorite	Biotite	Muscovite	F.Potass.	Plag. + Albite
Burdigalien	52,8	26,5	0,2	1,8	11,5	7,2
Aquitainien	68,5	16,8	0,4	2,4	9,8	2,1
Chattien sup. . . .	54,2	34,8	1,3	0,5	7,2	2,4
Chattien inf. . . .	44,2	44,6	1,8	1,8	5,6	2,2

Cette brève étude montre l'intérêt que peut présenter l'étude des minéraux légers. Une étude plus complète et dans des séries synchrones différentes pourrait peut-être montrer l'existence de zones corrélatives basées sur les minéraux légers.

5. LES MINÉRAUX LOURDS

Nous avons subdivisé le cortège des minéraux lourds en 5 groupes:

- 1) Groupe de l'épidote (pistacite, zoïsite, clinozoïsite)
- 2) Groupe des grenats
- 3) Groupe de la hornblende bleue
- 4) Groupe des minéraux résistants (zircon, tourmaline, rutile, anatase, brookite)
- 5) Groupe de divers (staurotide, disthène, sphène, hornblendes vertes, brunes et amphiboles, chloritoïde).

Au Burdigalien les pourcentages de hornblendes vertes et brunes deviennent importants. Nous en avons alors fait un sous-groupe.

La pistacite domine fortement parmi les épidoites. La zoïsite, la clinozoïsite et peut-être la piedmontite s'y retrouvent en petites quantités. Nous avons constaté que les épidoites étaient souvent altérées dans l'Oligocène notamment dans les grès marneux fins. Elles le sont beaucoup moins ou pas du tout dans les sédiments grossiers de l'Oligocène et du Miocène. La couleur des pistacites peut varier du vert-pistache au gris légèrement verdâtre.

Les grenats sont le plus souvent incolores à légèrement rosés mais il s'en trouve de franchement roses. Les analyses exposées par H. FUCHTBAUER (1964) montrent que c'est la molécule de l'almandin qui prédomine (73,7%) alors que celle du pyrope représente 19,3%, ceci dans les séries molassiques de Suisse orientale et d'Allemagne.

Nous avons constaté que les grenats étaient presque toujours à cassure esquilleuse dans l'Oligocène et que l'on remarque plus de formes idiomorphes ou non-esquilleuses dans le Miocène. Enfin, les grenats à figures de corrosion sont rares autant dans l'Oligocène que dans le Miocène.

Le groupe des grenats et celui des épidoites constituent de loin les groupes les plus importants dans les séries molassiques que nous avons étudiées.

La hornblende bleue montre de brusques augmentations dans toutes les séries oligocènes considérées. Elle constitue une zone corrélative importante dans les séries miocènes étudiées dans le bassin de Chambéry. Elle s'est donc révélée être un bon « marker ».

Nous n'avons pas utilisé le terme de glaucophane d'un sens trop restreint puisque ce minéral est l'une des extrémités du groupe des hornblendes bleues.

Les minéraux résistants forment parfois un groupe important autant dans l'Oligocène que dans le Miocène et notamment dans l'Aquitainien. Le zircon incolore ou rosé, souvent idiomorphe, zoné ou pas, et la tourmaline, surtout brune ou verdâtre,

y sont les représentants les plus nombreux. Parmi les diverses catégories de couleurs de la tourmaline, on remarque une nette prédominance de la tourmaline brune, surtout dans le Miocène. Les tourmalines roses ou bleues sont rares. L'anatase, la brookite et le topaze sont assez rares.

Les divers. Nous avons réuni dans ce groupe les minéraux sans grande importance dans l'établissement des corrélations. Parmi les amphiboles dominent nettement les hornblendes vertes et brunes. Les amphiboles claires, dont l'actinote, sont assez peu représentées. Les hornblendes vertes et brunes constituent un groupe important dans le Burdigalien du Fornant. C'est pour cette raison que nous l'avons ici différencié du groupe des divers. La staurotide est relativement rare et le disthène encore plus. Le sphène peut parfois atteindre des pourcentages relativement élevés mais il est sans utilité pour l'établissement de corrélations. Le chloritoïde est rare et l'andalousite apparaît hypothétiquement dans le Burdigalien du Fornant.

Nos groupes ont été établis de cette manière pour faire ressortir les niveaux et zones corrélatives. Pour montrer l'influence de la sédimentation sur le cortège des minéraux lourds, nous avons reproduit une colonne lithologique en regard des colonnes minéralogiques des principales séries étudiées (voir la figure n° 3).

Si nous avions voulu grouper les minéraux lourds en tenant compte uniquement de la recherche de leur origine nous aurions utilisé les groupes établis par C. H. EDELMANN (1933).:

1^{er} groupe : Grenats, zircon, tourmaline, rutile, anatase, brookite d'origine soit éruptive, soit métamorphique ou secondaire et résistant aux remaniements.

2^e groupe : staurotide, disthène, topaze (andalousite), et sphène d'origine primaire, secondaire ou de *sédiments remaniés* vu leur résistance.

3^e groupe : epidotes, amphiboles, chloritoïde d'origine primaire, éruptive ou métamorphique mais sensibles et détruits par remaniement.

Seul ce troisième groupe est utile, selon C. H. EDELMANN (1933), pour une étude de l'origine des minéraux lourds. Nous pensons cependant que dans les molasses de Suisse occidentale et de Haute-Savoie, les grenats sont des minéraux principalement alpins ayant subi peu de remaniements comme l'atteste la rareté des grenats à figures de corrosion, ces derniers étant probablement d'origine non-alpine. Notre table (fig. 3) semble donc aussi pratique pour traduire l'origine des minéraux lourds. Cette table montre avec évidence 3 zones corrélatives que nous avons pu établir entre le Fornant et la Morges en passant par le Jamaloup, le Biaz et la Roulavaz. En outre plusieurs niveaux « markers » sont observables.

La table (fig. 3) montre l'antagonisme des epidotes et des grenats, l'augmentation générale des epidotes et le recul des grenats vers le haut des séries et particulièrement au Burdigalien. L'influence de la granulométrie est également visible. La présence

sporadique de la hornblende bleue dans tout le Chattien, sa disparition à l'Aquitanién et sa réapparition au Burdigalien dans le Fornant et sa disparition dès le Chattien supérieur dans la Morges sont également à remarquer. Comme nous l'avions déjà noté lors d'une récente publication (A. WAGNER et F. WELLHAUSER 1966), les fluctuations des minéraux résistants suivent d'assez près celles des grenats à l'Oligocène. Nous pouvons remarquer que les granulométries différentes des séries du Fornant, du Jamaloup et de la Morges n'influencent pas l'allure générale des courbes de variation des minéraux lourds mais que ce sont seulement les valeurs absolues des pourcentages qui diffèrent.

6. RELATIONS ENTRE LES GRANULOMÉTRIES ET LES MINÉRAUX LOURDS

Nous avons effectué une étude des minéraux lourds de trois fractions granulométriques prises respectivement dans une quarantaine d'échantillons du Fornant, de la Morges, de la Nèphe et du Sierre.

Nous nous proposons d'approfondir la question des relations entre les granulométries et les minéraux lourds et d'essayer d'en tirer des règles générales.

Les groupes des epidotes, des grenats et des minéraux résistants étaient, à notre sens, les plus importants et nous avons calculé leurs proportions relatives dans chacune des fractions granulométriques considérées.

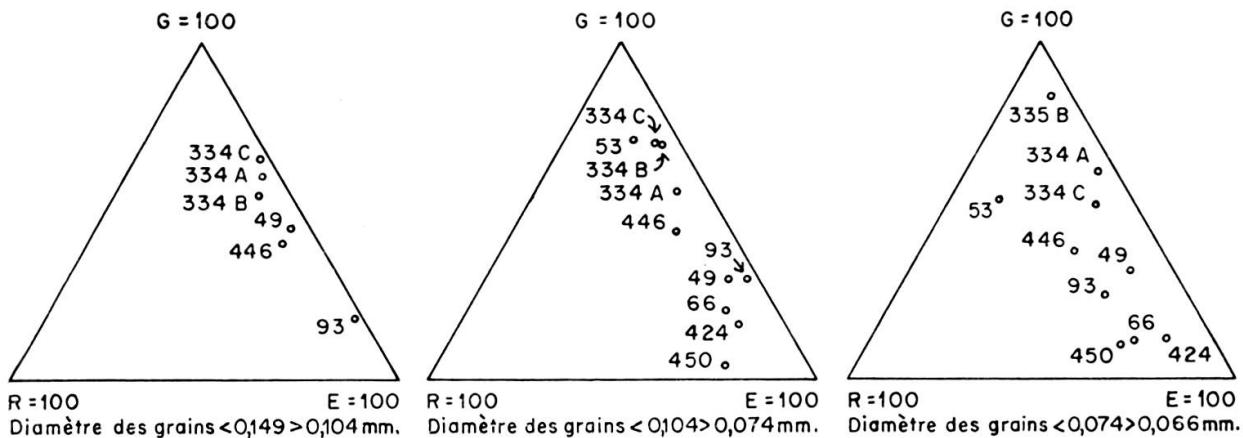
Nous avons opéré les comptages des minéraux lourds dans les trois fractions granulométriques suivantes:

- 1) Fraction comprise entre 0,149 mm et 0,104 mm (Tamis 100 et 150 US St).
- 2) Fraction comprise entre 0,104 mm et 0,074 mm (Tamis 150 et 200 US St).
- 3) Fraction comprise entre 0,074 mm et 0,066 mm (Tamis 200 et 300 US St).

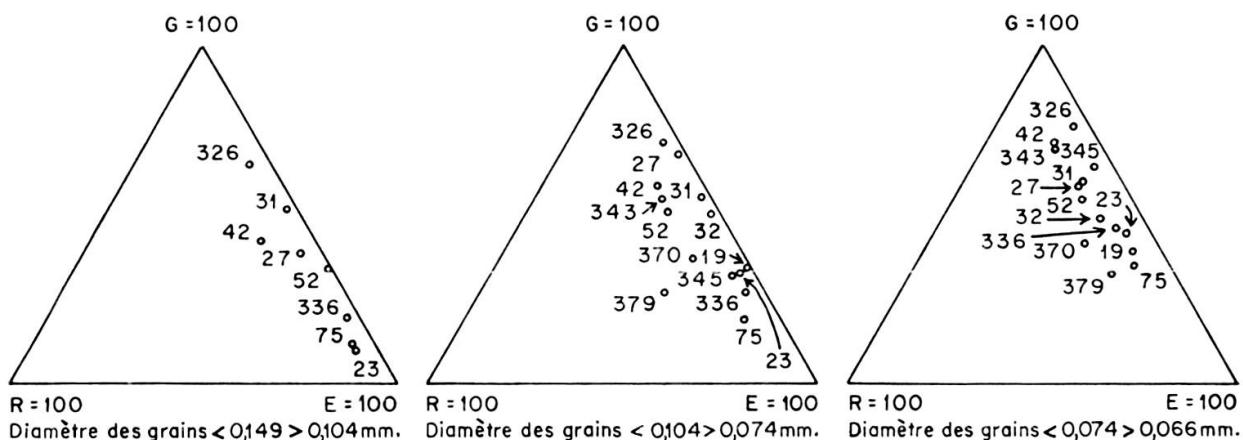
Des diagrammes dont chacun des points exprime les pourcentages relatifs des trois groupes des minéraux considérés ont été établis pour chacune des fractions étudiées (fig. 4 A, B, C).

Deux séries de trois triangles ont été utilisées pour l'Oligocène: l'une pour les grès grossiers et l'autre pour les grès plus fins ou plus marneux. La troisième série a été utilisée pour les grès miocènes.

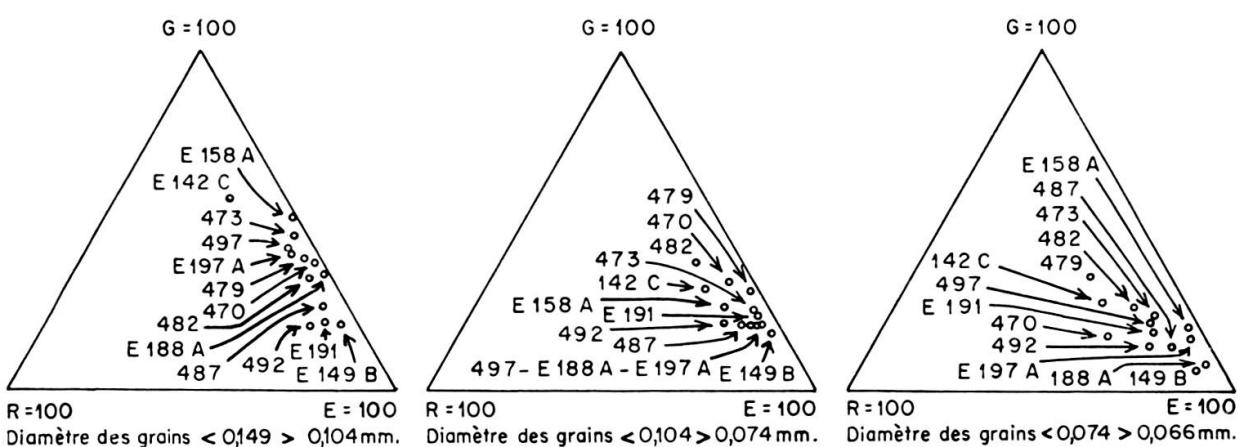
Ce qui frappe à l'examen de ces trois séries de triangles c'est le net antagonisme entre la série des triangles représentant les grès fins à moyens ou marneux oligocènes et celle des grès miocènes (fig. 4B et 4C). Alors qu'à l'Oligocène on a un enrichissement en grenats et un appauvrissement en epidote, c'est le contraire qui se produit au Miocène lorsque l'on passe aux fractions plus fines. Il y a cependant dans les deux cas, un enrichissement en minéraux résistants dans les fractions fines.



A) Oligocène (Fornant, Morges) - Grès grossiers



B) Oligocène (Fornant, Morges) - Grès fins à moyens



C) Miocène (Fornant, Nèphe et Sierre)

— L E G E N D E —

- G = Grenat
- R = Résistants
- E = Epidote
- 326 = N° d'échantillon

Fig. 4.
Granulométrie et minéralogie

Il se dégage donc de cet examen les lois suivantes:

- 1) Augmentation des pourcentages des grenats et des minéraux résistants et diminution de ceux de l'épidote en fonction de la diminution du diamètre des grains dans les sédiments finement à moyennement gréseux de l'Oligocène (fig. 4B).
- 2) Augmentation des pourcentages de minéraux résistants en fonction de la diminution du diamètre des grains dans les grès moyens à grossiers de l'Oligocène. (fig. 4A).
- 3) Augmentation des pourcentages des minéraux résistants et diminution de ceux des grenats, augmentation des pourcentages d'épidote en fonction d'une diminution du diamètre des grains dans les grès burdigaliens et helvétiens (fig. 4C).

Nous reviendrons plus loin sur la conséquence de ces lois dans la recherche de l'origine des minéraux lourds.

7. L'ORIGINE DES MINÉRAUX LOURDS

Il nous a semblé utile de passer en revue les principales hypothèses émises au sujet de l'origine des minéraux lourds, hypothèses surtout formulées à l'endroit de l'origine des minéraux lourds des séries molassiques de Suisse centrale, orientale et d'Allemagne.

LES ÉPIDOTES

Selon A. VON MOOS (1935) à un accroissement de galets cristallins de l'Est vers l'Ouest correspond un accroissement d'épidote. De la même manière s'opère un accroissement en ce minéral et de galets cristallins lorsque l'on monte du Stampien à l'Aquitainien (région du Napf).

Dans les Alpes, les séries les plus riches en epidotes sont penniques: ce sont les schistes lustrés et les schistes verts, les schistes chlorito-épidotiques et les prasinites. Selon cet auteur, il y a toujours parallélisme entre la teneur en galets ophiolitiques et celle des epidotes, que l'on peut observer dans le Miocène du Napf. On note également un plus grand nombre de galets de gabbros dans le Miocène que dans le Stampien.

Selon R. MICHEL (1953) cité par A. VATAN *et Al* (1957), les schistes lustrés se divisent en deux faciès:

1) *Faciès albítique*:

- a) Moitié inférieure: prasinites riches en epidotes, zoïsite et amphiboles, (surtout actinote), grenat, chloritoïde, hornblende bleue.

- b) Moitié supérieure: calcschistes, pauvres en epidotes. Présence de grenat, chloritoïde et hornblende bleue.
- 2) *Faciès des roches vertes*: elles peuvent exister jusque dans le socle. Ce sont des roches basiques et ultrabasiques transformées par métamorphisme alpin.

Il semble donc tout à fait probable que les schistes lustrés et particulièrement la moitié inférieure du faciès albitique soient la source principale des epidotes.

H. FUCHTBAUER (1964) constate également le parallélisme entre la contenance en galets granitiques et les epidotes, comme par exemple dans la molasse de l'Entlebuch. Il signale également la présence des epidotes dans les grès où dominent les galets sédimentaires et les roches vertes dans la zone d'épandage du Hörnli.

Toujours selon cet auteur, l'épidote contenue dans les galets granitiques serait différente de celle des prasinites. Elle est souvent en agrégats et on la retrouve notamment dans le massif de l'Aar (CADISCH 1953 p. 52). Dans les sédiments, elle se distingue mal des autres epidotes. Cependant, pour H. FUCHTBAUER (1964), les roches vertes sont la principale source des epidotes.

LES GRENATS

H. FUCHTBAUER (1964) pense que le grenat provient principalement des micaschistes centre-alpins, du moins dans les parties centrale et orientale du bassin molassique. Il est difficile de trancher, car seuls de rares galets contenant du grenat ont été retrouvés dans les « Nagelfluh ». Ceci provient certainement du manque de résistance des mica-schistes. Autre source possible des grenats citée par H. FUCHTBAUER (1964): certains flyschs. U. GASSER (1967) signale une haute teneur de grenat dans les parties les plus externes des flyschs alpins alors que ce minéral disparaît vers l'intérieur du géosynclinal. R. TRUMPY et A. BERSIER (1954), dans leur étude des galets du poudingue du Mont Pélerin, signalent également du grenat dans des galets d'un flysch post-turonien et dans d'autres galets de grès grossier d'un flysch probablement helvétique et d'âge probablement éocène. Les galets de flysch parmi lesquels se trouvent ces deux types signalés, représentent le 27% des galets des poudingues du Mont Pélerin et il semble donc probable que les flyschs soient, du moins dans nos régions, une source importante des grenats de la molasse; comme dans les « Nagelfluh » de Suisse centrale et orientale, et pour la même raison énoncée plus haut, il y a très peu de galets cristallins contenant des grenats dans les poudingues du Mont Pélerin.

Il existe d'autres sources possibles des grenats. Les schistes lustrés des deux zones du faciès albitique, certaines roches vertes et même le socle (R. MICHEL 1953) sont des roches-mères possibles non-négligeables. Enfin, la couverture sableuse mésocrétacée a vraisemblablement fourni des grenats provenant du démantèlement des

matériaux hercyniens du Massif Central (A. VATAN *et Al* 1957, S. DUPLAIX et S. GUILLAUME 1962a); les rares grenats à figures de corrosion proviennent peut-être de cette source.

LA HORNBLENDE BLEUE

Les lieux connus où l'on trouve les hornblendes bleues alcalines sont, selon A. VON MOOS (1935) en relation avec les roches basiques sodiques ou leurs tufs et se rencontrent dans les Alpes, principalement dans le Pennique où ces hornblendes bleues se retrouvent aussi bien dans les masses éruptives intrusives que dans leurs auréoles de contact. Toujours selon le même auteur, les hornblendes bleues n'ont jamais été repérées dans les galets tertiaires du Nord des Alpes, mais seulement dans le Quaternaire du glacier du Rhône. A. VON MOOS présume d'autre part que le milieu marin exerce une influence conservatrice et qu'il pourrait éventuellement favoriser la transformation de la hornblende commune en hornblende bleue. Notre examen des minéraux lourds infirmerait plutôt cette hypothèse de A. VON MOOS puisque nous avons retrouvé la hornblende bleue autant dans les résidus du Chattien inférieur ou supérieur que dans ceux du Miocène.

VATAN *et Al* (1957) indiquent les trois zones des schistes lustrés comme source probable de la hornblende bleue. Il semble bien que les sources des hornblendes bleues soient circonscrites au domaine plutôt occidental des Alpes. En effet, d'après H. FUCHTBAUER (1964), c'est seulement dans le Tertiaire de la région lémanique et dans la zone d'épandage d'Aarwangen (Chattien inférieur) que se retrouve la hornblende bleue.

LES MINÉRAUX RÉSISTANTS

L'origine de ces minéraux est difficile à déterminer en raison de leur résistance aux remaniements. Selon H. FUCHTBAUER (1964), le rutile pourrait être attribué en grande partie aux flyschs remaniés. Selon cet auteur, ce minéral recule avec l'accroissement de minéraux tels que l'épidote. Il est en outre un minéral important dans les molasses sub-alpines orientales. Selon cet auteur, le zircon proviendrait aussi du remaniement des flyschs. Pour H. FUCHTBAUER (1964), à l'exception des grès granitiques, la tourmaline est un minéral fréquent dans les molasses; les variétés brunes seraient d'origine alpine alors que les variétés bleues-vertes auraient une autre source. Selon cet auteur, il faudrait attribuer une bonne partie de la tourmaline au remaniement du flysch. R. TRUMPY et A. BERSIER (1954) relèvent que de nombreux minéraux résistants des galets de grès des flyschs se retrouvent dans la molasse. U. GASSER (1967) indique que les zones des flyschs ultra-helvétiques et nord-pennines sont caractérisées par une association de tourmaline, (d'apatite) et de zircon. En Suisse romande, J. P. VERNET (1964b) attribue une partie des minéraux résistants au remaniement de

l'Eocène où ils seraient d'ailleurs déjà remaniés d'une source méso-crétacée. (S. DU PLAIX et S. GUILLAUME 1962b).

LES MINÉRAUX DIVERS

La *staurotide* et le *disthène* sont assez rares dans les échantillons que nous avons étudiés alors que dans le sillon allemand, selon H. FUCHTBAUER (1964), la staurotide est un minéral principal dans les molasses anciennes. Elle manque en Suisse centrale et orientale sauf dans les nappes d'épandage de Gébris-Kronberg et de Saanen. Il semble donc que la staurotide et le disthène de la région lémanique et savoyarde proviennent surtout d'un remaniement de la couche sableuse méso-crétacée et éocène où ils proviendraient du Massif Central (A. VATAN *et Al* 1957). Le *sphène* est étroitement lié à l'épidote selon H. FUCHTBAUER (1964) et apparaît sporadiquement avec parfois de fortes augmentations dans les molasses lémaniques, comme nous l'avons remarqué dans nos échantillons.

Le *chloritoïde* est très rare dans les échantillons étudiés. Il est présent selon R. MICHEL (1953) dans les roches de la zone albitique des schistes lustrés.

Les *hornblendes communes*, et dans une moindre mesure d'autres amphiboles telles que l'actinote, voient leurs pourcentages s'accroître fortement dans les séries miocènes que nous avons étudiées. Une partie des hornblendes, tout au moins une partie des hornblendes vertes pourrait provenir des amphibolites alpines tandis que l'autre partie pourrait trouver son origine dans des roches volcaniques. H. DOUXAMI (1896) signale des fragments de spilites dans le Miocène du bassin de Rumilly. M. VUAGNAT (1944) citant A. BERSIER (1938) signale des fragments de porphyrites dans la molasse burdigaliennes de base du Jorat et dans un grès coquillier burdigalien d'Estavayer. La présence de telles roches permettrait de supposer une source hypothétique de roches-mères volcaniques contenant de la hornblende verte et peut-être brune. En ce qui concerne l'actinote, la zone inférieure (faciès albitique) des schistes lustrés décrite par R. MICHEL en contient. C'est dans cette zone qu'elle pourrait trouver son origine.

Une bonne partie des minéraux lourds des séries oligocène et miocène de Suisse romande et de Haute Savoie proviendrait des schistes lustrés et du Pennique en général. C'est vraisemblablement le cas des epidotes et des hornblendes bleues. Le cas du grenat est plus difficile à trancher et s'il pouvait provenir en partie des schistes lustrés et de certains mica-schistes, il semble certain que le remaniement de certains flyschs ait joué un grand rôle dans l'approvisionnement en grenats des séries molassiques. Les divers auteurs parlent tous d'un enrichissement en epidotes et d'un appauvrissement en grenats lorsque l'on monte dans les séries, que ce soit dans les régions savoisiennes, romande ou suisse-alémanique. Ce fait semble certain et nous l'avons

constaté nous-même. Il semble logique que la région alpine empâtée par des flyschs grenatifères dans sa zone la plus externe (U. GASSER 1967) ait tout d'abord livré surtout des grenats, puis, l'érosion se poursuivant, les roches riches en epidotes aient été atteintes de plus en plus profondément, renversant peu à peu le rapport grenats/épidotes.

La solution du problème de l'origine des minéraux lourds des molasses de Suisse centrale, orientale et des molasses allemandes a grandement été facilitée par l'étude pétrographique des « Nagelfluh ».

Les poudingues du Mont Pélerin, qui nous ont montré l'existence de galets de flysch grenatifère sont pauvres en roches cristallines dont l'étude pourrait contribuer à préciser l'origine d'autres minéraux lourds. Il en va de même pour les conglomérats burdigaliens et les « Nagelfluh » helvétiques des bassins de Rumilly et de Chambéry, que nous avons brièvement examinés. (H. WASSALL & Ass. INC. Rapport ESSO-REP, avril 1967). Cet examen nous a cependant fourni les indications suivantes sur l'origine des éléments molassiques dont la composition varie très nettement dans le temps:

	<i>Granit, aplite</i>	<i>Mésozoïque Simme</i>	<i>Flysch Simme</i>	<i>Trias préalpin</i>	<i>Roches vertes</i>	<i>Flysch ultrahelv.</i>
Helvétien Rumilly .	0 %	5 %	0 %	6 %	2 %	41 %
Helvétien W de Chambéry . . .	10 %	10 %	0 %	12 %	2,5 %	32 %
Burdigalien Rumilly	20 %	10 %	0 %	12 %	1,7 %	20 %
Aquitaniens						
Lausanne* . . .	35 %	25 %	25 %	5 %	2 %	5 %
	(pas de conglomérats dans le Chattien supérieur)					
Pélerin sommet** .	2 %	45 %	40 %	5 %	2 %	5 %
Pélerin base** .	0 %	30 %	25 %	7 %	0 %	5 %

* RIGASSI (1957)

** TRUMPY & BERSIER (1964)

Ce tableau est établi en ne tenant pas compte des éléments strictement locaux (20 % dans l'Helvétien de Rumilly), ni des quartz filoniens d'origine incertaine, ni des éléments de nature et de provenance indéterminées.

Nous avons vu combien la granulométrie influençait la composition minéralogique et ceci de manière différente, suivante le grès considéré. Ceci complique encore le problème de l'origine des minéraux lourds. Nous avons démontré que dans les grès fins oligocènes, il y avait enrichissement en grenats dans les fractions fines, le contraire se produisant au Miocène.

A l'Oligocène, le transport des éléments détritiques en provenance des Alpes devait être assez lent pour occasionner une abrasion et une destruction partielle de

minéraux relativement fragiles, tels que l'épidote, augmentant ainsi la proportion des éléments plus résistants tels que le grenat. Lorsque le transport devenait plus actif, on assistait à un enrichissement en epidotes. Ainsi, à l'Oligocène, sauf dans le cas des grès grossiers, on a une image assez infidèle de ce que pouvaient être à cette époque les roches mères. L'érosion qui commence à s'activer à la fin de l'Oligocène mais surtout à partir du Burdigalien, voit s'installer un mode de dépôt différent. Le transport devient rapide, l'épidote n'a pas le temps d'être corrodée et comme, lors du dépôt, la taille des grenats plus résistants est en général plus grande que celle des epidotes, on aura un enrichissement en epidotes dans les fractions fines. Au Miocène, le mode de transport en milieu marin, joue certainement un rôle dans la conservation des epidotes. La forte augmentation de minéraux résistants, principalement dans les grès grossiers oligocènes et dans les grès miocènes, pourrait indiquer un ou plusieurs remaniements (flysch, molasses anciennes, couvertures méso-crétacée et éocène) de ces minéraux à partir de sédiments plus anciens. Leur concentration dans les fractions fines vient également de leur taille originale petite, c'est le cas particulièrement des zircons.

La hornblende bleue, comme nous l'avons déjà noté, est abondante à certains niveaux du Chattien inférieur et supérieur du bassin de Bellegarde. Ces niveaux se retrouvent également dans les séries chattiennes du bassin de Rumilly. (Nèphe et Sierre). La hornblende bleue disparaît à l'Aquitainien de ces deux bassins et réapparaît au Miocène en assez faible quantité. Dans les séries miocènes du bassin de Chambéry, elle constitue une zone corrélatrice importante entre les sections du Nant-Bruyant et du Forézan. Dans le bassin lémanique, nous constatons, avec J. P. VERNET (1958a) qu'elle disparaît déjà au Chattien supérieur dans la section oligocène de la Morges. Ce même auteur remarque également sa disparition depuis le Chattien supérieur dans la région d'Yverdon (J. P. VERNET 1964b).

Il semble donc que la hornblende bleue est présente de façon assez irrégulière dans les séries molassiques des bassins lémanique et savoisiens. Cela provient probablement d'une répartition capricieuse de ce minéral dans sa province distributive. Localement elle se révèle néanmoins être un minéral « marker » fort utile.

8. CONCLUSIONS

Cette étude nous a révélé une quasi-identité minéralogique des séries molassiques des bassins savoisiens et lémanique. Leurs provinces distributives semblent être communes. Les minéraux lourds y sont probablement essentiellement d'origine alpine et d'importants groupes semblent se rattacher au Pennique.

La granulométrie des sédiments molassiques influence fortement la composition du cortège des minéraux lourds, mais comme les changements du rythme de sédimentation ont dû se répercuter dans toute la région comprise entre Chambéry et la Morges, les courbes de minéraux lourds restent relativement identiques. La méthode des

minéraux lourds se révèle donc être un bon moyen de corrélation locale, comme nous pouvons le constater entre le Fornant et le Jamaloup; des corrélations évidentes ont pu être également établies entre le Nant-Bruyant et le Forézan, le Sierre et la Nèphe. Des corrélations par minéraux lourds peuvent également être établies, de façon un peu moins évidente, entre deux bassins différents tels que le bassin lémanique et le bassin de Frangy-Bellegarde.

L'étude des minéraux légers du Fornant et notamment celle des rapports quartz d'origine métamorphique/quartz d'origine ignée, quartz à « extinction roulante »/quartz à extinction normale et l'étude des feldspaths semblent montrer une évolution assez nette. Cette méthode pourrait également se révéler fructueuse dans l'établissement de corrélations.

Une étude poussée des « Nagelfluh » helvétiques des bassins de Rumilly et de Chambéry pourrait contribuer à la recherche de l'origine des minéraux lourds.

Enfin, une étude des paléocourants des séries molassiques, qui semble réalisable notamment dans les séries miocènes, contribuerait grandement à l'établissement d'une paléogéographie utile également dans une recherche précise de l'origine des minéraux lourds.

BIBLIOGRAPHIE

- BERSIER, A. (1938): Recherches sur la géologie et la stratigraphie du Jorat. Mémoires de la Soc. Vaud. Sc. Nat. vol. 6 n° 3.
- (1958): Exemple de sédimentation cyclothématique dans l'Aquitain de Lausanne. Eclog. Geol. Helv. vol. 51, n° 3.
- (1958): Séquences détritiques et divagations fluviales. Eclog. Geol. Helv. vol. 51, n° 3.
- BUCHI, U. P., WIENER, G., HOFFMANN F. (1965): Neue Erkenntnisse im Molassebecken auf Grund von Erdöltiefbohrungen in der Zentral und Ostschweiz. Eclog. Geol. Helv. vol. 58, n° 1.
- CADISCH, J. (1953): Geologie der Schweizer Alpen. 2. Auflage, Wepf, Basel.
- DOUXAMI, H. (1896): Etude sur les terrains tertiaires du Dauphiné, de Savoie et de Suisse occidentale. Ann. Univ. Lyon, T. XXVII.
- DUPLAIX, S. (1948): Détermination microscopique des minéraux des sables. Librairie Polytechnique Ch. Béranger, Paris.
- GUILLAUME S. (1962a): Etudes stratigraphiques et minéralogiques des formations tertiaires du Jura. Rev. Géogr. phys. et Géol. dyn. Vol. V, Fasc. I.
- (1962b): Etude de quelques formations détritiques du Crétacé moyen du Jura. Bull. Soc. Géol. de France, 7^e série, t.IV. p. 311-321.
- et LEFAVRAIS-RAYMOND, A. (1965): Le tertiaire de la Bresse, stratigraphie et minéralogie, comparaison avec les régions voisines. Rev. de Géogr. physique et Géol. dyn. Vol. VII, fasc. 2.
- EDELMANN C. H. (1933): Bijdrage tot de petrologie van het nederlandsche tertiär. Verh. Géol. Mijnb. Gen. Nek. en kol. Geol. Serie 10.
- (1933): Petrologische Provincies in het nederlandsche Kwartair. Diss. Amsterdam.
- FUCHTBAUER, H. (1958): Die Schüttungen im Chatt und Aquitan der deutschen Alpenvorlandes Molasse nördlich der Alpen. Eclog. Geol. Helv. vol. 57, n° 1.
- (1964): Sedimentpetrographische Untersuchungen in der älteren Molasse nördlich der Alpen. Eclog. Geol. Helv. Vol. 57, n° 1.
- (1967): Die Sandsteine in der Molasse nördlich der Alpen. Geol. Runds. Band 56, Heft 1.

- GASSER, U. (1966): Sedimentologische Untersuchungen in der äusseren Zone der subalpinen Molasse des Entlebuchs (Kt. Luzern). *Eclog. Geol. Helv.* 59/2.
- (1967): Erste Resultate über die Verteilung von Schwermineralien in verschiedenen Flyschkomplexen der Schweiz. *Geol. Runds.*, Band 56, Heft 1.
- HOFFMANN, F. (1965): Die stratigraphische Bedeutung der Bentonite und Tufflagen im Molassebecken. *Jber. u. Mitt. oberrh. geol. Ver.* N.F. 47. Stuttgart.
- (1968): Zur Sedimentpetrographie der Molasse in den Bohrungen Pfaffnau Süd 1,2,4 und 5, Boswil I und Hünenberg I. *Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. Ing.* Vol. 35, Nr. 87.
- JORDI, H. A. (1955): Geologie der Umgebung von Yverdon. *Mat. Carte Géol. Suisse*, n° 99.
- KELLER, W. D., LITTLEFIELD, R. F. (1950): Inclusions in the quartz of igneous and metamorphic rocks. *Journ. Sedim. Petrol.* 20 (2).
- LAGOTALA, H. (1935): Les gîtes bitumineux de Dardagny. *Le Globe*, Genève.
- (1948): Les roches bitumineuses de Peissy. *Le Globe*, Genève.
- LEMCKE, K. (1959): Das Profil der Bohrung Chapelle I. *Bull. Ver. Schweizer. Petrol.-Geol. u. Ing.* 26, Nr. 70.
- BUCHI, U. P. & WIENER, G. (1968): Einige Ergebnisse der Erdölexploration auf die mittelländische Molasse der Zentralschweiz. *Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u.-Ing.*, Vol. 35, Nr. 87.
- MACKIE, W. (1899): The sands and sandstones of Eastern Moray. *Edinburgh Geol. Soc. Trans.*, 7, pp. 148-172.
- MICHEL, R. (1953): Les schistes cristallins des massifs du Grand Paradis et de Sezia-Lanzo (Alpes Franco-italiennes). *Sciences de la Terre*, T.1, n° 3, 4. Nancy.
- MICHEL, R. C. (1965): Les calcaires oligocènes de Grilly (Ain, France). *Arch. Sc. Genève*, vol. 18, fasc. 3.
- MILNER, H. (1951): *Sedimentary Petrography*. Ed. T. Murby, Londres.
- VON MOOS, A. (1935): Sedimentpetrographische Untersuchungen an Molassesandsteinen. *Sonderdr. aus Schw. Min. Petr. Mitt.*, Band XV.
- MUHEIM, F. (1934): Die subalpine Molasse im östlichen Vorarlberg. *Eclog. Geol. Helv.* 27.
- RIGASSI, D. (1957): Le Tertiaire de la région genevoise et savoisienne. *Bull. Ass. suisse Géol. et Ing. Pétrol.*, vol. 24, n° 66.
- TCHIMICHKIAN, G., REULET, J. & VATAN, A. (1958): Etude pétrographique des matériaux molassiques de quelques sondages profonds de Bresse. *Eclog. Geol. Helv.*, vol. 51, n° 3.
- TRUMPY, R. & BERSIER, A. (1954): Les éléments des conglomérats oligocènes du Mont Pélerin. *Eclog. Geol. Helv.*, vol. 47, n° 1.
- VATAN, A., ROUGE, P. E. & BOYER, F. (1957): Etudes sédimentologiques et pétrographiques dans le Tertiaire subalpin et jurassien et des régions limitrophes. *Rev. Inst. français Pétrole* 12, n° 4.
- VERNET, J. P. (1956): La géologie des environs de Morges. *Eclog. Geol. Helv.*, 49, 1.
- (1958a): Les minéraux lourds d'une série châtienne de la molasse du plateau suisse. *Bull. des Lab. de Géol., Min. et Géoph. et du Musée Géol. de l'Univ. de Lausanne*, n° 125.
- (1958b): Sédimentologie molassique et glaciaire. *Eclog. Geol. Helv.*, vol. 51, n° 3.
- (1964a): Pétrographie du sondage de Peissy. *Arch. Sc. phys. nat.*, 17, fasc. 1, Genève.
- (1964b): Pétrographie sédimentaire dans la molasse de la région d'Yverdon. *Bull. Lab. Géol. Min. et Géoph. et du Musée Géol. de l'Univ. Lausanne*, n° 149.
- VUAGNAT, M. (1944): Sur certains niveaux à porphyrites arborescentes de la molasse du plateau suisse. *Eclog. Geol. Helv.*, vol. 37, n° 2.
- WAGNER, A. (1962): Observations géologiques nouvelles sur la région du Vuache méridional et du Mont de Musiège (Haute Savoie). *Arch. Sc. phys. et nat.*, Genève, vol. 15, fasc. 2.
- (1966): Correlations by mineralogical methods in the Southern Niger Delta. *Proc. Second West Afr. Micropal. Coll. Ibadan June 18th-July 1st*. E. J. Brill. Leiden.
- & WELLHAUSER, F. (1966): Corrélations pétrographiques et stratigraphie de l'Oligocène dans l'est du bassin de Bellegarde-Seyssel. *C.R. Soc. phys.*, Genève, vol. 1, fasc. 2.

