

Zeitschrift:	Eclogae Geologicae Helvetiae
Herausgeber:	Schweizerische Geologische Gesellschaft
Band:	72 (1979)
Heft:	2
Artikel:	Sur le pouvoir réflecteur de la vitrinite dans quelques roches du Jura, de la Molasse et ces Nappes préalpines, helvétiques et penniques (Suisse occidentale et Haute-Savoie)
Autor:	Kübler, Bernard / Pittion, Jean-Luc / Héroux, Yvon
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-164841

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: 22.02.2026

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

Eclogae geol. Helv.	Vol. 72/2	Pages 347-373	6 figures dans le texte et 4 tableaux	Bâle, juillet 1979
---------------------	-----------	---------------	--	--------------------

Sur le pouvoir réflecteur de la vitrinite dans quelques roches du Jura, de la Molasse et des Nappes préalpines, helvétiques et penniques (Suisse occidentale et Haute-Savoie)

Par BERNARD KÜBLER¹⁾, JEAN-LUC PITTION²⁾, YVON HÉROUX³⁾
JEAN CHAROLLAIS⁴⁾ et MARC WEIDMANN⁵⁾

RÉSUMÉ

Exposé de la méthode de mesure du pouvoir réflecteur de la vitrinite (R_o). Limitation de la méthode, difficultés d'application et d'interprétation. Comparaison, grâce à R_o , entre les diverses zonéographies: rangs des charbons, zones potentielles à hydrocarbures, associations minérales.

Application à la Suisse occidentale et Haute-Savoie, du Jura aux Alpes. Présentation et discussion des mesures, portant sur environ 200 échantillons analysés.

ABSTRACT

The method of measuring the vitrinite reflectance (R_o) is described, together with the limitations of this method and the problems of application and interpretation. By the use of the vitrinite reflectance, comparison was made between different diagenetic-metamorphic zonations: coal rank, potential hydrocarbon zones, mineral associations.

About 200 samples were measured from the Jura, across the Molasse basin, to the Alps, in Western Switzerland and Haute-Savoie (France). The results are briefly discussed.

ZUSAMMENFASSUNG

Darstellung der Methode zum Messen des Reflexionsvermögens des Vitrinites (R_o). Grenzen der Methode, Schwierigkeiten in der Anwendung und der Interpretation. Vergleich der verschiedenen Zoneographien mit Hilfe von R_o : Entwicklung der Kohle, potentielle Zonen für Kohlenwasserstoffe, Mineralparagenesen.

Anwendung auf das Gebiet der Westschweiz und der Haute-Savoie, vom Jura bis zu den Alpen. Präsentation und Diskussion der Messungen, ausgeführt an ungefähr 200 analysierten Proben.

¹⁾ Institut de Géologie, 11, rue E.-Argand, 2000 Neuchâtel, Suisse.

²⁾ INRS-Pétrole, Québec, Canada; adresse actuelle: CFP 114 C. Galliéni, 33400 Talence, France.

³⁾ INRS-Pétrole, Ste Foy, Québec, G1V-4C7, P.Q., Canada.

⁴⁾ Laboratoire de Géologie, rue des Maraîchers 13, 1211 Genève 4, Suisse.

⁵⁾ Musée de Géologie, 1005 Lausanne, Suisse.

1. Introduction

Ces recherches ont été menées à l'INRS-Pétrole entre 1972 et 1976 dans le but premier de constituer une échelle de pétrographie et de réflectance de la matière organique, et ceci dans des sédiments assez jeunes (post-dévoiens) pour être sûr de l'existence de la vitrinite.

L'ensemble Jura - Molasse - Nappes préalpines, helvétiques et penniques pouvait se prêter à l'établissement d'une telle échelle impliquant diverses méthodes de la géochimie organique, dont on pourrait préciser les fidélités, les anomalies et les performances, lesquelles varient selon les lithologies et les stades de transformation atteints. Il était aussi question au départ de comparer à cette échelle de réflectance celle des associations minéralogiques et celle de la cristallinité de l'illite, si possible sur les mêmes échantillons ou séquences d'échantillons.

Diverses raisons d'ordre pratique ont fait que ce programme n'a pu être entièrement réalisé: l'échantillonnage est disparate (fig. 1) et très incomplet dans certaines unités tectoniques, bon nombre d'échantillons proviennent d'anciennes collections (surtout mines de charbon actuellement fermées) qui ne comprennent pas une séquence d'échantillons propres à la détermination des associations minérales et en même temps de la réflectance.

C'est pourquoi nos résultats ne sont déterminants, ni pour la zonéographie des unités tectoniques, ni pour la comparaison des échelles organiques et minérales. Nous les présentons, cependant, car ils permettent tout de même, dans l'état actuel, d'esquisser un premier cadre général et de situer les problèmes à résoudre.

2. Méthodologie

2.1 *Le pouvoir réflecteur de la vitrinite, terme de comparaison entre la zonéographie de la géologie pétrolière et la zonéographie du charbon*

La matière organique (= MO) est, de tous les corps sédimentés, le plus sensible aux transformations de la diagenèse. L'étude de la MO dans ses différentes phases (adsorbée, occluse, thermovaporisable, soluble et insoluble) a permis la constitution d'une zonéographie de la diagenèse dont les divers stades sont connus sous les termes suivants (KÜBLER 1979):

- immature
- fenêtre supérieure à gaz sec
- fenêtre supérieure à gaz humide
- fenêtre à huile
- fenêtre inférieure à gaz humide
- fenêtre inférieure à gaz sec
- supermature

L'ensemble des transformations de la MO, au cours de la diagenèse, se traduit par une réduction, unique dans les Sciences de la Terre, de la palette des molécules organiques à un seul corps, le carbone élémentaire sous ses diverses formes: carbone dispersé, graphitoïde ou véritable graphite. Cette zonéographie a été, dans ses débuts, rattachée à l'enfoncissement, donc au gradient géothermique. Cependant,

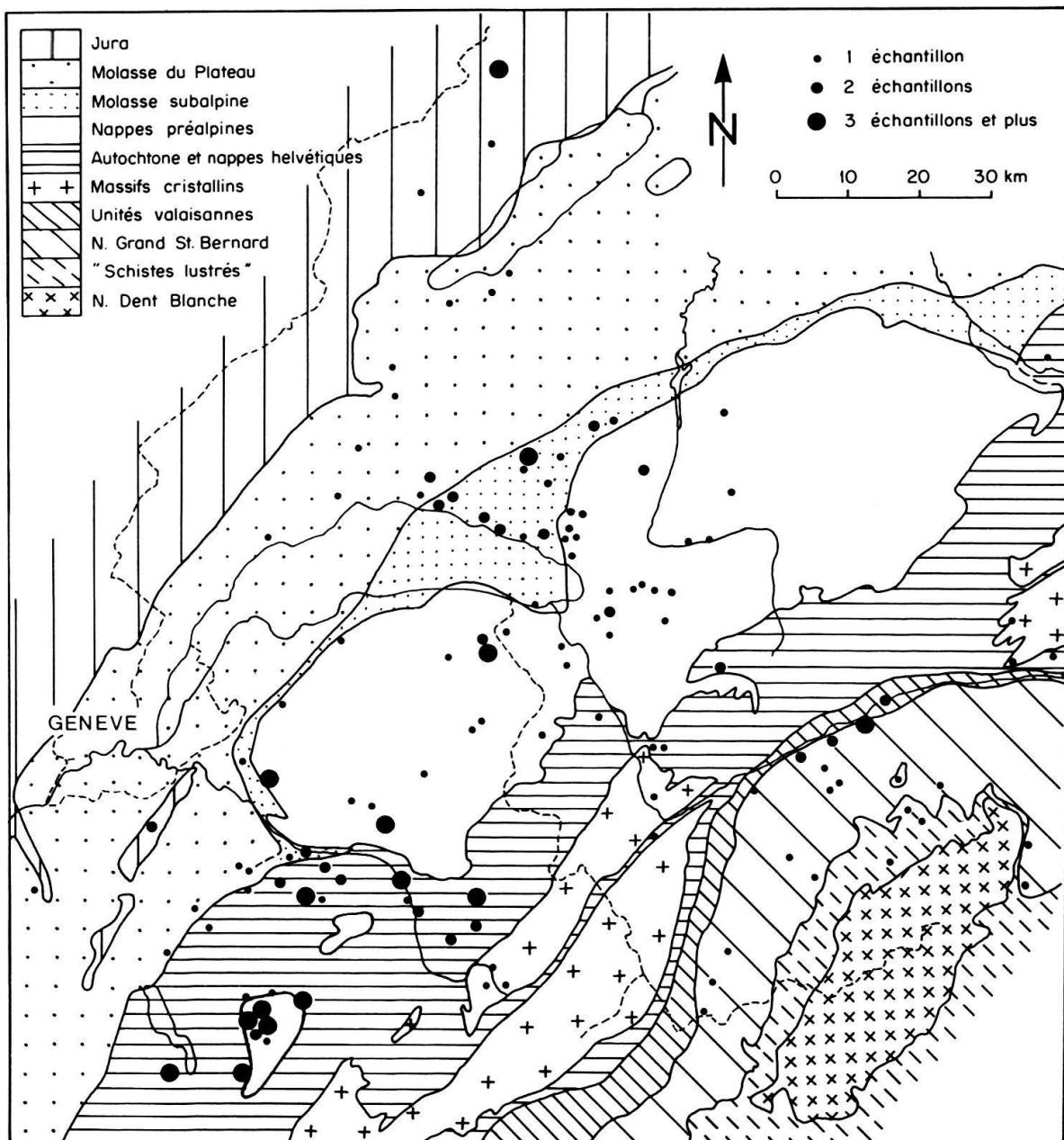


Fig. 1. Situation des échantillons sur la carte tectonique (d'après la Carte tectonique de la Suisse au 1:500000, 1972, modifié et simplifié).

cette comparaison des critères organiques à des profondeurs et à des températures, n'est valable que si les courbes d'enfouissement ou l'histoire de la géothermie sont bien connues, ce qui devient difficile dans les séries anciennes, tout comme dans celles qui ont subi une orogenèse. Un véritable besoin est alors né, celui de trouver si possible un corps fonctionnant comme un thermomètre à maximum.

Les palynologues avaient remarqué un changement de couleur des spores et des pollens avec l'augmentation de l'enfouissement, du jaune clair jusqu'à un noir opaque (KUYL et al. 1955; COMBAZ 1964; CORREIA 1969; STAPLIN 1969). Ils en ont même proposé la mesure de l'absorption en lumière transmise (GUTJAHR 1960, 1966). D'un autre côté, les géologues du charbon avaient étudié depuis longtemps

les macéraux en lumière réfléchie et avaient proposé de comparer les pouvoirs réflecteurs des divers types de substance à la zonéographie déjà existante de la carbonisation (rangs des charbons) (M. & R. TEICHMÜLLER 1950, 1958). La vitrinite s'est révélée être le meilleur macéral et son pouvoir de réflexion en lumière réfléchie ($= R_o$) a été corrélé avec l'analyse chimique des charbons: courbes de KÖTTER

Tableau 1: *Comparaison entre les rangs des charbons et la réflectance de la vitrinite.*

① RANG DES CHARBONS			④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫ GENÈSE POTENTIELLE HYDROCARBURES	
FRANCE	ALLEMAGNE	USA	R ₀ %	VOL.M.%	D.A.F.	CARBON	D.A.F.	BED MOISTURE	HEAT VALUE Btu/lb (Kcal/kg)	TAI	EC	DOM
TOURBE	TORF	PEAT	-0,2	-68						1	1	
				64								
TENDRE	WEICH-	LIGNITE	-0,3	-60				75			2	
				56					7200 (4000)			IMMATURE
MAT	MATT-	BRAUNKOHLE	-0,4	-52								
			0,4	71				35		2		
BRILLANT	GLANZ-	BITUMINOUS	0,5	48					9900 (5500)			
			0,6	44						2,50		
FLAMBANT	FLAMM-		0,7	77				25			3	
FLAMBANT	GASFLAMM-		0,8	40					12600 (7000)			
à GAZ			0,9	36							58	
A GAZ	GAS-	STEINKOHLE	1,0	32							62	
			1,1	28					15500 (8650)			HUILE
GRAS	FETT-	MEDIUM VOLATILE BITUMINOUS	1,2	24							69	
			1,3	20								
DEMI-GRAS	ESS-	LOW VOLATILE BITUMINOUS	1,4	16							78	
MAIGRE	MAGER-	SEMI-ANTHRACITE	1,5	12								
ANTHRACITE	ANTHRAZIT	ANTHRACITE	1,6	8					15500 (8650)			CONDENSATS
META-ANTHRACITE	META-ANTHRAZIT	META-ANTHR.	1,7	4								
			1,8									
			1,9									
			2,0									
			2,1									
			2,2									
			2,3									
			2,4									
			2,5									
			2,6									
			2,7									
			2,8									
			2,9									
			3,0									
			3,1									
			3,2									
			3,3									
			3,4									
			3,5									
			3,6									
			3,7									
			3,8									
			3,9									
			4,0									

Colonnes 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8: d'après HOOD & GUTJAHR 1972, M. TEICHMÜLLER 1974, M. & R. TEICHMÜLLER 1978.

Colonnes 1, 9, 10 et 12: d'après RAYNAUD & ROBERT 1976, STAPLIN 1969, CORREIA 1969.

Colonne 11: communiquée aimablement par Shell Int. Petr. Mij. - DOM = degree of organic metamorphism.

Colonne 4: pouvoir réflecteur moyen dans l'huile, en général, moyenne arithmétique, en pour-cent de lumière réfléchie.

Colonne 5: teneur en matières volatiles sur pur sec en pour-cent.

Colonne 6: teneur en carbone élémentaire sur vitrain pur sec en pour-cent.

Colonne 7: humidité en pour-cent.

Colonne 9: indice d'altération thermique selon STAPLIN 1969.

Colonne 10: état de conservation selon CORREIA 1969.

(1960), de M. TEICHMÜLLER (1971), d'ALPERN et al. (1964, 1972). Il a fallu prouver, par la suite, que le R_o de la matière organique dispersée dans les sédiments différait peu du R_o de la matière organique rassemblée dans les filons charbonniers; la comparaison des rangs du charbon et des fenêtres potentielles des hydrocarbures a pu ainsi être assurée entre les deux échelles zonéographiques (voir tabl. 1).

C'est donc par la conjugaison des travaux des géochimistes organiciens, des palynologues et des pétrographes de la matière organique que l'importance du R_o de la vitrinite a pu être démontrée et appliquée aux sédiments aussi bien en surface qu'en subsurface.

L'apport de la méthode est considérable. En effet, on ne connaît pas de cas de rétromorphose; l'augmentation de la réflectance (par départ d' H_2O , de CO_2 , de CO , de CH_4 et d'autres HC à poids moléculaire faible) est irréversible. Par ailleurs, et contrairement aux corps étudiés dans la géochimie organique, la vitrinite ne migre pas, sauf celle qui est transportée par les pétroles, comme le montre le travail de ROBERT (1974). C'est donc un excellent paléothermomètre à maximum. L'accroissement de son R_o est favorablement étagé avec l'augmentation de la température depuis la diagenèse faible jusqu'au métamorphisme de type Schistes verts au moins. C'est la raison pour laquelle son application est parfaitement adaptée à l'étude des ceintures de métamorphisme naissant à faible, dans les orogènes.

2.2 *L'orogenèse et le degré de carbonisation de la vitrinite*

L'étude des degrés de carbonisation, en relation avec les phases de déformations, a été entreprise en 1950 déjà par M. & R. TEICHMÜLLER, qui ont pu ainsi déceler des traces de mouvements préasturiens dans le Carbonifère de la Ruhr. Par la suite, grâce à la mesure quantitative de la réflectance de la vitrinite, on a comparé le degré de maturation de la MO, le rang des charbons et l'histoire thermique dans le graben du Haut-Rhin allemand (M. TEICHMÜLLER 1970), dans la Molasse de Bavière (M. & R. TEICHMÜLLER 1975). Les anciennes études du degré de houillification dans le Carbonifère allemand (R. TEICHMÜLLER 1973) ont été reprises et étendues à l'ensemble du Paléozoïque en Europe centrale (BARTENSTEIN & R. TEICHMÜLLER 1974). En France, les faisceaux charbonniers de l'E et du N étaient examinés par ALPERN (1969a et b; ALPERN et al. 1972).

L'ensemble de ces travaux a conduit M. & R. TEICHMÜLLER à des conclusions fort intéressantes pour l'histoire thermique des orogènes. Par exemple, dans la Ruhr, la houillification était terminée avant la phase asturienne de plissement (Westphalien D - Stéphanien). Elle avait duré 12 millions d'années avec un gradient géothermique qui, par comparaison avec celui du Fossé haut-rhénan, devait atteindre 50-70°/km. Grâce à la réflectométrie de la vitrinite, ROBERT (1976) retrouve des gradients élevés dans le Fossé de la mer Rouge, dans la marge océanique d'Afrique occidentale et dans le Bassin de Lacq; synthétisant les travaux antérieurs, il reprend et complète le schéma d'évolution d'un orogène: distension - subsidence - phase thermique - remontée - compression. Celui-ci serait en tout cas valable pour le système hercynien allemand.

Au contraire, au front nord-alpin de Bavière, M. & R. TEICHMÜLLER (1975) mettent en évidence un gradient géothermique faible qui se retrouve jusque dans le

Flysch et l'Helvétique et qui pourrait être expliqué par un phénomène de subduction.

L'ensemble de ces faits nous a conduit à séparer nos valeurs du Carbonifère du reste des données.

2.3 La méthode et ses limites

La technique d'isolation, d'enrichissement, de montage, de polissage et de mesure est, à peu de chose près, celle décrite par RAYNAUD & ROBERT (1976). Que la MO soit enrichie par attaque acide ou prise directement à partir des charbons, elle a été mesurée autant que possible sur 30 à 50 particules de vitrinite; des histogrammes ont été dressés; la moyenne et l'écart-type simple ont été calculés. Les valeurs des R_o , reportées dans le tableau 4 sont des pourcentages de lumière réfléchie dans l'huile. Le R_o maximum (analyseur 45° et rotation 360° de la platine) a été mesuré pour des $R_o > 1,5\%$ où l'anisotropie devient notable.

Malgré les tentatives d'uniformisation de nomenclature des organolites (ou minéraux «organiques des particules charbonneuses») par ALPERN (1970) et ALPERN et al. (1972), il existe encore une certaine confusion dans les termes. La vitrinite groupe les macéraux qui proviennent de l'amorphisation de la MO des tourbes et qui sont considérés comme le «ciment» des charbons. La liptinite et l'exinite sont dérivées de l'ensemble des cutines ou exines des spores et pollens. L'inertinite n'augmente que peu son R_o avec la température, elle reste presque «inerte». Par souci de simplification, l'huminite, la gélinite et la liptinite n'ont pas été distinguées et elles ont été rattachées à la vitrinite, collinite et exinite (tabl. 2).

Les macéraux ou organolites sont donc distingués par leur forme, leur réflectance, leur fluorescence induite par un faisceau violet UV. Cette distinction peut être difficile quand les particules sont petites, impossible quand elles sont trop petites. Par ailleurs, comme le remarquent TISSOT & WELTE (1978) dans certains cas, il existe une séquence morphologique et réflectométrique continue entre le groupe de la vitrinite et celui de l'inertinite (semi-fusinite, fusinite, etc.; cf. éch. CHII, Nappe de Morcles).

Tableau 2: *Nomenclature simplifiée des différents macéraux de la matière organique fossile.*

Ro % ↓	Groupe de la vitrinite		Groupe des cutines-exines : spores, pollens	
	HUMINITE ⁽²⁾	GÉLINITE ⁽²⁾	LIPTINITIE	LIPTINITIE ⁽²⁾
0,5 %	= = = =	= = = =	= = = =	= = = =
0,6 %	VITRINITE *	COLLINITIE * TELINITIE *	LIPTINITIE	EXINITE *

* = Termes utilisés dans ce travail.

⁽¹⁾ = Terme d'usage courant dans la littérature de langue allemande.

⁽²⁾ = Termes d'usage courant dans la littérature de langue française.

La resédimentation de la vitrinite est bien connue, des exemples frappants ont été présentés par RAYNAUD & ROBERT (1976) et par ALPERN & CHEYMOL (1978). Cela se traduit, en général, par un éclatement des histogrammes et parfois, par un bi-modalisme. Dans certains cas, toute la vitrinite est resédimentée (sédiments récents de la mer de Norvège, COMBAZ et al. 1977).

L'analyse séquentielle permet alors de lever ces difficultés. A titre d'exemple, on se réfèrera aux «charbons feuilletés du Locle» dont une des populations provient d'anthracite du Carbonifère, resédimentée (éch. 11353, Jura).

La réflectance peut dépendre de la lithologie. Selon TIMOFEEV & BOGALYUBOVA (in BOSTIK et al. 1975), le R_o en un même lieu, peut passer de 0,80% dans les grès à plus de 1% dans le charbon.

Les auteurs voient donc une progression plus ou moins continue du R_o dans la séquence: grès - siltstones - argilites - charbon. Cette progression est la même dans les faibles valeurs ($R_o = 0,20$ à 0,50%) des sédiments meubles: sables - sablons - argiles - tourbes. Malheureusement, selon les études minutieuses de BOSTIK et al. (1975), la dispersion des valeurs dans chaque lithologie empêche de retrouver une loi permettant de tout comparer à une seule référence. Par rapport au R_o des charbons, choisis comme base de référence, la différence du pouvoir réflecteur peut être de +2 à -31% pour les grès, de +2 à -17% pour les calcaires et de -5 à -18% pour les shales. Il s'agit ici de pourcentages relatifs. Ces différences sont valables pour une gamme de réflectance s'étageant de 0,40 à 0,80% R_o .

Pour des R_o plus élevées, BLANQUART & MÉRIAUX (1975) citent les valeurs suivantes dans le Houiller du Nord et du Pas-de-Calais: 1,4% pour les shales, 1,5% pour les grès, 1,9% pour les charbons.

Dans l'interprétation des valeurs portées sur le tableau 4 on tiendra donc compte des lithologies.

En outre, la réflectance dépend de l'épaisseur du lit charbonneux: le R_o max. passe de 1% pour des filets d'épaisseur inférieure à 0,02 mm à 1,6% pour des veines de 0,32 mm d'épaisseur environ, alors que les filons présentent une réflectance de 1,9%. Ces différences sont considérables et ne sauraient être mises au crédit de la lithologie; elles posent un problème fondamental: quels sont les rôles respectifs de la température et de la pression (hydrostatique ou dirigée) dans l'acquisition du rang de la vitrinite? De l'avis général (voir, par exemple, l'étude minutieuse de TEICHMÜLLER & JUCH 1978), la pression dirigée ou hydrostatique ne joue qu'un très faible rôle sur l'acquisition du rang des charbons et sur la réflectance. Seul, le facteur thermo-temporel est retenu. Il n'y a donc pas de dynamométamorphisme pour les transformations de la MO. Par contre (OBERLIN et al. 1975), les effets de la pression dirigée, c'est-à-dire les cisaillements, sont nécessaires à la transformation des graphitoïdes désordonnés en graphite. Notons aussi que les ellipsoïdes des indices des organolites peuvent s'orienter parallèlement aux plans de schistosité (RAGOT in BLANQUART & MÉRIAUX 1975).

D'après ALPERN & MAUME (1969), l'oxydation naturelle et artificielle n'influence pas le R_o des charbons de faible rang de la Sarre par exemple. Par contre, pour des charbons de rang plus élevé, l'effet de l'oxydation météorique se traduit par un aspect terne et pulvérulent, une résistance mécanique plus faible, par une fissuration qui se propage dans des zones à R_o plus faible que les centres des grains, par des

teneurs en matières volatiles sur pur sec plus élevées et par un R_o moyen légèrement plus faible:

- R_o moyen d'un charbon oxydé de surface: $1,94 \pm 0,18\%$ (150 mesures)
- R_o moyen du même charbon sans trace d'oxydation: $2,09 \pm 0,09\%$ (200 mesures)

Cette différence est faible par rapport à tous les autres facteurs qui interviennent dans la validité de R_o , si bien que l'on peut considérer que l'altération superficielle ne joue pas de rôle notable.

En résumé, nous retiendrons donc que les principales limitations de la méthode sont:

- la rareté de la vitrinite,
- les difficultés d'identification quand les particules sont trop petites ou quand elles appartiennent à la série vitrinite-inertinite,
- les difficultés de polissage en présence de certains bitumes,
- lors de l'analyse d'échantillons isolés, l'interprétation est compliquée par l'effet de lithologie, par l'épaisseur des passées (filet, veinule, veine, filon) et, dans certains cas, par les remaniements.

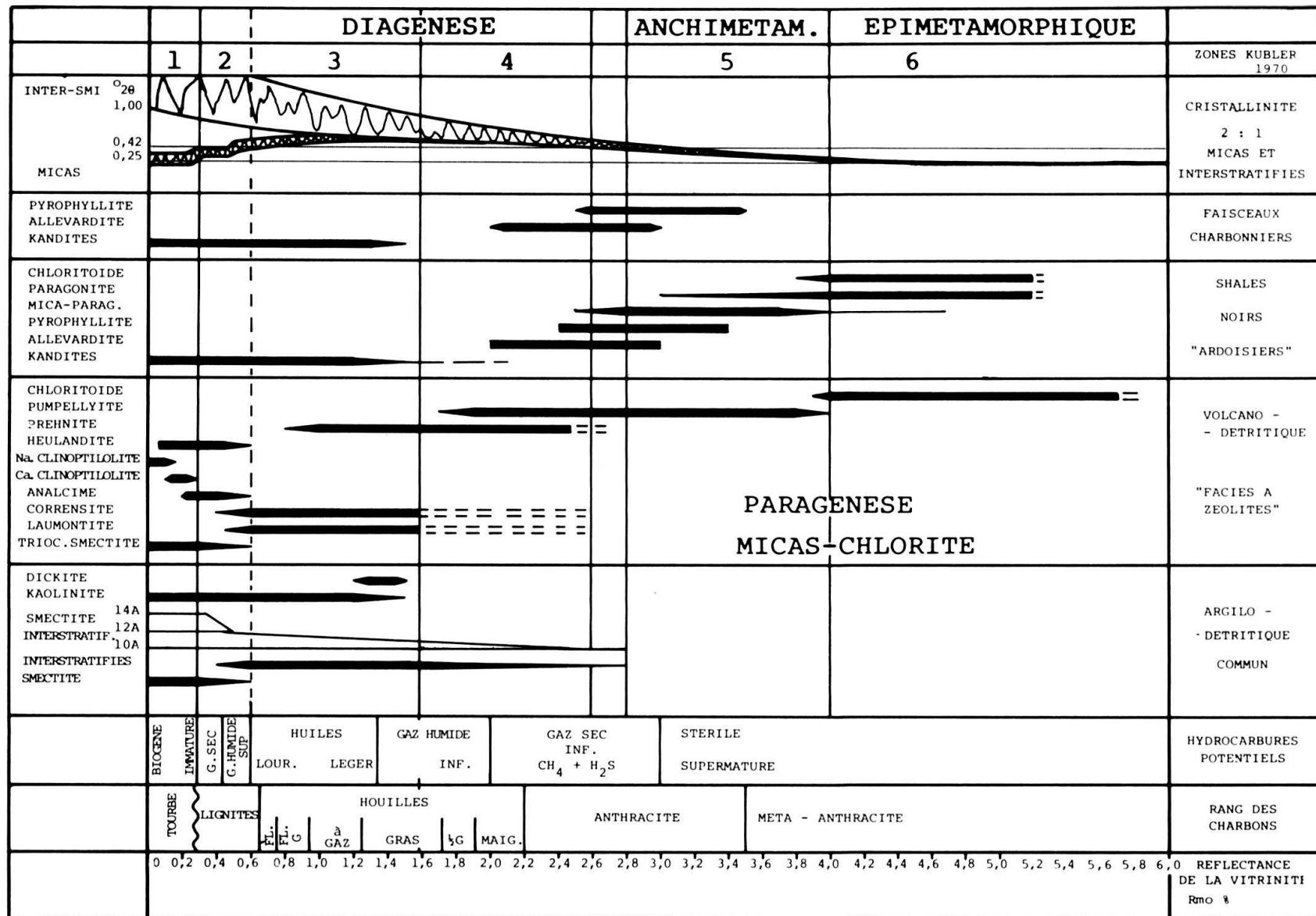
2.4 Comparaison des zonéographies

L'un de nous a proposé de distinguer, depuis la diagenèse tout-à-fait précoce jusqu'au faciès Schistes verts, quatre zones diagénétiques et la zone anchimétamorphique. Elles étaient appelées alors, zones supérieure, intermédiaire, moyenne et profonde (KÜBLER 1970). Depuis, le nombre d'exemples étudiés a été multiplié et, surtout, une comparaison avec les zonéographies de la matière organique a pu être réalisée grâce aux recherches intégrées menées notamment à l'INRS-Pétrole. Il faut remarquer qu'aucune zonéographie n'est suffisante à elle seule pour décrire les divers stades atteints par des sédiments de nature aussi différente que des sables, grès ou calcarénites, shales, argiles ou calcaires micritiques, et ceci dans des corps sédimentaires aussi variés que des dépôts continentaux, marins côtiers ou profonds. La zonéographie résumée ci-dessous (tabl. 3) est donc sommaire; elle doit tolérer des exceptions que nous négligerons ici.

Zone 1, ou zone stationnaire. C'est par excellence la zone de compaction, c'est-à-dire d'expulsion de l'eau de porosité ou eau gravifique. Il n'y a que peu à très peu de changements minéralogiques (exception: les roches carbonatées). Les smectites sont conservées. La progression de la reflectance est souvent nulle. Les cristallinités sont héritées du matériel détritique issu de l'arrière-pays. Cette zone minéralogique correspond à la zone stérile supérieure ou immature des géochimistes organiciens.

Zone 2. Elle est caractérisée par la disparition progressive des smectites, par l'augmentation des interstratifiés irréguliers qui en arrivent à masquer les micas détritiques. C'est dans cette zone que les feldspaths potassiques détritiques ont tendance à s'altérer, et à libérer ainsi leur potassium. C'est probablement dans cette zone aussi que disparaissent attapulgite et sépiolite. La cristallinité du complexe micas-interstratifiés devient de plus en plus mauvaise.

Tableau 3: *Comparaison entre les associations minérales, les zones potentielles à hydrocarbures et la réflectance de la vitrinite.*
 (D'après document INRS-Pétrole, Québec.)



Pouvoir réflecteur de la vitrinite

La réflectance progresse et passe de 0,35 à 0,45 ou 0,50%. Cette zone correspond à la fin de la fenêtre à gaz sec supérieure et comprend la fenêtre à gaz humide supérieure (KÜBLER 1979).

Zone 3. C'est la zone du maximum de développement des interstratifiés irréguliers d'une part, et d'autre part de la conservation des kandites avec passage, chaque fois que la porosité le permet, de la kaolinite à la dickite. Dans cette zone apparaissent les micas néoformés mal cristallisés, en faciès de cheveux ou, avec des températures plus fortes, en faciès de lattes. Elle correspond en tous points à la fenêtre à huile des auteurs et est comprise probablement entre des réflectances de 0,6 à 1,35 ou même 1,50%. Dans les faciès où l'activité du magnésium dépasse celle du potassium, il est possible de rencontrer dans cette zone des interstratifiés réguliers tels que la corrensite; si le déficit en potassium par rapport au sodium devient trop important, on peut rencontrer d'autres interstratifiés tels que l'allévardite, mais probablement pour des réflectances plus élevées. La cristallinité maximale du complexe micas détritiques - interstratifiés a tendance à diminuer dans cette zone, sauf dans les faciès carbonatés.

Zone 4. Cette zone est caractérisée par la réduction de la palette des minéraux argileux à deux seules espèces: micas, chlorite. Les interstratifiés irréguliers et réguliers ont tendance à se déstabiliser, à diminuer et même à disparaître. Les feuillets gonflants sont de plus en plus bloqués par le potassium, le magnésium ou les trivalents tels que l'aluminium ou le fer. Cette zone correspond à la fenêtre à gaz sec et peut-être à la fin de la fenêtre à gaz humide inférieure. Elle s'étend en réflectance de 1,35%, éventuellement 1,50 à 2,6 ou 2,8%.

Zone 5 ou zone anchimétamorphique. Cette zone, prévue par VON HARRASSOWITZ (1927), a été redéfinie d'après la cristallinité de l'illite-micas et d'après les associations minéralogiques par KÜBLER (1964, 1967a, 1968, 1970).

Grâce aux travaux récents de l'INRS-Pétrole, les limites de la zone anchimétamorphique proposées par les associations minéralogiques ont pu être confrontées statistiquement avec le R_o de la vitrinite et celui des pyrobitumes asphaltiques. Il atteint 2,6 à 2,8% au sommet et dépasse 4% à la base.

Zone 6. Elle correspond à la zone des Schistes verts des auteurs et n'est mentionnée ici que pour mémoire.

3. Présentation des résultats

La figure 1 donne la provenance approximative des échantillons analysés; on trouvera davantage de détails dans le tableau 4 regroupant tous les échantillons.

Une présentation plus synthétique a été tentée dans les figures 3 à 6, sous forme de «coupes tectoniques» ultra-schématiques illustrant une transversale et ses abords. On y a reporté, sous forme de moyennes, les résultats des mesures dans chaque unité tectonique ou portion d'unité. Ce procédé conduit évidemment à une schématisation parfois excessive, car le calcul d'une moyenne peut effacer des différences régionales significatives et, d'autre part, ne rend pas compte de la dispersion géographique des

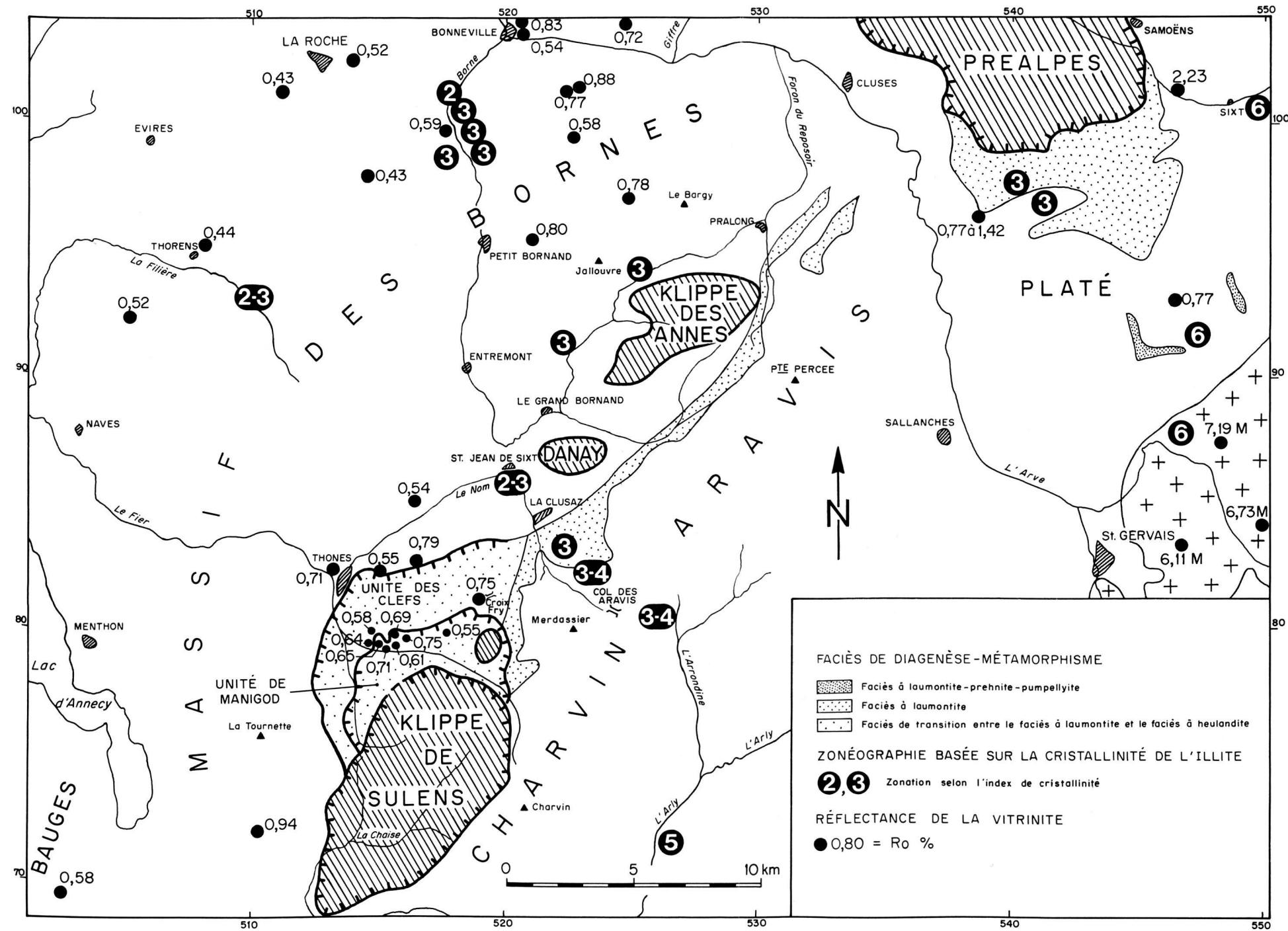


Fig. 2. Carte des faciès de diagenèse-métamorphisme, dans la partie méridionale de la Haute-Savoie
(associations minéralogiques d'après les travaux de MARTINI, SAWATZKI et VUAGNAT; cristallinités de l'illite d'après KÜBLER, inédit).

échantillons prélevés. Il importe donc de toujours confronter les moyennes portées sur les figures avec le détail des mesures qui est donné dans le tableau 4.

Les figures 3 à 6 soulignent en outre le côté disparate et préliminaire de nos résultats: certaines unités tectoniques sont bien «traitées», d'autres n'ont fourni qu'une ou deux mesures, d'autres encore pas une seule!

3.1 Transversale de la rive gauche de l'Arve (fig. 2 et 3)

3.1.1 Salève, plateau molassique et chaînes subalpines

Sur rive droite de l'Arve, l'étude de la réflectométrie de la vitrinite indique un métamorphisme croissant du NW vers le SE; en effet, au Salève, les charbons du Purbeckien ont un pouvoir réflecteur de 0,32% alors que la vitrinite extraite de formations crétacées et tertiaires dans les chaînes subalpines a une valeur moyenne de 0,73%. Cette augmentation du métamorphisme en direction des massifs cristallins externes semble confirmée par la cristallinité de l'illite: zone 2 au NW, zone 5 au SE. Ces derniers résultats doivent être considérés avec prudence, car les illites analysées ne proviennent pas toujours du même horizon stratigraphique.

En quelques points, nous avons prélevé plusieurs échantillons dans le même affleurement; dans certains cas, les résultats sont parfaitement homogènes et sont donc fiables, comme dans l'ancienne mine de charbon du Jallandre, au-dessus du Petit-Bornand (CHAROLLAIS 1963), où les 5 échantillons prélevés (2495; 3962 à

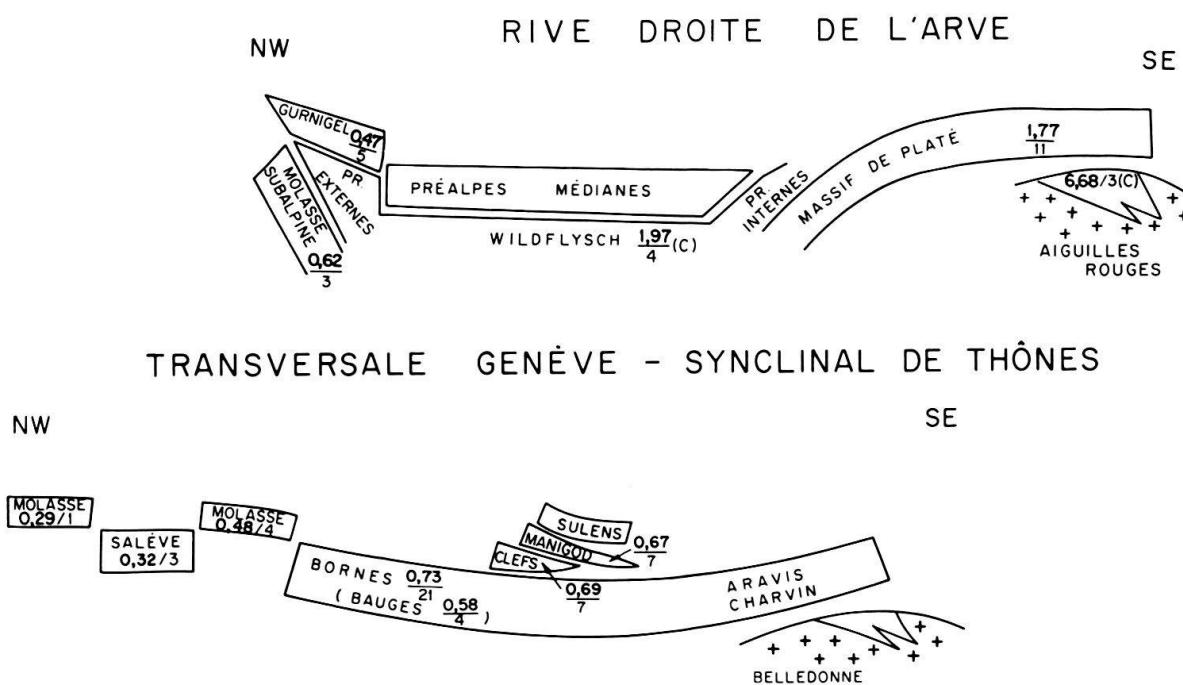


Fig. 3. Coupe fortement schématisée présentant les résultats des mesures dans les diverses unités tectoniques de la rive droite et de la rive gauche de l'Arve (transversale Genève-synclinal de Thônes; sur cette transversale, l'unité de Nantbellet n'est pas mentionnée pour plus de clarté).

Chiffres gras = moyenne arithmétique des mesures, $R_{\text{o}}\%$. - *Chiffres maigres* = nombre d'échantillons étudiés. - (C) = la mesure a été faite sur une roche d'âge carbonifère, soit en place, soit remaniée dans une formation plus jeune.

3965) proviennent du même filon. Par contre, dans d'autres cas, les variations de la valeur du pouvoir réflecteur sont importantes; ainsi, les 3 échantillons qui proviennent de l'ancienne mine de charbon d'Entrevernes (7996, 8007, 8372), présentent des R_o qui oscillent entre 0,47 et 0,71%; ces variations pourraient être mises au compte de l'effet d'épaisseur des filons échantillonnés.

D'autre part, les Grès de Bonneville et la Molasse du plateau d'Evires présentent des R_o nettement plus faibles que ceux qui caractérisent ces deux formations dans la région de Bonneville, c'est-à-dire sous le plan de charriage des Préalpes.

3.1.2 *Synclinal de Thônes*

Dans le synclinal de Thônes, nous n'avons examiné que les flyschs de deux unités allochtones définies par ROSSET et al. (1976) dans la klippe de Sulens: unité des Clefs et unité de Manigod (ou des Grès intermédiaires).

L'unité des Clefs composée de «grès de Taveyanne typiques» renferme une vitrinite dont le pouvoir réflecteur (0,69%) est identique à celui (0,67%) de l'unité de Manigod composée de «grès intermédiaires» (SAWATZKI 1975).

Trois remarques découlent de ces résultats:

- L'homogénéité des valeurs du R_o dans les flyschs des unités des Clefs et de Manigod est très nette.
- Les R_o mesurés montrent que ces «grès» ne se situent pas dans la zone anchimétamorphique (voir tabl. 2).
- Le gradient de «métamorphisme» orienté SW-NE observé par MARTINI & VUAGNAT (1965) et par SAWATZKI (1975) ne peut être confirmé ou infirmé par les mesures de R_o (échantillonnage insuffisant).

3.2 *Transversale de la rive droite de l'Arve (fig. 2 et 3)*

Dans le massif de Platé, les transformations sont plus accentuées que dans les chaînes subalpines septentrionales et que dans les unités allochtones du synclinal de

Légende du tableau 4

- Lorsque le numéro de l'échantillon est remplacé par un *, l'analyse n'a pas été faite par nous; voir la référence bibliographique.
- Les coordonnées sont mesurées sur le réseau de la Carte nationale de la Suisse; elles sont parfois peu précises, pour les échantillons de mines notamment, et sont suivies d'un *.
- Les attributions chronostratigraphiques sont parfois hypothétiques et sujettes à changement.
- R_o = pouvoir réflecteur; $M = R_o$ maximum; * = analyse impossible, soit parce qu'il y a trop peu de matière organique, soit parce qu'il n'a pas été possible de préparer une section polie, soit enfin parce que les particules de MO sont trop petites pour être mesurées.
- *Ec. type* = écart-type; *Nb. mes.* = nombre de mesures; *Ten.* = teneur.
- *MO* = matière organique; *K* = séparation MO par attaque acide.
- *Vit.* = vitrinite; *Exi.* = exinite; *In.* = inertinite; *T.* = telinite; *C.* = collinite; *Pyr.* = pyrite.
- *D* = matière organique dispersée; *ND* = matière organique rassemblée (charbon).

Tableau 4: *Liste et provenance des échantillons; détails analytiques.*

QUATERNNAIRE

No	Localisation	Coordonnées	Lithostratigraphie	Attribution chronostrat.	Lithologie	% Ro. Vit.	Ec. type mes.	Nb. mes.	Ten. Mo %	Pétrographie organique	Mo
8011	Sonnaz (Savoie)	481.0/53.0*	Alluvion ancienne	Pléistocène	Lignite	0,16	0,02	30	<5K	100C	ND

No	Localisation	Coordonnées	Lithostratigraphie	Attribution chronostrat.	Lithologie	Pétrographie organique			Mo
						% R. Vit.	Ec. type	Nb. mes.	
1985	Sallève (Hte-Savoie)	502.1/110.3	Purbeckien	Berrissien	Charbon lité	0,40	0,04	50	90C
5731	"	"	"	"	"	0,25	0,03	50	100T
6015	"	"	"	"	"	0,31	0,07	50	95T
3978	Onbagnoux (Hte-Savoie)	472.0/94.0	Urgonien	Kimmeridgien	Calcaire asphaltique			5	P. R.
3979	La presta (NE)	540.7/190.0	Schiffsdst.	Aptien	"				
11366	Neue Welt (BL)	612.9/262.9	Oehningien sup.	Plante	Keuper	0,63	0,02	30	<5K
"	"	"	"	Keuper	"	0,69	0,02	30	90C
11367	Le Locle (NE)	"	Tortonien	Grès charbonneux	"	0,69	0,06	30	93C
11347a	"	"	"	Lignite noir	"	0,23	0,04	36	60T
11347b	"	"	"	Lignite brun	"	0,18	0,06	41	95
11353	"	"	"	Lignite feuilleté	"	0,32	0,03	30	100T
11371	Brot Dessous (NE)	547.2/200.6	Dogger	Marnocalcaire charbonneux	"				P. R.

- Mélange d'une population Vitrinite ($R_o = 0,32$) avec un peu d'exinite et d'une population Anthracite ($R_o > 2,5$).

MOI ASSF DII PI ATFAII

No	Localisation	Coordonnées	Lithostratigraphie	Attribution chronostrat.	Lithologie	% Ro. vit.	Ec. type	Nb. mes.	Ten. MO %	Pétrographie organique	% Pyr.
3983	Frenay (Ain)	485°/0°/97°-8	Mulasse marine sup.	Burdigalien	Tronc flotté	0,29	0,02	50	100	85C	15
7984	Thorens (Hte-Savoie)	508°/95°.2	Mulasse rouge	Charbon	Charbon	0,44	0,05	50	97	83T	ND
7983	La Roche (Hte-Savoie)	511°/101°.0	Gres de Bonneville	Chattien	Rupéï. (UMM)	0,43	0,05	30	95C	5K	ND
7986	"	"	"	"	Gres à plantes	0,52	0,04	30	<5K	5	D
7985	Aviernoz (Hte-Savoie)	514°/102°.4	F. de l'Argollet	"	Marnes charbonneuses	0,52	0,16	41	10	90C	
8116	Bavos (VD)	505°/192°.3	Marnes barriolées	Chattien	Grès charbonneux	0,34	0,05	30	100T	10	
8137	Les Arissoules (VD)	533°/210°.4	"	Aquitien	Marne charbonneuse	0,43	0,03	30	<5K	98T	2
		549°/3183°.2	"	"	Tronc flotté	0,34	0,04	30	100	100C	
8138	La Mentue (VD)	545°/6°/180°.8	Gres de Gounoëns	Chattien	Branche flottée	0,41	0,02	30	100	100C	
3984	Goumoëns le Jux (VD)	534°/7°/168°.7	"	"	Tronc flotté	0,39	0,03	30	98T	98C	2
8139	Vennes AR N°	539°/6°/154°.8		"	"	0,39	0,08	30	90	98T	2
8140	Les Croisettes (VD)	540°/5°/155°.3		"	"	0,45	0,04	50	100	98T	2
8371	Lausanne (VD)	538°/6°/152°.5		"	"	0,20	0,04	30	95	100T	
8591	Colloire (VD)	528°/5°/159°.6*		Chattien	"	*	*				
8592	La Morges (VD)	525°/7°/153°.7	Marnes-Grès gypse	Aquitien	"	0,42	0,03	50	100	100T	
8594	Courmy (VD)	543°/0°/179°.8*		Chattien	"	*	*				
8595	Bougy-Villars (VD)	515°/0°/148°.2	Marnes barriolées	"	"						

Tableau 4: Liste et provenance des échantillons; détails analytiques (suite).

MOLASSE SUBALPINE

No	Localisation	Coordonnées	Lithostratigraphie	Attribution chronostrat.	Lithologie	% R _e Vit.	Ec. type	Nb. mes.	Ten. MO %	Pétrographie organique	MO
8000	Montauban (Hte-Savoie)	513.8/119.4	Molasse à plantes	"Châtien"	Grès à plantes	0,49	0,08	31	40	97C %Vit. <25	3
8002	Bonneville (Hte-Savoie)	520.5/103.5	Grès de Bonneville	Rupélien	"	0,54	0,05	32	70C %Vit. <25	2	28
8154	"	520.7/103.8	"	"	"	0,83	0,09	30	25	98C %Vit. <25	2
3981	Mine de Belmont (VD)	542.5/152.8*		"Châtien"	Charbon	0,33	0,04	50	90	85C %Vit. <25	4
8142	Mine de Rochette (VD)	541.5/151.6*	Petit Filon	"	"	0,28	0,04	30	90	85C %Vit. <25	1
8143	Tunnel de Belmont (VD)	542.0/152.5	"	"	"	0,59	0,06	30	95	85C %Vit. <25	10
		542.7/152.1*	Grand Filon	"	"	0,37	0,05	50	80	82C %Vit. <25	10
8371	Mine du Lendal (VD)	542.5/152.1*	"	"	"	0,35	0,03	50	100	87C %Vit. <25	5
8375	Mine des Ecavaz (VD)	542.5/152.6*	"	"	"	0,38	0,07	50	90	63C %Vit. <25	2
8146	Mine d'Oran (VD)	553.6/157.9*	"	"	"	0,49	0,04	50	100	95C %Vit. <25	5
8385	Oron, sondage 2 (VD)	553.1/157.4	"	"	"	0,37	0,05	30	95	73C %Vit. <25	20
8388	Oron, sondage 1 (VD)	553.0/157.5	"	"	"	0,50	0,05	30	100	80C %Vit. <25	5
BB592	La Broye, Oron (VD)	554.6/155.8	"	"	"	0,38	0,04	50	100	80C %Vit. <25	10
A8592	"	"	"	"	"	0,34	0,02	50	97	97C %Vit. <25	3
3980	La Broye, Palézieux (VD)	553.6/155.8	"	"	Calcaire charbonneux	0,34	0,02	50	97	97C %Vit. <25	3
3982	Mine de St Martin (FR)	557.3/158.1*	"	"	Charbon	0,50	0,04	50	95	95C %Vit. <25	15
8141	Mine de Maracon (VD)	556.3/156.0*	"	"	"	0,31	0,04	30	100	82C %Vit. <25	10
8144	Mine de Progens (FR)	559.0/159.1*	"	"	"	0,37	0,06	50	100	64C %Vit. <25	1
8145	Mine de la Verrerie	560.4/159.9*	"	"	"	0,35	0,03	50	50	100C %Vit. <25	30
8381	Les Thioillères (VD)	552.2/154.5	"	"	Charbon	0,38	0,03	50	100	88C %Vit. <25	5
8147	Crau Coule, AR N9 (VD)	547.0/149.6	"	"	"	0,43	0,04	30	50	98C %Vit. <25	2
8148	"	"	"	"	"	0,47	0,06	50	94	94C %Vit. <25	3
8152	Moulin Monod (VD)	549.1/147.8	Poudingues Pélerin	"	Marnes à plantes	0,65	0,06	30	90	98C %Vit. <25	2
8151	Roseville, Vevey (VD)	552.1/146.8	"	"	Grès charbonneux	0,60	0,08	37	95	80C %Vit. <25	10
8150	Nant, Vevey (VD)	555.1/147.5	"	"	Charbon	0,88	0,05	30	90	77C %Vit. <25	3
8149	Champs de Ban (VD)	555.1/147.4	"	"	"	0,90	0,04	30	90	100C %Vit. <25	1
8153	Rivaz (VD)	550.0/147.3*	"	"	"	0,78	0,05	30	60	99C %Vit. <25	20
8155	Remontin (VS)	555.5/136.6	Grès des carrières	Rupé. (UMM)	Grès à plantes	0,66	0,05	30	60	80C %Vit. <25	1
8157	Mine de Chailly (VD)	558.2/144.9*	"	"	Charbon	0,68	0,07	50	80	97C %Vit. <25	3

FLYSCH SUBALPIN

No	Localisation	Coordonnées	Lithostratigraphie	Attribution chronostrat.	Lithologie	% R _e Vit.	Ec. type	Nb. mes.	Ten. MO %	Pétrographie organique	MO
8370	Les Chevalleyres (VD)	558.0/147.1	C. de Cucluz-Villars	Oligo. inf.	Grès charbonneux	* 0,60	0,06	30	95	100C %Vit. <25	3
2891-6-1	Saumont, AR N12 (VD)	558.9/150.8	"	"	Charbon	0,49	0,02	30	95	97C %Vit. <25	3
17976-8	Pangires (VD)	557.5/148.0	"	"	"						

Tableau 4: Liste et provenance des échantillons; détails analytiques (suite).

HELVETIQUE - CHAINES SUBALPINES

No	Localisation	Coordonnées	Lithostratigraphie	Attribution chronostrat.	Lithologie	%PR Vit.	Ec. type	Nb. mes.	Ten. MO %	Pétrographie organique	MO	
						%Vit.	%Exi.	%In.	%Pyr.			
MASSIF DES BORNES												
3977	Thônes (Hte-Savoie)	513.2/82.1	Calcaires urgoniens	Barrém./Béd.	Charbon	0,71	0,07	50	85	85C	10	
2495	Mont-Durand (Hte-Savoie)	521.1/94.9	"	Couches Diablerets	"	0,80	0,08	60	50	70T	30	
3962	Petit-Bornand (Hte-Savoie)	"	"	Eocène	"	0,85	0,05	50	70	97C	3	
3963	"	"	"	"	"	0,81	0,06	50	80	100C	ND	
3964	"	"	"	"	"	0,85	0,06	50	85	100C	ND	
3965	"	"	"	"	"	0,70	0,05	50	85	100C	D	
3971	Brison (Hte-Savoie)	522.6/99.3	"	Grès charbonneux	"	0,61	0,06	35	10	100C	D	
3972	"	"	"	"	"	0,56	0,06	41	10	97T	D	
8009	Montmin (Hte-Savoie)	510.4/72.2	"	Charbon	"	0,87	0,13	30	100	30C	ND	
8014	"	"	"	"	"	1,09	0,12	30	100	70C	ND	
8015	"	"	"	Olig. inf.	"	0,85	0,04	30	95	100C	sans	
2499	Thorens (Hte-Savoie)	509.8/92.2	Flysch	"	Grès charbonneux	*	0,77	0,05	50	30	100C	D
3969	Thuet (Hte-Savoie)	522.6/101.0	"	Marnes charbonneuses	"	0,88	0,04	50	90	90C	"	
3970	"	"	"	Grès charbonneux	"	0,78	0,05	50	10	95T	10	
5773	Cerise (Hte-Savoie)	522.9/101.1	"	"	"	0,58	0,05	50	15	97T	D	
5732	St Pierre (Hte-Savoie)	517.8/100.0	"	"	"	0,61	0,07	30	40	95T	5	
6020	"	"	"	"	"	0,72	0,07	30	40	90C	3	
7987	Les Folliets (Hte-Savoie)	524.7/103.7	"	Marnes charbonneuses	"	0,43	0,04	32	5K	100T	5	
4419	Orange (Hte-Savoie)	514.6/97.7	"	Grès charbonneux	"	0,55	0,04	60	42	30C	ND	
2500	Nant Corbeau (Hte-Savoie)	510.8/82.4	Grès Val d'Ulliez	"	Charbon	0,79	0,07	42	5K	90C	5	
3966	Thônes (Hte-Savoie)	506.4/82.5	"	Grès charbonneux	"	0,54	0,06	30	5K	30C	3	
7997	Villard-Thônes (Hte-Sav.)	516.4/84.9	"	"	"	0,54	0,06	30	5K	92C	D	
MASSIF DES BAUGES												
7996	Entrevernes (Hte-Savoie)	502.4/69.5	Couches Diablerets	Eocène	Charbon	0,47	0,05	30	40	97C	3	
8007	"	"	"	"	"	0,62	0,02	30	100	100T	D	
8013	"	"	"	"	"	0,71	0,06	50	100	90C	2	
8372	"	"	"	"	"	0,51	0,05	50	100	92C	3	
SYNCLINAL DE THÔNES : UNITE PARAUTOCHTONE DES CLEFS												
2496	Croix Fry (Hte-Savoie)	519.3/81.0	Grès de Taveyanne	Eoc.-?/Olig.	Charbon	0,84	0,04	60	95	95T	2	
5733	"	"	"	"	"	0,78	0,04	50	97	100T	ND	
6016	"	"	"	"	Grès charbonneux	0,76	0,07	50	40	95T	5	
6017	"	"	"	"	Grès peu charbonneux	0,62	0,05	50	30	97T	D	
3967	Thônes (Hte-Savoie)	512.6/79.9	"	Charbon	*	0,53	0,06	50	60	100T	3	
5735	Mamontanne (Hte-Savoie)	514.6/79.7	"	Grès charbonneux	0,64	0,06	30	98	94T	2		
5736	"	"	"	"	"	0,64	0,06	50	50	95T	1	
6022	Villard-dessous (Hte-Sav.)	514.6/79.3	"	"	"	0,64	0,06	50	5	ND	D	

Tableau 4: Liste et provenance des échantillons; détails analytiques (suite).

HELVETIQUE - SOCLE ET NAPPES

No	Localisation	Coordonnées	Lithostratigraphie	Attribution chronostrat.	Lithologie	% Ro Vit.	Ec. type mes.	Nb. mo % % Ut. % Exi. % In. % Pyr.	Pétrographie organique	MO
SYNCLINAUX PERMO-CARBONIFERES										
3987	Servoz (Hte-Savoie)	548.3/87.2	Unité inférieure	Carbonifère	Anthracite	7,19M 0,28	35	100	Anthracite	ND
3988	Prarion (Hte-Savoie)	546.7/83.1	"	"	"	6,11M 0,39	24	100	"	ND
3989	Coupeau (Hte-Savoie)	550.3/84.0	"	"	"	6,73M 0,02	30	100	"	ND
8016	Pont de Dorénaz (VS)	569.6/110.5	Poudingue Vallorcine	Carbonifère?	Grès charbonneux	6,72M 0,50	30	100	"	
3960	Getwing (VS)	620.1/129.1		Carbonifère?	Schistes charbonneux	7, *				
3959	Falidum Rothorn (VS)	621.1/135.1		Carbonifère	"	5,51M 0,47	25	<5K	"	
(PAR) AUTOCHTONE										
8597	Les Illettes (VS)	564.0/121.4	Grès des carrières?	Rupélien ?	Grès charbonneux	5, * 25M 0,72	14	<5K	"	
W76-9	Avançon de Morcles (VD)	570.1/118.0	Grès à roseaux	Keuper ?	Grès à plantes	5, *				
3961	Luogelkin (1400 m) (VS)	626.2/130.7		Main	Calcaires schisteux	5, *				
SYNCLINAL DE CHAMONIX										
8379	La Bâtiez (VS)	571.5/106.1		Eocène ?	Marnes charbonneuses	3,06M 0,38	24	40	98C	2
NAPPE DE MORCLES										
3975	Pernant (Hte-Savoie)	538.8/96.1	Couches Diablerets	Eocène	Calc. gréseux charbonneux	0,77 0,06	40	50	90I	
6023	" "	"	"	"	Charbon	1,42 0,16	50	80	100C	10
6024	" "	"	"	"	"	1,24 0,13	50	80	100C	ND
6025	" "	"	"	"	"	1,61M 0,11	50	95	100C	ND
3976	Les Fiz (Hte-Savoie)	?546.1/93.1		"	"	2,07M 0,07	25	50	100C	ND
CH 11	Platé (Hte-Savoie)	546.3/93.2	"	"	"	2,77M 0,26	30	<5K	Vitrinite ou Inertinite?	D
CH 14	" "	"	"	"	"	0,77 0,06	30	<5K	"	3
3986	Saugey (Hte-Savoie)	546.5/101.1	"	"	Calc. gréseux charbonneux	2,22M 0,15	30	50	Anthracite	D
7992	" "	"	"	"	Grès charbonneux	2,27M 0,11	30	50	100C	D
7993	" "	"	"	"	"	2,27M 0,11	30	50	100C	D
7994	" "	"	"	"	"	2,14M 0,14	30	10	95C	5
7995	" "	"	"	"	"	2,14M 0,14	30	10	95C	5
W76-2	Grand Vire (VD)	571.8/116.2	C. du Roc Champion	"	Marnes charbonneuses	(4, 53M)	3	<5K	Anthracite	
NAPPE DES DIABLERETS										
8158	Tête Ronde (VD)	579.9/127.9	Couches Diablerets	"	Charbon	2,65M 0,21	50	100	Anthracite	
8383	" "	"	"	Eocène	Marnes charbonneuses	2,57M 0,19	50	60	"	
NAPPE DU WILDHORN										
8378	Hohgant-sandstein (BE)	625.2/172.7*	Hohgant-sandstein	"	Charbon	0,80 0,09	30	90	97C	1
*	"	"	"	Eocène	"	(Teichmüller in BREITSCHMID, 1978, p. 148)	3	1	"	

Tableau 4: Liste et provenance des échantillons; détails analytiques (suite).

UNITE DE MANIGOD (SYNCLINAL DE THONES)

No	Localisation	Coordonnées	Lithostratigraphie	Attribution chronostrat.	Lithologie	% Ro. Vitr.	Ec. type mes.	Nb. Mo	Ten. %Vitr.	Pétrographie organique %Exi.	%In.	%Pyr.	Mo
2497	Manigod (Hte-Savoie)	515.3/79.4	Grès intermédiaires	Eocène sup.	Charbon Grès charboneux	0,70 0,73	0,04 0,08	60 50	100 98C	5	2	3	ND
6019	"	"	"	"	Charbon Grès charboneux (laumontite)	0,75 0,61	0,05 0,04	60 50	95 20	3	10	3	D
2498	"	516.0/79.4	"	"	Grès charboneux	0,55 0,55	0,04 0,05	50 50	20 20	3	D	ND	
3974	"	515.1/79.4	"	"	Grès charboneux	0,55 0,55	0,04 0,05	50 50	20 20	3	D	D	
5734	"	517.7/79.7	"	"	"	0,65 0,69	0,05 0,05	50 30	70 98C	1	9	2	D
6018	Genèvriers (Hte-Savoie)	515.2/79.3	"	"	"	0,65 0,69	0,05 0,05	50 30	70 90C	1	9	2	D
4322	Thones (Hte-Savoie)	515.6/79.8	"	"	"	0,65 0,69	0,05 0,05	50 30	70 90C	1	9	2	D

PREALPES MEDIANES

No	Localisation	Coordonnées	Lithostratigraphie	Attribution chronostrat.	Lithologie	% Ro. Vitr.	Ec. type mes.	Nb. Mo	Ten. %Vitr.	Pétrographie organique %Exi.	%In.	%Pyr.	Mo
8386	Le Paray (VD)	577.0/151.0		Bathonien	Branche flottée	0,27	0,02	50	90	100			
8377	Teyssachaux (FR)	565.0/154.3		Toarcien	"	0,16	0,02	50	30	100			
8382	"	"		"	Marne charbonneuse	0,19	0,01	50	100	100			
8162	Ruisseau Lidderey (FR)	581.0/164.5		Aalénien	"	0,22	0,02	30	60	100			
8387	Pointe à L'Aiguille (VD)	565.7/139.9		Callolien	Branche flottée	0,24	0,02	50	100	100			
8384	Château d'Oche (Hte-Sav.)	546.5/132.5		Crétacé sup.	Conglomérat charbonneux	1,28	0,06	30	100	93C	5	2	
8163	Corbeりriez (VD)	562.3/132.8	Couches rouges	"	Schistes charbonneux	*							
8164	Pierre à Perret (VS)	557.7/130.5	Couches à Mytilus	Dogger	Charbon	0,32	0,06	30	100	98I	2	2	
8001	Col de Chavanette (Hte-Sav.)	531.3/114.5*	"	"	"	0,90	0,06	30	100	100C	30	3	
8006	Cornettes de Bise (Hte-Sav.)	550.4/130.8*	Couches à Mytilus	Dogger	"	0,59	0,03	30	90	97I	30	2	
8161	Mine de Darbon (Hte-Savoie)	545.2/131.3*	"	"	"	0,69	0,05	32	100	93C	5	2	
8003	"	"	"	"	"	0,79	0,05	32	100	93C	5	2	
"(1)	"	"	"	"	"	0,81	0,04	32	100	93C	5	2	
"(2)	"	"	"	"	"	0,79	0,03	32	100	93C	5	2	
"(3)	"	"	"	"	"	0,80	0,03	32	100	93C	5	2	
"(4)	"	"	"	"	"	0,82	0,03	32	100	93C	5	2	
8004	Bonnevaux (Hte-Savoie)	542.0/128.4	Couches à Mytilus	Dogger	Schistes charbonneux	1,22	0,09	21	55K	100C			
8159	Mine de Vionnaz (VS)	557.5/127.6*	"	"	Charbon	1,56M	0,07	32	70	100C			
8160	Pont de Gérignoz (VD)	578.7/146.9	"	"	Schistes charbonneux	1,83M	0,08	30	95	100			
3968	La Frasse (Hte-Savoie)	516.3/76.8	Grès à Roseaux	Keuper	Grès charboneux	1,96M	0,10	50	100	anthracite	15	10	
7999	Gebliu, Matringe (Hte-Sav.)	531.3/109.0	"	Rhétien	Marnes charbonneuses	2,12M	0,14	50	100	anthracite	24	10	

ZONE SUBMIDIANE ? WILDFLYSCH ?

No	Localisation	Coordonnées	Lithostratigraphie	Attribution chronostrat.	Lithologie	% Ro. Vitr.	Ec. type mes.	Nb. Mo	Ten. %Vitr.	Pétrographie organique %Exi.	%In.	%Pyr.	Mo
8005	Mines de Tanninges (Hte-Sav.)	534.6/106.9*	"	Westphal. A	Charbon	1,97M	0,12	30	100	75C	15	10	
8012	"	"	"	"	"	1,83M	0,08	30	95	93C	5	2	
8166	"	"	"	Westphal.A?	"	1,96M	0,10	50	100	anthracite	15	10	
8167	Folliosaz, Morgins (VS)	555.8/119.5*	"	Trias sup.	Grès à Roseaux	2,12M	0,14	50	100	anthracite	24	10	
8391	Les Charbonnières (VD)	570.8/139.1	"	"	"	0,76	0,06	24	10	85C I			

Tableau 4: Liste et provenance des échantillons; détails analytiques (suite).

NAPPE DU NIESEN

No	Localisation	Coordonnées	Lithostratigraphie	Attribution chronostrat.	Lithologie	% Ro. Vit.	Ec. type	Nb. mes.	Ten. MO %	Pétrographie organique	MO
W76-1 La Raverette (VD)		571.8/134.8	Cgr. du Leyderry	Dogger	Tronc (remanié du Carbonifère?)	2,48M	0,14	30	20	100C	%Pyr.

NAPPE DE LA BRECHE

No	Localisation	Coordonnées	Lithostratigraphie	Attribution chronostrat.	Lithologie	% Ro. Vit.	Ec. type	Nb. mes.	Ten. MO %	Pétrographie organique	MO
8380 Col de Lens d'Aulph (Hte-Sav.)	543.9/120.0	Schistes ardoisiers	Callov.-Oxf.	Tronc flotté "	"	1,56M	0,08	30	100	100C	%Pyr.
W76-6 Pte de Chavache (Hte-Sav.)	546.1/120.1	"	"	"	"	1,*					

NAPPE DE LA SIMME

No	Localisation	Coordonnées	Lithostratigraphie	Attribution chronostrat.	Lithologie	% Ro. Vit.	Ec. type	Nb. mes.	Ten. MO %	Pétrographie organique	MO
8165 Eau Froide de Roche (VD)	565.0/137.5*	Série de la Manche?	Turonien?	Gres charbonneux	0,82	0,07	30	50	70C	5	25
8168 La Frasse, Château d'Oex (VD)	575.6/146.8	"	"	"	0,73	0,05	50	80	70C	30	30
8169 Nairvaux (VD)	564.6/137.3	Série de la Manche	Turonien	"	0,65	0,07	43	50	30C	5	60
8374 "	"	"	"	"	0,78	0,07	35	90	30C	5	43
8376 Torrent du Coulat (VD)	569.0/140.7	"	"	"	0,53	0,03	50	50	85T	10	5
8389 Petit Hongrin (VD)	567.2/139.3*	"	"	"	0,66	0,10	30	20	50C	4,3	7

NAPPE DES GETS

No	Localisation	Coordonnées	Lithostratigraphie	Attribution chronostrat.	Lithologie	% Ro. Vit.	Ec. type	Nb. mes.	Ten. MO %	Pétrographie organique	MO
* L'Encrenaz (Hte-Savoie)	538.0/114.0		Cénomanien?	Grès à plantes	1,75M	(D. Noël in CARON et WEIDMANN, 1967, p. 369)					

NAPPE DU GURNIGEL

No	Localisation	Coordonnées	Lithostratigraphie	Attribution chronostrat.	Lithologie	% Ro. Vit.	Ec. type	Nb. mes.	Ten. MO %	Pétrographie organique	MO
7988 Fillinges (Hte-Savoie)	515.0/113.3	Flysch	Thanét. sup.	Grès charbonneux	0,52	0,06	30	20	100C	5	15
7989 "	"	"	"	"	0,45	0,04	12	<5K	70C	5	0
7990 "	"	"	"	"	0,43	0,09	30	<5K	37C	10	3
7991 "	"	"	"	"	0,45	0,09	25	<5	100	50	0
8390 Allinges (Hte-Savoie)	525.0/132.0	Cgr. Vouan	Eocène	"	0,50	0,06	30	20	65C	30	5
8596 Les Fayaux (VD)	559.9/146.4	"Flysch 3"	Eocène inf.	"	0,73	0,04	50	90	58C	40	2
91176-1 Veveyse de Fégire (VD)	561.2/150.3	"	"	"	0,59	0,05	30	60	95T	5	5

Tableau 4: Liste et provenance des échantillons; détails analytiques (suite).

PENNIQUE FRONTAL											
No	Localisation	Coordonnées	Lithostratigraphie	Attribution chronostrat.	Lithologie	% Ro Vit.	Ec. type	Nb. mes.	Pétrographie organique		
						% Mo %	% Vit.	% Exi.	% In.	% Pyr.	Mo
ZONE VALAISANNE - UNITÉ DE LA PIERRE A VOI											
W76-7	Granges (VS)	601.5/123.8*	Bloc dans flysch?	Carbonifère "	Schiste charbonneux	5,68M	0,59	30	90	Anthracite	
W76-8	"	601.6/123.9*	"	Charbon		5,48M	0,34	30	100	"	
ZONE HOUILLERE											
3990	Mine Moulin (VS)	593.4/118.3*	Carbonifère "	Schiste charbonneux		*	Graphite				
7998	Mine du Mauvais Four (VS)	588.4/115.2*	"	"		7,80M	0,52	30	100	"	
11363	Mine de la Chandoine (VS)	594.3/118.5*	"	"		7,12M	0,61	30	100	"	
*	"	"	"	"		7,58M	(D. Noë, 1966, inédit)			"	
11364	Mine de Grône (VS)	602.1/122.2*	"	"		7,79M	0,54	30	100	"	
*	"	"	"	"		6,65M	(D. Noë, 1966, inédit)			"	
11365	Mine d'Isérables (VS)	585.0/112.5*	"	"		6,20M	0,38	30	100	"	
W76-3	Mine d'Aproz (VS)	590.8/116.8	"	"		7,64M	0,68	28	20	"	
8010	Plannabaz (VS)	580.3/93.9	"	"		8,30M	0,73	30	100	"	
11362	Col de Fenêtre (VS)	577.6/79.9	"	Breche charbonneuse		5,95M	0,39	30	100	"	
NAPPE DU GRAND ST BERNARD											
No	Localisation	Coordonnées	Lithostratigraphie	Attribution chronostrat.	Lithologie	% Ro Vit.	Ec. type	Nb. mes.	Pétrographie organique		
						% Mo %	% Vit.	% Exi.	% In.	% Pyr.	Mo
8008	Valsorey (VS)	583.5/88.7*	Schiste charbonneux			4,39M	0,65	7	25	100C	
11360	Thyon (VS)	594.5/114.2	Gres charbonneux				*				
W76-5	Trifft (VS)	622.9/98.3	Dogger ?								
W76-4	Capone Weisshorn (VS)	623.5/103.8	Calcschistes charbonneux								
11355	Coi de Cleuson (VS)	592.7/101.2	Carbonifère ?								
11356	Terrano Ro (VS)	594.6/112.0*	Quartzites graphitiques								
11357	Torrent Prolin (VS)	596.5/112.5*	"								
11359	Pian La Chaux (VS)	587.0/103.0*	Gneiss charbonneux								
11370	Pra Jean (VS)	601.0/110.8*	"								
SCHISTES LUSTRES (DIVERSES UNITES)											
No	Localisation	Coordonnées	Lithostratigraphie	Attribution chronostrat.	Lithologie	% Ro Vit.	Ec. type	Nb. mes.	Pétrographie organique		
						% Mo %	% Vit.	% Exi.	% In.	% Pyr.	Mo
11354	Pte de Tsaté (VS)	608.5/106.4	?	Schistes chloriteux noirs		*					
11358	La Gouille (VS)	604.0/100.2	?	Quartzites charbonneux		*					
11368	Becs de Bosson (VS)	606.1/113.0	?	"		*					
11369	Pointe Sasseneyre (VS)	606.7/109.7	?	Schiste gréso-charbonneux		*					

Thônes. Ce phénomène avait déjà été remarqué par MARTINI (1968), qui avait étudié les zéolites.

Dans la région de Pernant, les 4 échantillons mesurés (3975; 6023 à 6025) présentent des valeurs de R_o peu cohérentes: de 0,77 à 1,61%. D'autre part, sur Platé, nous n'avons indiqué sur la figure 2, que le R_o de la vitrinite (CHIV = 0,77%), négligeant le R_o mesuré sur l'inertinite (CHII = 2,71%).

Par contre, les 4 échantillons prélevés, toujours dans les Couches des Diablerets, à Sougey (3986; 7992 à 7994) présentent une remarquable homogénéité.

En conclusion, il est difficile d'interpréter les R_o étudiés dans l'Helvétique entre Arve et Rhône. Dans ce même secteur, les cristallinités de l'illite ont également posé des problèmes d'interprétation à APRAHAMIAN et al. (1975).

Les synclinaux permo-carbonifères du massif des Aiguilles Rouges présentent des valeurs homogènes et élevées, sur rive droite et gauche de la vallée de l'Arve, tout à fait comparables à celles des synclinaux permo-carbonifères de Suisse.

3.3 Transversale du Léman (fig. 4)

Dans le Jura les réflectances augmentent depuis le «Tortonien» du Locle (11347a, b: 0,20%) au «Purbeckien» du Salève (3985, 7331, 6015: 0,32%) et jusqu'au Schilfsandstein de Neue Welt (11366, 11367: 0,66%). Cette esquisse de gradient correspond à une augmentation de l'enfouissement. Les 700 à 900 m de sédiments qui ont surmonté le Keuper de la région bâloise ne peuvent peut-être pas expliquer entièrement un R_o de 0,66% (valeur non reportée sur la fig. 4). La proximité du sel ou une anomalie locale du gradient géothermique ont pu contribuer à l'élévation de la réflectance. Relevons également la présence d'anthracite carbonifère remanié dans les lignites feuilletés du Locle; la source de ces apports doit se situer dans la couverture sédimentaire des Vosges, déjà profondément décapée au Miocène supérieur.

Dans la Molasse du plateau, les valeurs sont homogènes, bien groupées et relativement faibles: R_o moyen $0,37 \pm 0,08\%$ pour les 9 échantillons de la Molasse

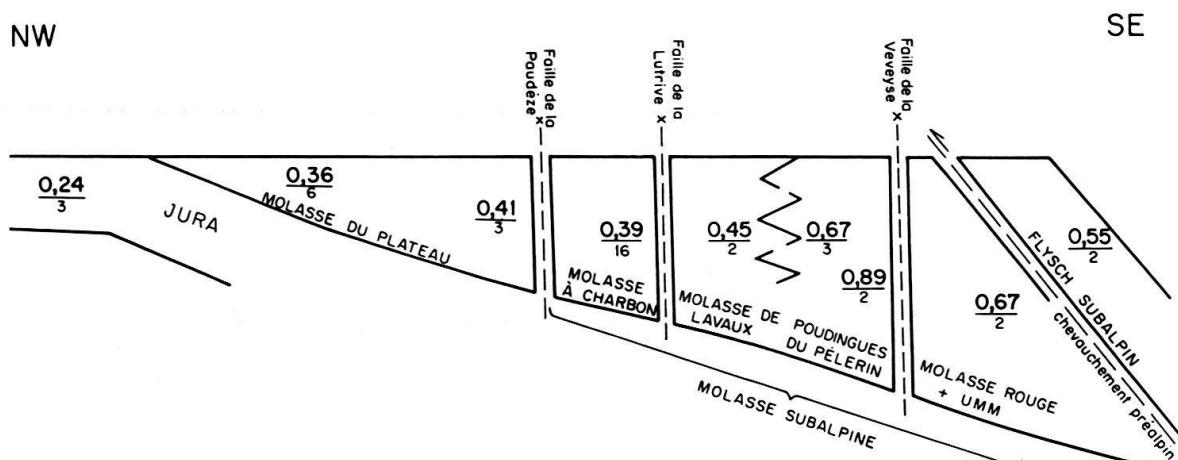


Fig. 4. Transversale du Léman (voir la légende de la fig. 3).

d'eau douce inférieure. Les R_o mesurés dans le «Burdigalien» de Frangy et dans la Molasse Rouge de Thorens (Haute-Savoie) ne changent pas la moyenne.

Dans la Molasse subalpine, les 10 échantillons de la Molasse à charbon «chattienne» du bassin de Paudex-Belmont et les 8 échantillons du bassin de Palézieux-Oron ont la même moyenne: $0,40 \pm 0,08\%$. Le stade de transformation atteint est identique à celui de la Molasse du plateau. On remarquera que les valeurs les plus faibles sont mesurées dans les calcaires ou les marnes charbonneux et les plus fortes dans les charbons. Cette observation rejette celles de BOSTIK et al. (1975) et de BLANQUART & MÉRIAUX (1975) que l'on a discutées plus haut.

Entre la Lutrive et le bord préalpin, les R_o augmentent de façon significative, même en tenant compte de l'effet de la lithologie.

Les deux charbons qui ont donné les réflectances les plus élevées (8150, 8149) sont injectés le long de diaclases dans des bancs de poudingues du Mont-Pèlerin situé sur l'importante faille de la Veveyse; nos observations rejoignent donc celles de BERSIER (1948), à propos du comportement tectonique plastique des charbons molassiques: «On constate que les phénomènes de plasticité les plus amples se trouvent dans le bord alpin du synclinorium molassique. Plus on s'éloigne des Alpes, plus il s'atténue.»

Est-il possible de voir dans nos valeurs croissantes vers l'E l'effet de la tectonisation parfois intense observée sur le terrain: apparition progressive d'W en E d'un fort clivage de fracture, de replis déversés, de failles inverses et d'importants décrochements méridiens probablement sénestres?

En général, les spécialistes refusent cette explication. Dans la Molasse tectonisée de Bavière M. & R. TEICHMÜLLER (1975) ont bien constaté (synclinal de Haushammer) une diminution de la teneur en eau des veines de charbons en allant vers le front de l'Helvétique charrié. Celà correspond du reste au gradient général de diminution de la porosité des grès et des argiles, à l'augmentation des vitesses en sismique (LOHR 1969) et à l'élévation des pressions dans les lentilles sableuses (LEMCKE 1972, p. 59). Cependant, ces contraintes tangentielles n'ont pas modifié les teneurs en carbone ou en constituants volatiles des charbons; les transformations physiques ne sont donc pas accompagnées de transformations chimiques.

Les R_o croissants vers l'E témoignent donc, dans la Molasse subalpine lémanique, du considérable épaissement du prisme sédimentaire molassique dans sa partie proximale.

Comparaison avec les associations minéralogiques: Pour le Jura, les sédiments molassiques des bassins de Delémont (inédit), du Locle-La Chaux-de-Fonds (KÜBLER 1962) et du Val-de-Travers (GINDRAUX 1975) appartiennent tous à la zone 1. Du Tertiaire au Trias, il doit exister un gradient de diagenèse car le Keuper, avec corrensite détectée en forages de part et d'autre du Jura (LUCAS 1962; FREY 1969; données inédites), doit se situer dans la zone 3, c'est-à-dire avec des R_o plus grands ou égaux à 0,5-0,6% (voir nos mesures à Neue Welt; 11366 et 11367, $R_o = 0,66\%$).

Dans la Molasse du plateau, et particulièrement en forage, la diagenèse d'enfouissement est caractérisée par la disparition des smectites (MONNIER, en

préparation). En position distale, la Molasse appartient à la zone 1; en position proximale, elle appartient aux zones 1, 2 ou 3, selon la profondeur.

En surface, depuis l'«Aquitainien» de Rovéreaz/Lausanne, jusqu'au «Chattien» de Grandvaux, on passe de la zone 1 à la zone 2. La Molasse Rouge de la Veveyse (tranchée de l'autoroute N 12, La Tuilière) appartient à la zone 2, tandis que les conglomérats du Mont-Pèlerin échantillonnés en Ogoz/St-Saphorin forment un terme de passage entre les zones 2 et 3.

Dans la région de Bulle, les smectites disparaissent entre l'Helvétien non charrié et les écailles de Vuippens (Marnes et Grès de Vaulruz): on passe de la zone 1 à la zone 2, et éventuellement à la zone 3.

Pour le Jura, la Molasse du plateau et la Molasse subalpine, les données de la minéralogie, même disparates, concordent donc avec celles de la réflectance. On semble amené aux mêmes conclusions que celles de M. & R. TEICHMÜLLER (1975) et JACOB & KUCKELKORN (1977) en Bavière: les écailles de Molasse tectonisées appartiennent, comme la Molasse non plissée, à 2 zones: Glanzbraunkohle et Flammkohle, c'est-à-dire à nos zones 2 et 3, dès qu'une profondeur suffisante est atteinte. Il est fait appel, en Bavière, à une zone de subduction pour expliquer ce gradient géothermique faible. Une telle hypothèse s'inscrirait fort bien dans le cadre du bassin molassique de Suisse occidentale (voir, par exemple, PLANCHEREL 1979).

3.4 Préalpes chablasiennes et romandes (fig. 5)

Le Flysch subalpin oligocène présente des valeurs légèrement inférieures à celles de la Molasse subalpine (UMM) qu'il chevauche, mais qu'il précède stratigraphiquement dans le même domaine paléogéographique nord-helvétique.

La nappe des Gêts, unité la plus élevée de l'édifice préalpin, semble être la plus métamorphique; l'unique valeur dont nous disposons semble confirmée par l'étude minéralogique des roches vertes incluses en olistolites dans cette nappe (BERTRAND 1970). Les autres unités auxquelles on attribue une origine pennique supérieure ou ultrapennique (nappes de la Simme et du Gurnigel) sont par contre beaucoup moins métamorphosées. Ce qui souligne une fois de plus la complexité de l'histoire de ces unités très internes et suggère que le métamorphisme de la nappe des Gêts remonte à sa «phase océanique» d'âge probablement crétacé supérieur.

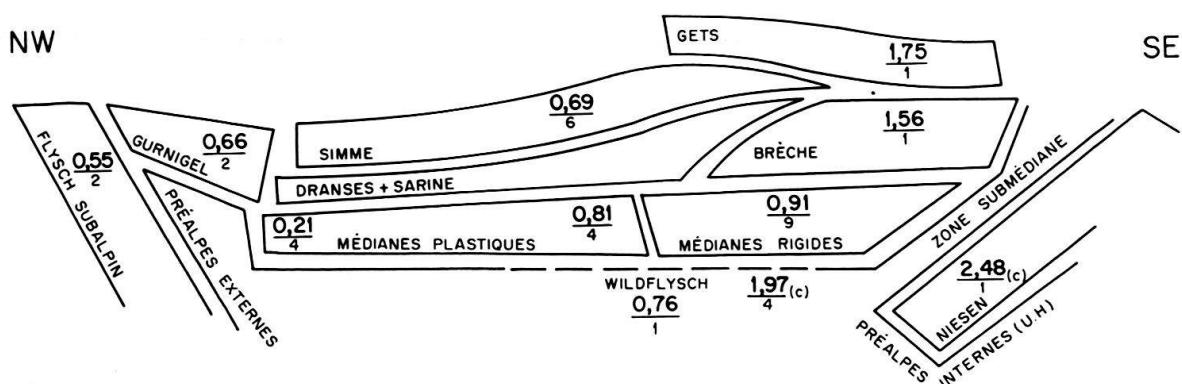


Fig. 5. Préalpes chablasiennes et romandes (voir la légende de la fig. 3).

La nappe des Préalpes médianes présente des réflectances assez élevées dans sa partie interne (charbons des Couches à *Mytilus* des Médianes Rigides), alors que les Médianes plastiques externes n'atteignent même pas le stade des roches du Jura. Ce résultat se vérifie aussi bien sur des roches du Lias que sur celles du Dogger et ceci, depuis Charmey jusque vers Villeneuve. Nous n'avons pas d'explication satisfaisante à proposer pour ces très faibles valeurs qui semblent incompatibles avec les importantes surcharges qu'ont dû subir les Préalpes médianes entre l'Eocène supérieur et le «Chattien moyen», sous la forme des unités de «flysch d'origine lointaine» ou de «super-Simme» (TRÜMPY 1976), actuellement érodées et remaniées dans la Molasse d'eau douce inférieure.

Dans la nappe de la Brèche, seul un échantillon a pu être mesuré, qui donne une valeur relativement forte (8380: 1,56%); est-elle représentative?

Le Trias de la «Petite Fenêtre Mitoyenne» (Zone Submédia?, éch. 8391) a fourni une valeur de 0,76%.

Les Médianes rigides et la nappe de la Brèche reposent, dans la vallée du Giffre et dans le val d'Illiez, sur un coussinet de wildflysch à lentilles diverses qui fut longtemps attribué à l'Ultrahelvétique, mais qui représente peut-être la prolongation méridionale de la Zone Submédia (WEIDMANN 1972; WEIDMANN et al. 1976). Certaines de ces lentilles sont d'âge westphalien et comprennent des anthracites dont les réflectances sont élevées.

C'est également du Carbonifère que doit dater le tronc charbonneux remanié dans un conglomérat du Dogger de la nappe du Niesen; il a donné la valeur la plus forte mesurée dans les Préalpes (W 7611-1: 2,48%).

Dans ces deux cas (nappe du Niesen et Zone Submédia), les réflectances mesurées ne donnent certainement pas un reflet du métamorphisme de ces unités, mais témoignent d'événements thermiques anciens, d'âge probablement permien (FREY et al. 1974, p. 250).

En conclusion, à propos des Préalpes, il faut relever que nos mesures

- confirment l'existence d'un «métamorphisme transporté» (MULLIS, travaux en cours),
- sont trop peu nombreuses et ne font qu'effleurer les très nombreux problèmes qui se posent.

3.5 Transversale du Rhône valaisan (fig. 6)

Les réflectances mesurées dans le domaine helvétique sont ici aussi trop peu nombreuses et trop dispersées géographiquement pour être significatives. Tout au plus, soulignerons-nous les R_s , toujours très forts mesurés dans le Carbonifère de la couverture des Massifs cristallins externes, depuis la Lonza jusqu'à l'Arve. Il doit s'agir, là aussi, des effets d'une phase métamorphique tardi-hercynienne, puisque les unités reposant au-dessus des synclinaux permo-carbonifères présentent des réflectances plus faibles, bien qu'elles soient très fortement déformées (Parautochtone, flanc renversé de la nappe de Morcles, synclinal de Chamonix).

Dans les unités penniques du Valais, toutes les réflectances mesurées proviennent de roches d'âge carbonifère. Elles semblent indiquer un métamorphisme plus élevé dans la Zone Houillère que dans les unités valaisannes. Il n'est

NW

SE

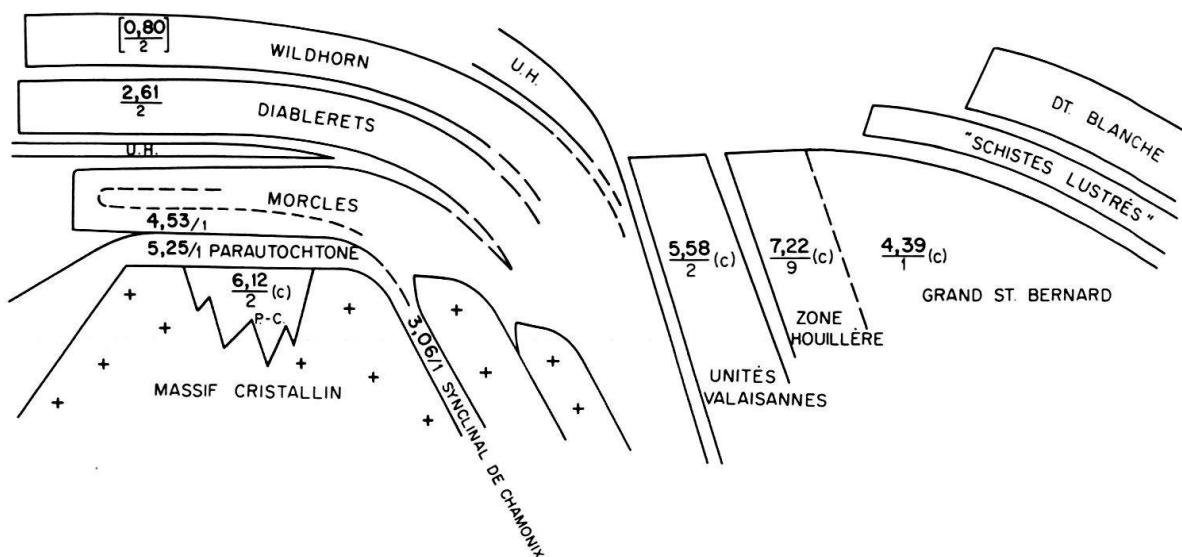


Fig. 6. Transversale du Rhône valaisan (voir la légende de la fig. 3).

évidemment pas possible de faire la part de ce qui revient, dans ces fortes valeurs, à la phase métamorphique tardi-hercynienne ou à l'une ou l'autre des phases alpines.

4. Conclusions

Comme nous l'avons relevé dans l'introduction, nos mesures ne permettent pas de dresser une zonéographie rigoureuse des unités tectoniques: elles sont encore trop peu nombreuses et trop disparates. L'application de cette méthode à l'étude de la chaîne alpine est cependant riche de possibilités, à condition toutefois de procéder à un échantillonnage très rigoureux, qui permette de mieux cerner (et si possible d'éliminer) les effets de la lithologie, de l'épaisseur des passées charbonneuses, de l'altération superficielle. Mais, il importe surtout de multiplier les points de mesure.

Si les présents résultats s'inscrivent souvent fort bien dans le cadre général tracé par d'autres méthodes, elles posent néanmoins un certain nombre de questions, pour lesquelles nous n'avons pas de réponse satisfaisante à proposer. Nous en citerons trois:

1. Comment interpréter les résultats acquis par le R_o et la minéralogie (APRAHAMIAN et al. 1975) dans le secteur situé entre Arve et Giffre?
2. Pourquoi les R_o mesurés dans la partie frontale de la nappe des Préalpes médianes sont-ils si faibles?
3. Pourquoi les R_o mesurés dans la Zone Houillère du Valais sont-ils si forts?

Sur un plan plus général, il est frappant de constater qu'au front des orogènes (sous l'accident frontal nord-pyrénéen, sous la faille du Midi en Belgique, sous les charriages frontaux de Bavière, de Suisse romande et de Haute-Savoie), les sédiments sont moins, ou pas plus transformés que ceux des masses charriées, comme l'ont révélé la cristallinité du matériel micacé et la réflectance de la vitrinite.

On pourra mieux situer les relations entre les phases de métamorphisme et celles de déplacement des unités tectoniques par l'application systématique de l'une ou l'autre de ces techniques d'analyse de la diagenèse-métamorphisme.

Remerciements

Nos remerciements vont à Ch. Beaulieu, ancien directeur, et à M. Cl. Geoffrion (décédé depuis) qui était directeur scientifique de l'Institut national de la recherche scientifique du Québec, qui ont soutenu cette recherche en débloquant les crédits nécessaires. Grâce à l'appui et au dévouement de M. Desjardins, directeur de l'INRS-Pétrole et de ses collaborateurs, MM. R. Bertrand pour le traitement des données, A. Chagnon-Kodiak pour la minéralogie des argiles, la comparaison des échelles organiques et minéralogiques ont pu trouver une base scientifique sérieuse. MM. R. Robitaille, B. Bobée-Louison de l'INRS-Eau, grâce à leurs connaissances, leur expérience et leurs programmes, nous ont été d'une aide précieuse dans la comparaison rigoureuse des R_o et des cristallinités des micas. Sans les travaux nombreux et variés, commandités par M. P. Simard du Ministère des Richesses Naturelles du Québec, par MM. B. Cloutier, J. Plante et van Oyen, directeur, chef de l'exploration et chef géologue de la SOQUIP, bien des termes de la zonéographie comparée seraient restés obscurs. Enfin, tout au long de ces études, nous avons bénéficié directement ou indirectement de crédits de recherches du Conseil national de la recherche scientifique du Canada.

Nous adressons nos remerciements à l'Abbé J. Rosset qui nous a aidé sur le terrain et au Fonds National suisse de la Recherche scientifique (requête 2.023-0.78) grâce auquel nous avons pu réaliser en partie ce travail.

BIBLIOGRAPHIE

- ALPERN, B. (1969a): *Über einige geologische Anwendungen des Reflexionsvermögens der Kohlen.* - Freiberger Forschh. C. 235, 45-56.
- (1969b): *Le pouvoir réflecteur des charbons français. Application et répercussions sur la théorie de A. Duparque.* - Ann. Soc. géol. Nord 89, 143-166.
- (1970): *Classification pétrographique des constituants organiques fossiles des roches sédimentaires.* - Rev. Inst. franç. Pétrole 25/11, 1233-1267.
- ALPERN, B., & CHEYMOL, D. (1978): *Réflectance et fluorescence des organoclastes du Toarcien du bassin de Paris en fonction de la profondeur et de la température.* - Rev. Inst. franç. Pétrole 33/4, 515-535.
- ALPERN, B., DURAND, B., ESPITALIÉ, J., & TISSOT, B. (1972): *Localisation, caractérisation et classification pétrographique des substances organiques sédimentaires fossiles.* - Adv. org. Geochem. 1971, 1-28 (Pergamon Press, Oxford/Braunschweig).
- ALPERN, B., LIABOEUF, J.-J., & NAVALE, G.K.B. (1964): *Beziehungen zwischen palynologischen und petrographischen Zonenfolgen in den Steinkohlenflözen.* - Fortschr. Geol. Rheinl. Westfal. 12, 303-316.
- ALPERN, B., & MAUME, F. (1969): *Etude pétrographique de l'oxydation naturelle et artificielle des houilles.* - Rev. Ind. minér. 51/11, 979-997.
- APRAHAMIAN, J., PAIRIS, B., & PAIRIS, J.-L. (1975): *Nature des minéraux argileux et cristallinité des illites dans le massif de Platé et le revers occidental des Aiguilles Rouges. Implications possibles d'un point de vue sédimentaire, structural et métamorphique.* - Ann. Centre univ. Savoie (Chambéry), Sci. nat. II, 95-119.
- BARTENSTEIN, H., & TEICHMÜLLER, R. (1974): *Inkohlungsuntersuchungen, ein Schlüssel zur Prospektierung von paläozoischen Kohlenwasserstoff-Lagerstätten?* - Fortschr. Geol. Rheinl. Westfal. 24, 129-160.
- BERSIER, A. (1948): *Phénomènes de plasticité dans les charbons molassiques.* - Eclogae geol. Helv. 41/1, 101-112.
- BERTRAND, J. (1970): *Etude pétrographique des ophiolites et des granites des Gêts (Haute-Savoie, France).* - Arch. Sci. (Genève) 23/2, 279-542.
- BLANQUART, P., & MÉRIAUX, E. (1975): *Etude comparative du pouvoir réflecteur de veines, passées, lits, veinules, filets et grains de matière organique dispersée dans quelques sédiments du bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais.* - Colloq. int. Pétrogr. Matière organique des Sédiments, CNRS (Paris), 15-17 sept. 1973, 27-39.

- BOSTICK, N. H., & FOSTER, J. M. (1975): *Comparison of vitrinite reflectance in coal seams and in kerogen of sandstones, shales, and limestones in the same part of a sedimentary section.* - Colloq. int. Pétrogr. Matière organique des Sédiments, CNRS (Paris), 15-17 sept. 1973, 14-25.
- CHAROLLAIS, J. (1963): *Recherches stratigraphiques dans l'E du massif des Bornes (Haute-Savoie).* - Arch. Sci. (Genève) 15/4, 631-732.
- CHATEAUNEUF, J.-J., DEBELMAS, J., FEYS, R., LEMOINE, M., & RAGOT, J.-P. (1973): *Premiers résultats d'une étude des charbons jurassiques de la zone briançonnaise.* - C.R. Acad. Sci. (Paris) 276D, 1649-1652.
- COMBAZ, A. (1964): *Les palynofaciès.* - Rev. Micropaléont. 7/4, 205-218.
- COMBAZ, A., BELLET, J., POULAIN, D., CARATINI, CL., & TISSOT, B. (1977): *Etude microscopique de la matière organique de sédiments quaternaires de Mer de Norvège.* - Orgon 1, Mer de Norvège, Géochimie organique des sédiments marins profonds, CNRS (Paris), 139-175.
- CORREIA, M. (1969): *Contribution à la recherche des zones favorables à la genèse du pétrole par l'observation microscopique de la matière organique figurée.* - Rev. Inst. franç. Pétrole 24/12, 1417-1454.
- FREY, M. (1969): *Die Metamorphose des Keupers vom Tafeljura bis zum Lukmanier-Gebiet.* - Beitr. geol. Karte Schweiz [N.F.] 137.
- FREY, M., HUNZIKER, J. C., FRANK, W., BOCQUET, J., DAL PIAZ, G. V., JÄGER, E., & NIGGLI, E. (1974): *Alpine metamorphism of the Alps.* - Schweiz. mineral. petrogr. Mitt. 54, 247-290.
- GINDRAUX, G. (1975): *Minéralogie du Crétacé moyen dans les forages de la Presta (Val-de-Travers).* - Bull. Soc. neuchât. Sci. nat. 98, 149-162.
- GUTJAHR, C. C. M. (1960): *Palynology and its application in petroleum exploration.* - Trans. Gulf Coast Assoc. geol. Soc. 10, 175-187.
- (1966): *Carbonization measurements of pollen grains and spores and their application.* - Leidse geol. Meded. 38.
- HARRASSOWITZ, H. von (1927): *Anchimetamorphose, das Gebiet zwischen Oberflächen- und Tiefenumwandlung der Erdrinde.* - Ber. oberhess. Ges. Natur- u. Heilkd. (Giessen), natw. Abt. 12, 9-15.
- HOOD, A., & GUTJAHR, C. C. M. (1972): *Organic metamorphism and the generation of petroleum.* - Ann. Meet. geol. Soc. Amer., Nov. 1972, Minneapolis (unpubl. Pap.).
- JACOB, H., & KUCKELKORN, K. (1977): *Das Inkohlungsprofil der Bohrung Miesbach 1 und seine erdölgeologische Interpretation.* - Erdöl-Erdgas-Z. 93, 115-124.
- KÖTTER, K. (1960): *Die mikroskopische Reflexionsmessung mit dem Photomultiplier und ihre Anwendung auf die Kohlenuntersuchung.* - Brennst.-Chem. 41, 263-272.
- KÜBLER, B. (1964): *Les argiles, indicateurs de métamorphismes.* - Rev. Inst. franç. Pétrole 10, 1093-1113.
- (1967a): *La cristallinité de l'illite et les zones tout à fait supérieures du métamorphisme.* - Etages tectoniques, Colloque Neuchâtel, 18-21 avril 1966, 105-122.
 - (1967b): *Anchimétamorphisme et schistosité.* - Bull. Cent. Rech. Pau-SNPA 1, 259-278.
 - (1968): *Evaluation quantitative du métamorphisme par la cristallinité de l'illite: état des progrès réalisés ces dernières années.* - Bull. Cent. Rech. Pau-SNPA 2, 385-397.
 - (1970): *Crystallinity of illite. Detection of metamorphism in some frontal parts of the Alps.* - Fortschr. Mineral. 47/1, 39-40.
 - (1979): *Adsorbed gases, C₁ to C₄, in relation to petroleum exploration.* - U.N. ESCAP, CCOP tech. Bull. (in press).
- KUYL, O. S., MULLER, U., & WATERBOLK, H. T. (1955): *The application of palynology to oil geology, with special reference to western Venezuela.* - Geol. en Mijnb. [n.s.] 17/3, 49-75.
- LEMCKE, K. (1972): *Die Lagerung der jüngsten Molasse im nördlichen Alpenvorland.* - Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing. 39/95, 29-41.
- LOHR, J. (1969): *Die seismischen Geschwindigkeiten der jüngeren Molasse im ostschweizerischen und deutschen Alpenvorland.* - Geophys. Prospect. 17, 111-125.
- LUCAS, J. (1962): *La transformation des minéraux argileux dans la sédimentation. Etude sur les argiles du Trias.* - Mém. Serv. Carte géol. Als.-Lorr. 23.
- MARTINI, J. (1968): *Etude pétrographique des grès de Taveyanne entre Arve et Giffre (Haute-Savoie, France).* - Bull. suisse Minéral. Pétrogr. 48/2, 539-654.
- (1972): *Le métamorphisme dans les chaînes alpines externes et ses implications dans l'orogenèse.* - Bull. suisse Minéral. Pétrogr. 52/2, 257-275.
- MARTINI, J., & VUAGNAT, M. (1965): *Présence des faciès à zéolites dans la formation des «grès» de Taveyanne (Alpes franco-suisses).* - Bull. suisse Minéral. Pétrogr. 45, 281-293.

- MONNIER, F. (en prép.): *Diagenèse et corrélations minéralogiques à travers le bassin molassique suisse.* – Thèse Univ. Neuchâtel.
- OBERLIN, A., & TERRIÈRE, G. (1975): *Graphitization studies of anthracites by high resolution electron microscopy.* – Carbon 13, 367–376.
- PLANCHEREL, R. (1979): *Aspects de la déformation en grand dans les Préalpes médianes plastiques entre Rhône et Aar.* – Eclogae geol. Helv. 72/1, 145–214.
- RAYNAUD, J.F., & ROBERT, P. (1976): *Les méthodes d'étude optique de la matière organique.* – Bull. Cent. Rech. Pau – SNPA 10, 109–127.
- RIGASSI, D. (1977): *Genèse tectonique du Jura: une nouvelle hypothèse.* – Paleolab News 2, 1–27.
- ROBERT, P. (1974): *Analyse microscopique des charbons et des bitumes dispersés dans les roches et mesure de leur pouvoir réflecteur. Application à l'étude de la paléogéothermie des bassins sédimentaires et de la genèse des hydrocarbures.* – In: TISSOT, B., & BIENNER, F. (Eds.): *Adv. org. Geochem. 1973*, 549–569 (Technip, Paris).
- (1976): *Approche de la géothermie des séries sédimentaires par l'étude de la diagenèse organique: relations avec la tectonique profonde de l'écorce.* – Bull. Cent. Rech. Pau – SNPA 10, 271–285.
- ROSSET, J., CHAROLLAIS, J., TOUMARKINE, M., MANIVIT, H., CHATEAUNEUF, J.-J., & SCHAUB, H. (1976): *Présentation des différentes unités du synclinal de Thônes (Haute-Savoie, France).* – Eclogae geol. Helv. 69/2, 359–402.
- SAWATZKI, 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.
- STAPLIN, F. (1969): *Sedimentary organic matter. Organic metamorphism and oil and gas occurrence.* – Bull. canad. Petroleum Geol. 17/1, 47–66.
- TEICHMÜLLER, M. (1970): *Bestimmung des Inkohlungsgrades von kohligen Einschlüssen in Sedimenten des Oberrheingrabens – ein Hilfsmittel bei der Klärung geothermischer Fragen.* In: ILLIES, H., & MÜLLER, St. (Eds.): *Graben Problems* (p. 124–142). – Int. Upper Mantle Proj., sci. Rep. 27 (Schweizerbart, Stuttgart).
- (1971): *Anwendung kohlenpetrographischer Methoden bei der Erdöl- und Erdgasprospektion.* – Erdöl u. Kohle 24, 69–76.
- (1974): *Entstehung und Veränderung bituminöser Substanzen in Kohlen in Beziehung zur Entstehung und Umwandlung des Erdöls.* – Fortschr. Geol. Rheinl. Westfal. 24, 65–112.
- TEICHMÜLLER, M., & JUCH, D. (1978): *Kohlenpetrologische Methoden bei der Untersuchung eines Gas- und Kohlenausbruchs.* – Glückauf-Fortschr. 1, 21–31.
- TEICHMÜLLER, M., & TEICHMÜLLER, R. (1950): *Das Inkohlungsbild des Niedersächsischen Wealdenbeckens.* – Z. dtsh. geol. Ges. 100, 498–517.
- (1958): *Inkohlungsuntersuchungen und ihre Nutzanwendung.* – Geol. en Mijnb. [n.s.] 20/2, 41–66.
- (1975): *Inkohlungsuntersuchungen in der Molasse des Alpenvorlandes.* – Geologica bavar. 73, 123–142.
- (1978): *Coalification studies in the Alps.* In: CLOSS, ROEDER & SCHMIDT (Eds.): *Alps, Apennines, Hellenides* (p. 49–55). – Schweizerbart, Stuttgart.
- TEICHMÜLLER, R. (1973): *Die paläogeographisch-fazielle und tektonische Entwicklung eines Kohlenbeckens am Beispiel des Ruhrkarbons.* – Z. dtsh. geol. Ges. 124, 149–165.
- TISSOT, B.P., & WELTE, D.H. (1978): *Petroleum formation and occurrence.* – Springer, Berlin.
- TRÜMPY, R. (1976): *Du Pélerin aux Pyrénées.* – Eclogae geol. Helv. 69/2, 249–264.
- WEIDMANN, M. (1972): *Le front de la Brèche du Chablais dans le secteur de St-Jean d'Aulph (Haute-Savoie); quelques remarques générales sur la nappe de la Brèche.* – Géol. alp. 48/2, 229–246.
- WEIDMANN, M., HOMEWOOD, P., CARON, C., & BAUD, A. (1976): *Réhabilitation de la «Zone Sub-médiane» des Préalpes.* – Eclogae geol. Helv. 69/2, 265–277.

