

# Contribution à l'étude du flysch de la région des Fayaux (Préalpes externes vaudoises)

Autor(en): **Stuijvenberg, Jan van / Morel, René / Du Chêne, Roger Jan**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **69 (1976)**

Heft 2

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-164511>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

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

# Contribution à l'étude du flysch de la région des Fayaux (Préalpes externes vaudoises)<sup>1)</sup>

Par JAN VAN STUIJVENBERG<sup>2)</sup>, RENÉ MOREL<sup>2)</sup> et ROGER JAN DU CHÊNE<sup>3)</sup>

## ABSTRACT

A stratigraphical and sedimentological study of the Gurnigel-Flysch of the external Prealps N of Montreux (Lake Geneva region, Switzerland) has been carried out.

The study of calcareous nannoplankton and dinoflagellates shows that the age of this flysch ranges from Upper Cretaceous (Maastrichtian) to Lower Eocene (Ilerdian). A new dinoflagellate association, the *Deflandrea striata* association, indicating the Lower Paleocene, is defined. Glauconite, dated radiometrically by K/Ar method, turns out to be rejuvenated.

Depositional environment of the flysch of the Fayaux quarry is interpreted as fringe of a deep-sea fan below carbonate compensation depth. The clay mineral content has been determined.

Comparisons with other parts of the Gurnigel-Flysch in the external Prealps, and with the ultrahelvetic flysch of the internal Prealps (Zone des Cols) are made.

## 1. Introduction

### 1.1 Situation géographique et géologique

La région étudiée se trouve au N de Montreux dans les Préalpes vaudoises (fig. 1). Le Flysch du Gurnigel, occupant une large place dans l'ensemble des Préalpes externes, est la principale formation rencontrée dans ce secteur (fig. 2).

### 1.2 Historique et état du problème

Les auteurs ayant levé la carte géologique de ce territoire (GAGNEBIN 1922 et BADOUX 1965) ont toujours considéré le Flysch du Gurnigel comme un ensemble d'âge Eocène et d'origine ultrahelvétique. Cette opinion est exprimée dans le compte rendu du V<sup>e</sup> Congrès international de Sédimentologie (1958) qui a visité la principale carrière des Fayaux (notée comme «carrière inf. 1» dans ce texte).

Comme HAY & MOHLER (in SCHAUB 1965) dans le Flysch du Schlieren, HEKEL (1968) a montré qu'il est possible de subdiviser en biozones les séries apparemment

---

<sup>1)</sup> Ce travail a bénéficié de l'aide du Fonds National Suisse de la Recherche Scientifique, projets n° 2520/71 et 2.1690/74.

<sup>2)</sup> Institut de Géologie, Université de Fribourg, Pérolles, CH-1700 Fribourg (Suisse).

<sup>3)</sup> Laboratoire de Géologie et Paléontologie, 13, rue des Maraîchers, CH-1211 Genève (Suisse). Adresse actuelle: Department of Geology, University of Ife, Ile Ife, Nigeria.

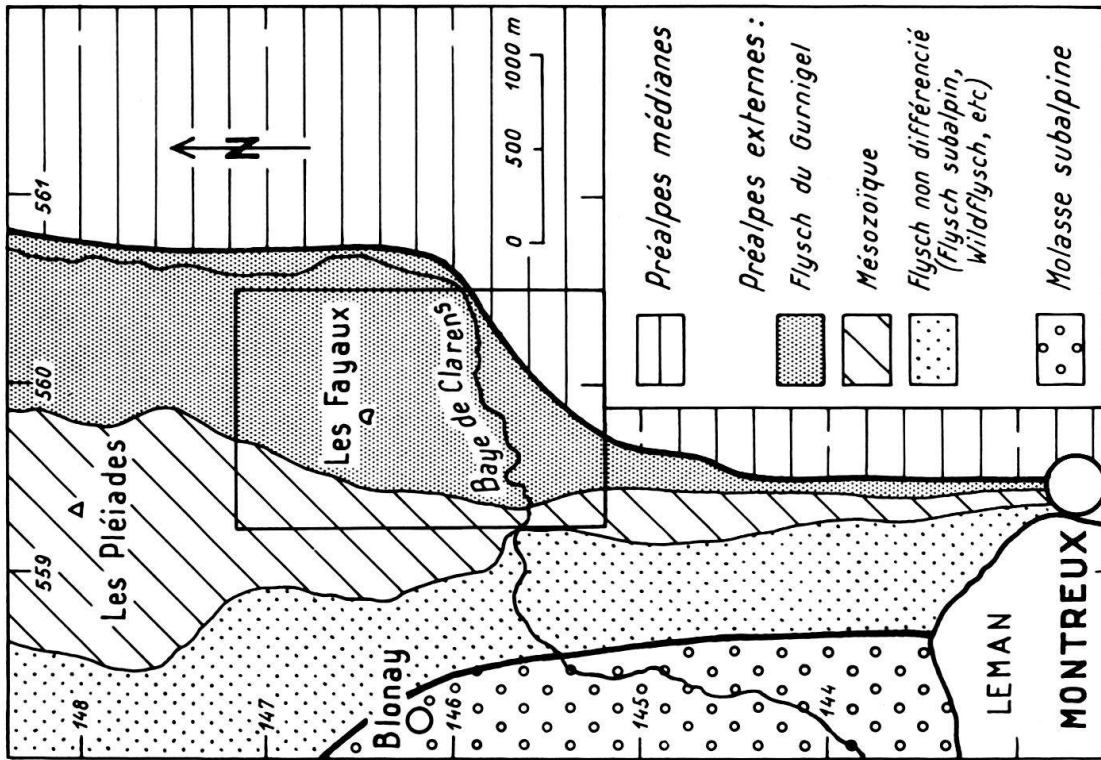


Fig. 2. Schéma structural simplifié des Préalpes au N de Montreux. Le rectangle indique le secteur étudié, cf. figure 4.

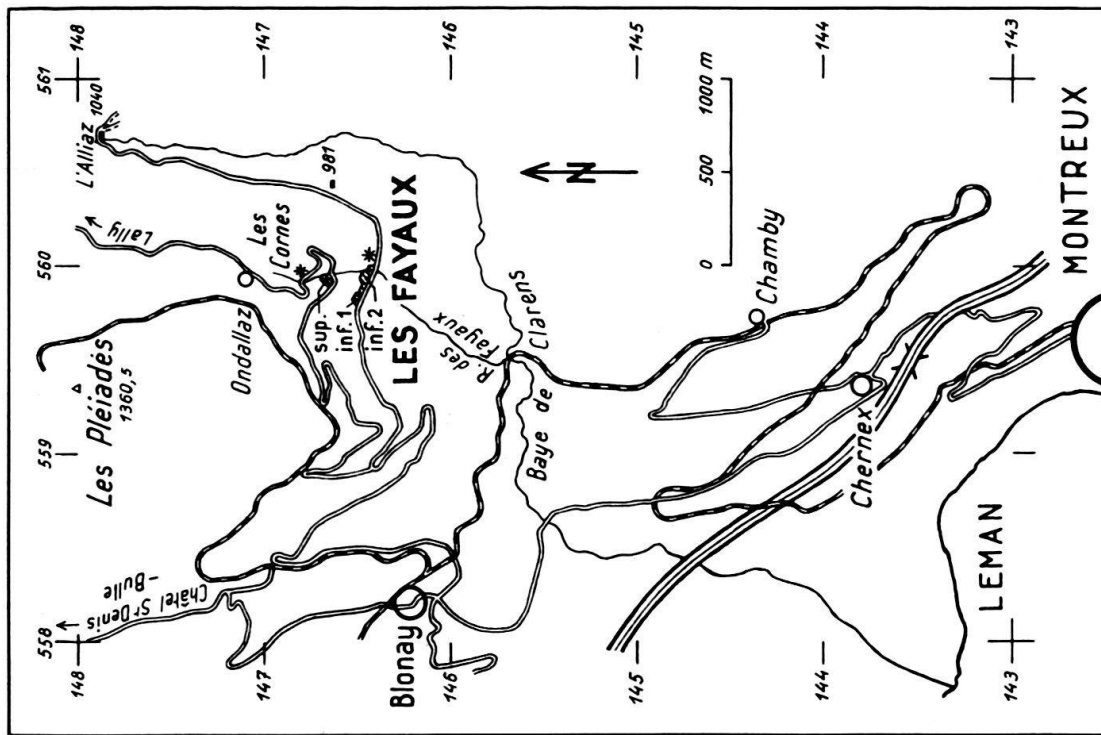


Fig. 1. Carte de situation des affleurements étudiés. Les endroits marqués (\*) sont ceux mentionnés par GAGNEBIN (1920, 1924).

monotones du Flysch du Gurnigel en utilisant les nannofossiles calcaires. Par la suite, la biostratigraphie de ce flysch, basée sur les nannofossiles calcaires, les Nummulites et les Dinophyceae, a été entreprise dans divers secteurs des Préalpes externes par KAPELLOS (1973), VAN STUIJVENBERG (1973) et JAN DU CHÊNE et al. (1975).

Les premiers travaux de sédimentologie concernant ce flysch sont ceux de CROWELL (1955), HSÜ (1960) et HUBERT (1967). Ils ont été effectués dans des séries dont l'âge et la position structurale étaient inconnus ou incertains et ont actuellement une valeur limitée. A la suite des travaux sédimentologiques de MUTTI & RICCI LUCCHI (1972), on cherche à intégrer les dépôts de type flysch dans un modèle dynamique de «fans» sous-marins. Un premier essai dans ce sens a été tenté par SCHÜPBACH & MOREL (1974).

Enfin, l'attribution tectonique et l'origine paléogéographique du Flysch du Gurnigel sont controversées. KAPELLOS (1973), HOMEWOOD (1974) et CARON (1976) rejettent une origine ultrahelvétique.

### 1.3 *But et étendue du travail*

Une série de travaux biostratigraphiques, sédimentologiques et structuraux sont en cours, à l'Institut de Géologie de Fribourg, dans divers secteurs du Flysch du Gurnigel. Cette contribution à la connaissance de ce flysch dans la région des Fayaux s'inscrit dans ce contexte. Elle comprend trois parties:

- une étude biostratigraphique à l'aide des nannofossiles calcaires et des Dinophyceae, ainsi qu'un essai de détermination de l'âge absolu par la méthode K/Ar;
- une interprétation du milieu et des conditions de dépôt de ce flysch ainsi qu'une étude des minéraux argileux dans la «carrière inf. 1»;
- des comparaisons avec les autres secteurs du Flysch du Gurnigel et les flyschs ultrahelvétiques de la Zone des Cols (Préalpes internes).

### 1.4 *Affleurements étudiés*

Le Flysch du Gurnigel affleure dans de bonnes conditions dans la Baye de Clarens, entre les points 615 et 780, dans le Ruisseau des Fayaux, entre les points 655 et 790, et dans une série de carrières abandonnées ou en exploitation situées en bordure des routes menant vers L'Alliaz («carrières inf. 1 et inf. 2») ou vers Lally («carrière sup.»). Nous avons également prélevé des échantillons dans les talus bordant ces deux routes, ainsi qu'à Chernex en bordure de l'autoroute, à Ondallaz et dans la région des Cornes (fig. 1).

## 2. Résultats stratigraphiques

### 2.1 *Généralités*

La biostratigraphie du Flysch du Gurnigel dans la région étudiée a été établie à l'aide du nannoplancton calcaire et des Dinophyceae. Les relations entre les deux

biozonations sont illustrées par la figure 3. Il faut préciser que les limites des étages en relation avec les biozones varient avec les auteurs (BERGGREN 1972, POMEROL 1973, KAPELLOS 1973), et que certains d'entre eux placent l'Ilerdien dans le Paléocène (séance sur l'Ilerdien, Paris 1974).

Nous avons tenté de corrélérer les associations de nannofossiles avec la présence de Nummulites.

Enfin, un essai de datation de la glauconie de la «carrière inf. 1» par la méthode K/Ar a été entrepris.

## 2.2 *Nannoplancton calcaire*

Sur 120 échantillons prélevés, 70 étaient stériles, 30 déterminables, et seulement une vingtaine contenait une nannoflore en plus ou moins bon état de conservation. Les nannofossiles n'ont pu être extraits que dans quelques niveaux turbiditiques ( $T_e$ , de BOUMA, cf. WEIDMANN 1967), les niveaux hémipélagiques ( $T_{ep}$ ) totalement dépourvus de carbonate étant stériles (cf. 3.3).

Nous avons utilisé la zonation standard de MARTINI (1971). Elle est la plus pratique et s'est avérée très utile dans la région décrite. Les nannozones vont du Maastrichtien à l'Ilerdien inclus. Un seul affleurement s'est révélé être d'âge priabonien (cf. 4.). La répartition des biozones est représentée sur la figure 5, où les complications tectoniques n'ont pas été indiquées.

Le Maastrichtien a été trouvé à Ondallaz et au S de Chernex. Il est caractérisé par une association à *Arkhangellskiella cymbiformis*. Nous n'avons pas trouvé les zones à *Lithraphidites quadratus* et *Nephrolithus frequens*. L'affleurement d'Ondallaz est petit et isolé; il se trouve à proximité du chemin de fer. L'affleurement de

SERIE	ETAGE	BIOZONES			
		<i>Nannoplancton</i> (d'après Martini 1971)	<i>Dinophyceae</i> (d'après Jan Du Chêne et al. 1975)		
EOCENE INF.	Ilerdien	Np 11 <i>Discoaster binodosus</i>	<i>W.coleothrypha</i>		
		Np 10 <i>Marthasterites contortus</i>	<i>Wetzeliella homomorpha</i>		
		Np 9 <i>Discoaster multiradiatus</i>			
PALEOCENE SUP.	Thanétien	Np 8 <i>Heliolithus riedeli</i>	<i>Deflandrea speciosa</i>		
		Np 7 <i>Discoaster gemmeus</i>			
		Np 6 <i>Heliolithus kleinpelli</i>			
		PALEOCENE INF.	(Montien) Danien	Np 5 <i>Fasciculithus tympaniformis</i>	<i>Deflandrea striata</i>
				Np 4 <i>Ellipsolithus macellus</i>	
				Np 3 <i>Chiasmolithus danicus</i>	
Np 2 <i>Cruciplacolithus tenuis</i>					
CRETACE SUP.	Maastrichtien	Np 1 <i>Markalius inversus</i>			
		<i>Nephrolithus frequens</i>			

Fig. 3. Corrélation entre biozones et étages, et position de la nouvelle association à *D. striata*.

Chernex, au-dessus de la culée W du pont de l'autoroute, étant très tectonisé, nous ne pouvons pas établir avec certitude s'il s'agit d'écaïlles ou d'une série uniquement maastrichtienne.

Le Danien, zones Np 1 à *Markalius inversus*, Np 2 à *Cruciplacolithus tenuis*, Np 3 à *Chiasmolithus danicus* et Np 4 à *Ellipsolithus macellus*, a été trouvé dans la Baye de Clarens, au-dessus du pont de chemin de fer, dans la partie inférieure du Ruisseau des Fayaux et à la base de la «carrière inf. 1». Il ne nous a pas été possible d'individualiser chacune de ces quatre zones. Comme KAPELLOS (1973) et VAN STUIJVENBERG (1973), nous n'avons pu qu'identifier une association à *Ericsonia cava*, *Cruciplacolithus tenuis* et *Chiasmolithus danicus*, caractéristique du Paléocène inférieur.

Nous attribuons la «carrière inf. 1», sauf sa partie basale, à la zone Np 5 à *Fasciculithus tympaniformis*. La première moitié de la «carrière inf. 2» renferme la zone Np 6 à *Heliolithus kleinPELLI*. Les zones Np 7 à *Discoaster gemmeus* et Np 8 à *Heliolithus riedeli* en constituent la partie supérieure. Cette dernière zone, très souvent indiscernable à cause de la rareté de *H. riedeli*, a été aisément identifiée dans la région étudiée grâce à la relative abondance de cette espèce. Les zones Np 9 à *Discoaster multiradiatus*, Np 10 à *Marthasterites contortus* (dans un seul échantillon) et Np 11 à *Discoaster binodosus* affleurent en bordure de la route de l'Alliaz à l'E de la «carrière inf. 2».

La même biozonation se retrouve le long de la route de Lally et dans la Baye de Clarens, où cependant les zones Np 6, Np 7, et Np 8 n'affleurent pas.

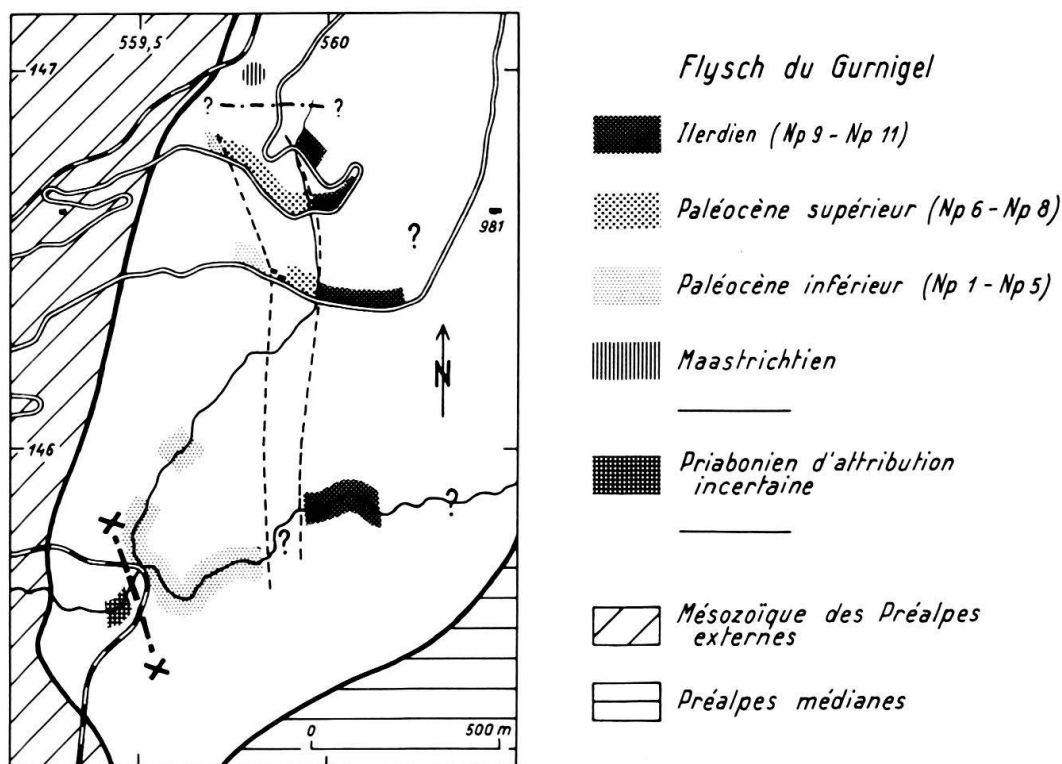


Fig. 4. Subdivision stratigraphique du Flysch du Gurnigel dans la région des Fayaux et de la Baye de Clarens.

### 2.3 *Dinophyceae*

Les observations palynologiques ont été effectuées sur une vingtaine d'échantillons récoltés dans les «carrières inf. 1, inf. 2 et sup.», et dans les affleurements situés en bordure des routes de Lally et de l'Alliaz. L'état de conservation des Dinophyceae était généralement bon. Le matériel a été récolté dans les niveaux turbiditiques.

La biozonation trouvée dans la région des Fayaux est en parfaite concordance avec celle décrite dans le Flysch des Voirons par JAN DU CHÊNE et al. (1975) pour le Paléocène supérieur et l'Ilerdien. Les associations à *Wetzeliella homomorpha* et *Deflandrea speciosa* ont été retrouvées dans les mêmes niveaux: ainsi la zone Np 8 correspond exactement à la partie supérieure de l'association à *Deflandrea speciosa*. La «carrière supérieure» n'a pas fourni de nannofossiles calcaires et l'âge thanétien de celle-ci a été établi grâce aux Dinophyceae.

L'étude des Dinophyceae de la «carrière inf. 1» nous a amenés à définir une nouvelle association: l'association à *Deflandrea striata* (fig. 5). L'association à *Deflandrea striata* est caractérisée par la présence de *Deflandrea striata*, de *Paleoperidinium basilium* et de nombreux *Areoligera coronata*, *Cordosphaeridium inodes* et *Cyclonephelium exuberans*. On peut également trouver *Svalbardella australina*, *Veryhiachium hyalodernum*, *Gonyaulacysta wetzeli* et *Cordosphaeridium biarmatum*.

La limite supérieure de cette association est définie par l'apparition de *Deflandrea speciosa* et *D. oebisfeldensis* qui caractérisent le Thanétien dans le Flysch des Voirons. La position de cette limite peut être déterminée par les nannofossiles calcaires: dans les Voirons, la limite inférieure à *Deflandrea speciosa* se trouve dans la zone Np 5 ou plus bas, les affleurements ne permettant pas d'être plus précis.

L'association à *D. striata* a été identifiée dans la «carrière inf. 1». Celle-ci représente la zone Np 5, sauf sa partie basale qui se trouve dans les zones Np 1 – Np 4. En comparant les données du Flysch des Voirons et de la «carrière inf. 1», nous pouvons affirmer que la limite entre la zone à *D. speciosa* et *D. striata* se trouve dans la zone Np 5 à *Fasciculithus tympaniformis*, donc dans le Thanétien inférieur (cf. fig. 3).

La limite inférieure de l'association à *D. striata* n'est pas encore connue. On peut la placer hypothétiquement à la limite Maastrichtien – Danien. Une comparaison avec le Paléocène inférieur du Flysch du Gurnigel (Point 6 de HEKEL 1968, p. 502, fig. 2) montre une association très proche avec de nombreux *Cyclonephelium exuberans* et *Paleoperidinium basilium*. Par contre, dans les niveaux maastrichtiens de la même coupe, on trouve *P. basilium* accompagné de nombreux *Ceratiopsis (Deflandrea) diebeli*, *Astrocysta (Lejeunia) kozlowskii* et de *Deflandrea* sp. du Crétacé supérieur scandinave, figurées par WILSON (1971, pl. 1, fig. 15 et 16) (JAN DU CHÊNE, observations non publiées et travail en cours).

*Deflandrea striata* et *P. basilium* ont été décrits par DRUGG (1967) dans le Danien de la «Upper Moreno Formation» en Californie. Dans cette dernière, dans la partie attribuée au Danien supérieur par DRUGG, on voit l'apparition progressive de *D. speciosa* et la disparition progressive de *D. striata* et de *P. basilium*. Ces deux dernières espèces sont rares ou absentes dans le Thanétien du Flysch des Voirons. MORGENROTH (1968) a trouvé, entre autre, dans le Danien type: *Gonyaulacysta wetzeli*, *Areoligera coronata*, *Prolixosphaeridium (Hystrichosphaeridium) xanthio-*

CARRIÈRE DES FAYAUX inf. I		Base					Sommet		
		RJC 1392	1393	1394	1395-96	1397	1398	1399	
DINO PHYCÉES	1. <i>PALEOPERIDINIUM basiliun</i>								1
	2. <i>AREOLIGERA coronata</i>								2
	3. <i>AREOLIGERA sp.</i>								
	4. <i>AREOLIGERA senonensis</i>	4							
	5. <i>DEFLANDREA striata</i>								5
	6. <i>SVALBARDELLA australina</i>								6
	7. <i>LEJEUNIA sp.</i>								7
	8. <i>VERYHIACHIUM hyalodermum</i>								8
	9. <i>HYSTRICHOSP. type tubiferum</i>								9
	10. <i>SPINIFERITES ramosa ramosa</i>								10
	11. <i>SP. ramosa gracilis</i>								
	12. <i>SPINIFERITES sp.</i>		12						11
	13. <i>DEFLANDREA wetzeli</i>								
	14. <i>CYCLONEPH. exuberans</i>								14
	15. ? <i>ADNATOSPHAER pattulum</i>								15
	16. <i>CERATIOPSIS diebeli</i>								16
	17. <i>PROLIXOSPHAER xanthiopyxides</i>								17
	18. <i>ACHOMOSPHAERA alcicornu</i>								18
	19. <i>CORDOSPHAERIDIUM biarmatum</i>								19
	20. <i>CORDOSPH. filosum</i>								20
	21. <i>CORDOSPH. inodes</i>								21
	22. <i>GONYAULACYSTA wetzeli</i>								22
	23. <i>DICODINIUM Fehmarnense</i>								23
	24. <i>SPINIFERITES cf. furcata</i>								24
	25. <i>CLEISTOSPH. sp.</i>								25
	26. <i>LANTERNOSPHAERIDIUM sp.</i>								26
	27. <i>OLIGOSPHAERIDIUM umbratus</i>								27
	28. <i>PALMICKIA sp.</i>								28
	29. <i>SPINIFERITES crassipellis</i>								29
	30. <i>EISENACKIA sp.</i>								30
	31. <i>HYSTRICHOSP. tubiferum brevispinum</i>								31
	32. <i>ACHOMOSPHAERA sp.</i>								32
	33. <i>SPINIFERITES incerta</i>								33
	34. <i>HYSTRICHOKOLPOMA sp.</i>								34
	35. <i>SP. ramosa membranacea</i>								35
SPORES ET POLLENS	36. <i>POLYPODIACEAE</i>							36	
	37. <i>LEIOTRILETES adriennis</i>							37	
	38. <i>TRILITES sp.</i>							38	
	39. <i>PUNCTATISPORITES sp.</i>							39	
	40. <i>CICATRICOSISPORITES dorogensis var. minor</i>							40	
	41. <i>PITYOSPORITES type alatus</i>							41	
	42. <i>PODOCARPACEAE</i>							42	
43. <i>TRIATRIOP. roboratus</i>							43		

Fig. 5. Distribution stratigraphique des Dinophyceae, spores et pollens de la carrière des Fayaux (inf. I), Thanétien basal (Np 5 inf.). Echantillons RJC 1392-1399 en ordre stratigraphique.

*pyxides*, *Veryhiachium haylodernum* et de nombreux *Cordosphaeridium inodes*. Ces espèces sont toutes présentes dans la «carrière inf. I».

L'étude des affleurements de la région des Fayaux permet donc de définir une association à *Deflandrea striata* qui caractérise le Danien et l'extrême base du Thanétien.

### 2.4 Nummulites

Nous n'avons consacré que peu de temps à l'étude de ce groupe, et nous nous contenterons d'émettre quelques remarques sur ces foraminifères dont la présence avait été signalée par GAGNEBIN (1920), et qui avaient été datés du Lutétien. Cet



âge a été attribué abusivement, par la suite, à tout le Flysch du Gurnigel dans ce secteur (cf. paragraphe 1.2). Le gisement des Cornes signalé par cet auteur a pu être retrouvé. Nous avons également observé quelques Nummulites dans la Baye de Clarens et au sommet des « carrières inf. 2 et sup. ».

Il est important de remarquer que la présence de Nummulites coïncide toujours avec l'apparition de nannofossiles calcaires attribuables aux zones Np 9, Np 10 et Np 11 indiquant l'Ilerdien.

### 2.5 Age absolu

A l'extrême base de la « carrière inf. 1 » se trouve un banc de grès contenant environ 40% de glauconie. L'âge relatif étant connu (base de la zone Np 5), nous avons demandé à M. Hunziker, du Laboratoire des isotopes de l'Université de Berne, de bien vouloir déterminer l'âge absolu de cette glauconie. Nous lui exprimons notre vive reconnaissance. Les résultats de l'analyse isotopique sont les suivants:

K: 6,27%

Ar<sub>rad.</sub>: 90,8%

Age apparent:  $43,5 \pm 1,4$  Ma, ce qui correspondrait au Lutétien inf. (ODIN 1975).

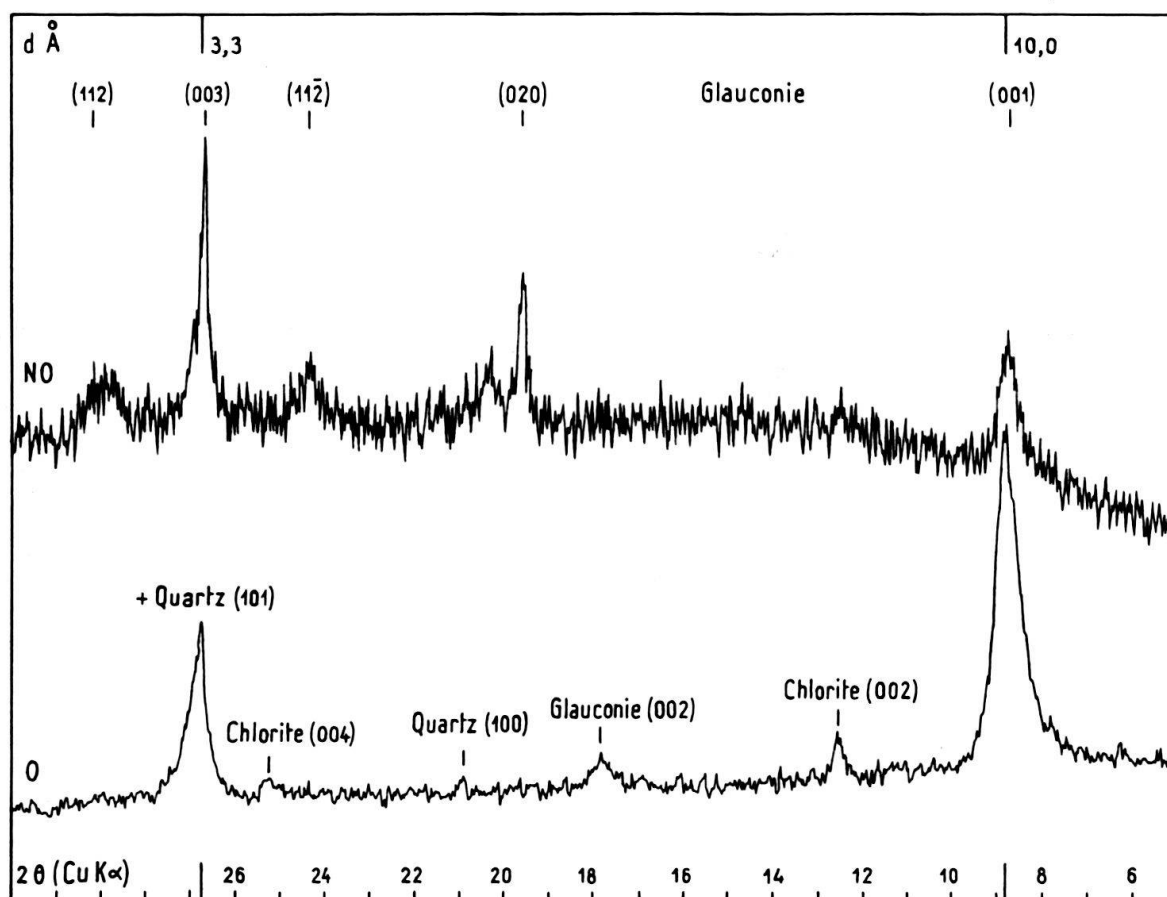


Fig. 6. Diffractogrammes de la glauconie de la carrière des Fayaux (inf. 1). NO = préparation non orientée; O = préparation orientée.

C'est nettement plus jeune que l'âge de 55 Ma admis pour la base du Thanétien (ODIN 1975). A la vue de ce résultat obtenu à partir du meilleur matériel que nous ayons pu récolter, nous n'avons pas poursuivi les essais.

Cet essai de datation n'a pas de signification chronostratigraphique. Nous formulerons quelques remarques à ce sujet:

1. Les résultats de l'analyse de cette glauconie par diffraction aux rayons X sont présentés dans la figure 6. Suivant la classification d'ODIN (1975), celle-ci est constituée de glauconite bien fermée (le réflexe 001 se trouve à 10,1 Å), mais elle est un peu désordonnée (les réflexes 112 et 11 $\bar{2}$  sont plus bas que le réflexe 003). Ceci correspond bien à la teneur en potassium.
2. Sa genèse s'est vraisemblablement effectuée dans une zone plus élevée que le bassin profond vers lequel elle a été transportée par courants de turbidité. Son dépôt sous forme de turbidites peut donc être considéré comme pénécemporain de sa genèse.
3. Ce flysch ne semble pas avoir subi d'influences anchimétamorphiques (l'indice de cristallinité de l'illite est d'environ 20, cf. 3.5).
4. L'âge absolu de cette glauconie a subi un rajeunissement par perte d'argon. Deux facteurs peuvent en être rendus responsables:
  - un effet d'enfouissement dû à la sédimentation (d'après KAPELLOS 1973 et VAN STUIJVENBERG 1973 l'épaisseur du Flysch du Gurnigel serait d'environ 1500 m);
  - un effet de l'orogénèse. FREY et al. (1973) ont montré qu'une tectonisation modérée peut induire une perte d'argon, sans pour autant influencer la cristallinité de l'illite.

## 2.6 Conclusions

La somme des divers résultats stratigraphiques démontre que le Flysch du Gurnigel dans la région des Fayaux constitue une série plus ou moins complète allant du Maastrichtien à l'Ilerdien.

## 3. Résultats et interprétation sédimentologiques

### 3.1 Généralités

Le magnifique affleurement de la «carrière inf. 1» est bien connu. Il a été notamment visité au cours d'une excursion du V<sup>e</sup> Congrès international de Sédimentologie de Lausanne-Genève 1958. Voici ce qu'en dit le livret-guide: «... Flysch lutétien de la Nappe des Préalpes bordières (Ultrahelvétique). Alternance de grès et schistes bien stratifiés, en eau probablement peu profonde, nombreuses pistes, débris de plantes.»

WEIDMANN (1967)<sup>4)</sup> a étudié en détail le flysch de la «carrière inf. 1» et souligne nettement le caractère de sédiments déposés en milieu profond.

### 3.2 Description générale

La coupe de la «carrière inf. 1» a été levée en détail (fig. 7). Il s'agit d'une remarquable alternance de bancs de grès et de lutites. Les grès présentent toujours

---

<sup>4)</sup> Nous tenons à exprimer notre plus vive gratitude à M. Weidmann, du Musée géologique de Lausanne, pour les stimulantes discussions, la communication de nombreux résultats non publiés et la mise à disposition de ses propres lames minces ainsi que celles déposées au Musée.

les séquences de BOUMA avec un large éventail de structures sédimentaires: «sole marks», «graded bedding», laminations parallèles, «convolute bedding». Ils débutent habituellement par l'intervalle  $T_b$  ou  $T_c$  de BOUMA et sont suivis par les intervalles argilo-silteux  $T_d$  et  $T_e$ . Ce type de séquences correspond aux faciès  $D_1$  et  $D_2$  de MUTTI & RICCI LUCCHI (RICCI LUCCHI 1975). Entre ces séquences principales, on trouve des séquences mineures débutant par les intervalles  $T_{de}$  ou  $T_{e'}$ . Sur le profil, ils sont interprétés comme «bruit de fond». Il s'agit du faciès  $D_3$  de MUTTI & RICCI LUCCHI. Au sommet de quelques séquences turbiditiques, qu'elles soient de faciès  $D_1$ ,  $D_2$  ou  $D_3$ , nous avons observé des niveaux argilo-silteux de couleur verte que nous interprétons comme l'intervalle hémipélagique  $T_{ep}$  ou faciès G de MUTTI & RICCI LUCCHI (fig. 7). Ce matériel hémipélagique constitue de petites strates inférieures à 5 cm et représente environ 2% du profil.

Signalons que l'on trouve parfois des niveaux verts, également argilo-silteux, dans les intervalles turbiditiques. Leur présence est vraisemblablement due à un remaniement de matériel hémipélagique.

### 3.3 Bathymétrie

Pour estimer celle-ci, nous avons utilisé deux critères:

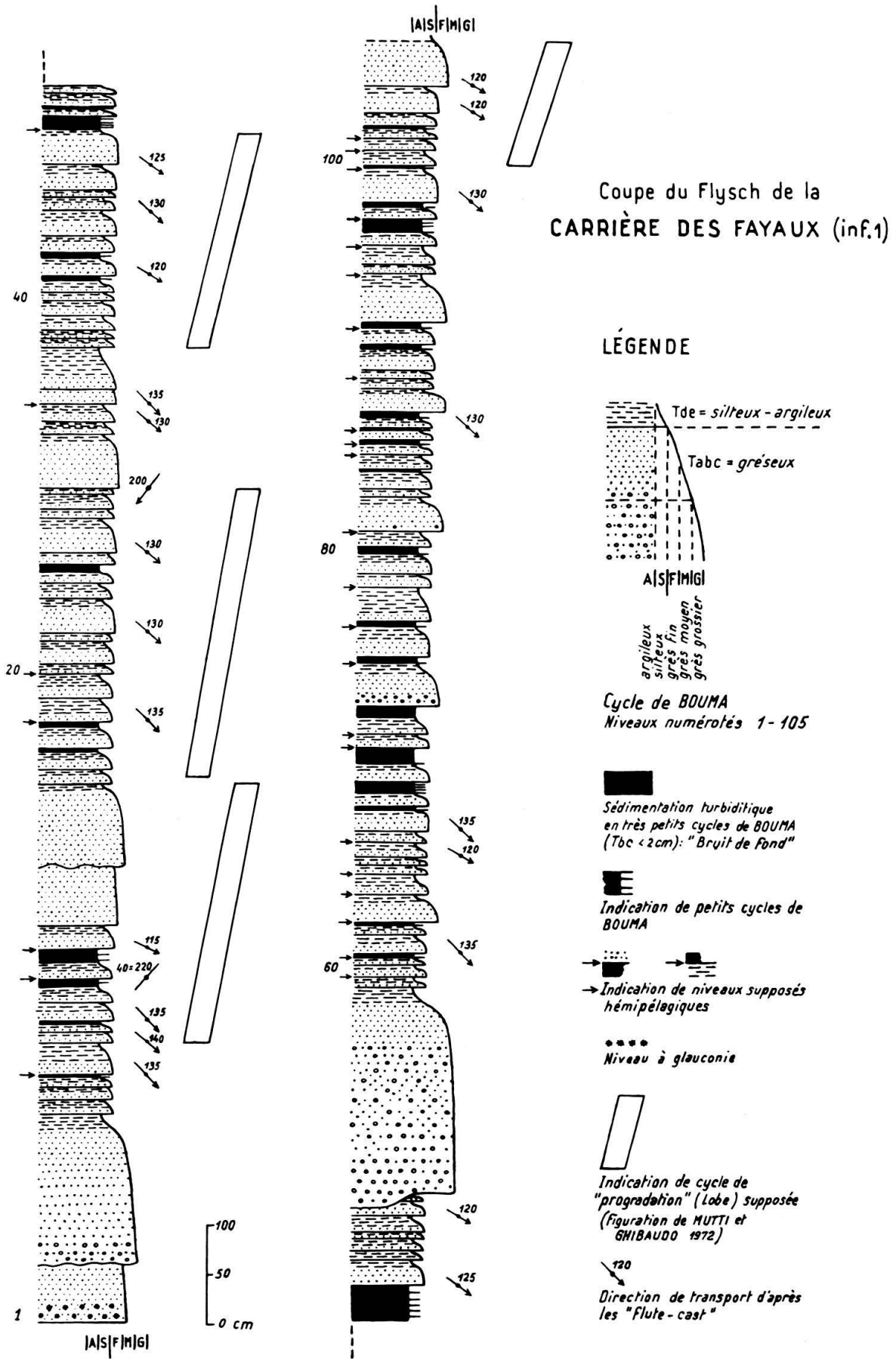
*Critère sédimentologique.* Le flysch de la «carrière inf. 1» est généralement pauvre en carbonate, les niveaux turbiditiques en contiennent un faible pourcentage. Par contre, les niveaux hémipélagiques en sont totalement dépourvus. Ceci peut être interprété comme un dépôt situé en-dessous du niveau de compensation des carbonates.

La dissolution d'une forte proportion des éléments carbonatés est un facteur non négligeable lorsqu'on considère le faible taux de sédimentation, qui est de 6 à 7 cm/1000 ans; cette carrière mesure environ 40 m et correspond à une demi-zone de nannoplancton (Np 5 à *F. tympaniformis*), soit environ 600000 ans. Le même ordre de grandeur (5 cm/1000 ans) a été trouvé dans la région du Gurnigel (VAN STUIJVENBERG 1973).

*Critère micropaléontologique.* Le nannoplancton calcaire est totalement absent des niveaux hémipélagiques. Par contre, les intervalles  $T_e$  et  $T_{ep}$  ont fourni une riche association, partiellement remaniée, de foraminifères benthiques agglutinés; mais ces mêmes intervalles sont totalement dépourvus de foraminifères benthiques perforés calcaires et de foraminifères planctoniques. Madame Grünig, de l'Institut de Géologie de Berne, a bien voulu déterminer cette microfaune. Nous la remercions vivement.

Fig. 7. Coupe du flysch de la carrière des Fayaux (inf. 1).

Niveaux 1-57:	dominance des cycles de «progradation».
Niveau 58:	niveau épais indiquant un changement dans la morphologie du «fan».
Niveaux 59-99:	dominance de la sédimentation de plaine abyssale.
Niveaux 100-105:	reprise de l'influence du «fan».



L'étude des foraminifères benthiques agglutinés a montré une nette prédominance des formes uniloculaires (*Rhabdammina*, *Bathysiphon*, *Psammosphaera*, *Ammodiscus*, *Glomospira* et *Lituotuba*) sur les formes pluriloculaires unisériées (*Hormosina* et *Rheophax*). Cette association est tout à fait comparable à celle décrite dans le Flysch du Gurnigel de la carrière de Zollhaus par BROUWER (1965). Celui-ci insiste sur le caractère abyssal de cette faune à *Rhabdammina*.

En conclusion, les critères sédimentologiques et micropaléontologiques soulignent le caractère de dépôt abyssal du flysch de la «carrière inf. 1», comme l'avait reconnu WEIDMANN. Ne connaissant pas les variations du niveau de compensation des carbonates (l'échelle de BERGER & WINTERER 1974 n'est valable que pour l'Atlantique et le Pacifique, à partir de 50 Ma), ni les particularités du bassin où s'est déposé ce flysch, il ne nous est pas possible d'en évaluer la profondeur. Une valeur de 3 à 6 km peut être envisagée.

Nos conclusions sont très semblables à celles de SCHOLLE (1971), qui a étudié le Flysch du Monte Antola (Italie). HSÜ & SCHLANGER (1971) sont arrivés à des conclusions identiques quant à la bathymétrie du Flysch du Gurnigel. Ces auteurs, cependant, ont raisonné sur le contenu de l'intervalle  $T_e$  («shaly interbeds») sans distinguer la partie turbiditique  $T_{e'}$  et la partie hémipélagique  $T_{e''}$  qui est apparemment toujours dépourvue de nannoplancton calcaire. La présence de ce dernier dans l'intervalle  $T_{e'}$  n'a pas plus de signification bathymétrique que la présence de glauconie, de foraminifères benthiques, d'algues ou d'autres débris organogènes dans la partie turbiditique  $T_{a-e'}$  (cf. HESSE 1975).

#### 3.4 Essai d'intégration du Flysch de la «carrière inf. 1» dans un modèle sédimentologique

Depuis quelques années, divers auteurs (MUTTI & RICCI LUCCHI 1972, RICCI LUCCHI 1975) ont reconnu une organisation des strates dans les divers flyschs. Celle-ci s'intègre dans un modèle de «fans» sous-marins situés au pied du talus continental et «progradant» sur le fond d'un bassin ou sur la plaine abyssale. Ce «fan» se subdivise en trois parties: une partie interne à faciès proximaux, située au débouché d'un cañon canalisant les courants de turbidité s.l.; une partie médiane, chenalisée et distribuant les sédiments, et enfin une partie externe ou d'accumulation (fig. 8). Le «fan» sous-marin est un système dynamique caractérisé par la divagation des chenaux et par la «progradation» de l'ensemble sur le fond du bassin. De tels systèmes ont été reconnus dans les océans actuels (NORMARK 1970, HANER 1971). Une bibliographie des travaux récents traitant ce sujet se trouve dans RICCI LUCCHI (1975).

Nous avons tenté, après SCHÜPBACH & MOREL (1974), d'appliquer un tel modèle au flysch de la «carrière inf. 1».

En examinant l'organisation des strates dans la carrière ou dans le profil de la figure 7, on observe une légère différence entre les parties inférieure et supérieure. Dans la partie inférieure, les divers cycles de BOUMA se suivent dans un certain

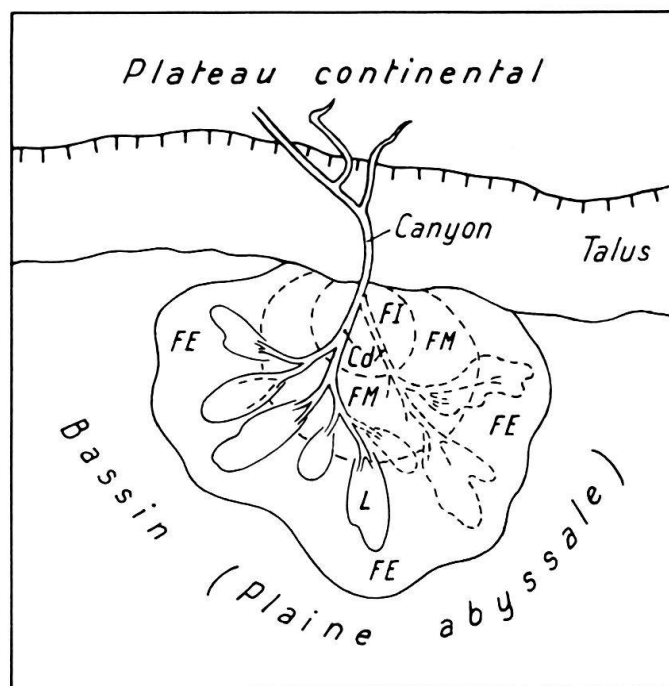


Fig.8. Schéma d'un «fan» sous-marin. FI = «fan» interne; FM = «fan» médian; FE = «fan» externe; Cd = chenal de distribution; L = lobe (cycles de «progradation»). Simplifié d'après MUTTI & RICCI LUCCHI in RICCI LUCCHI 1975.

ordre; ils sont organisés en 3 cycles de «progradation» caractérisés par un épaississement des strates vers le haut. Ce type de cycle, peu développé et constitué uniquement de faciès *D* de MUTTI & RICCI LUCCHI, est typique de la portion la plus externe («fan fringe») d'un «fan» sous-marin. Ici les cycles de BOUMA sont riches en figures sédimentaires («flute casts», laminations, «convolute bedding») et ne comportent que rarement l'intervalle  $T_{ep}$ . La présence de plusieurs cycles de «progradation» se succédant peut être interprétée comme étant le résultat d'une divagation brusque des chenaux dans une partie plus interne du «fan». Il est possible que le banc couronnant le 2<sup>e</sup> cycle (cf. fig.7) de «progradation», et présentant une direction de transport différente, ait interrompu celui-ci. La très épaisse strate apparaissant au milieu du profil est également interprétée dans ce sens, à la seule différence que les modifications morphologiques intervenues dans le «fan» se seraient faites à une grande échelle: les zones d'accumulation active sont ainsi déplacées. A un système de dépôts de cycles de «progradation» s'est substituée la sédimentation de la plaine abyssale formée d'une suite désordonnée de turbidites. C'est ainsi que nous interprétons la partie supérieure du profil. Par comparaison avec la partie inférieure, les intervalles  $T_{ep}$  sont plus nombreux et les structures sédimentaires moins bien développées. L'évolution morphologique du «fan», et par conséquent une progression des zones d'accumulation active sont indiquées par le cycle de «progradation» du sommet du profil. Dans la «carrière inf.2», stratigraphiquement plus haut, l'influence du «fan» est devenue dominante: elle se traduit par l'apparition d'un grand cycle de «progradation». Celui-ci semble confirmer notre interprétation de la «carrière inf.1».

### 3.5 Etudes des argiles

Nous avons analysé ces minéraux dans le but<sup>5)</sup>:

- de déterminer la nature des minéraux argileux contenus dans les intervalles  $T_{e'}$  et  $T_{ep}$  et d'y déceler une différence éventuelle;
- d'apprécier le degré de diagenèse par la mesure de la cristallinité de l'illite.

Les proportions des minéraux argileux ont été calculées d'après les hauteurs des pics pour l'illite, la chlorite, la kaolinite et la montmorillonite et par intégration des surfaces des pics pour l'ensemble des Interstratifiés.

#### Résultats

Ils sont résumés dans la figure 9. La nature et la répartition des minéraux argileux pour la «carrière inf. 1» est la suivante: 60% d'illite, 35% d'interstratifiés du type I60-80/M20-40 et 5% de chlorite. Cette composition est normale pour un flysch (KÜBLER 1970).

Par contre dans l'affleurement priabonien de la Baye de Clarens, le seul échantillon étudié nous a fourni de la kaolinite, ce qui est un second indice quant au caractère particulier de cet affleurement. Nous y reviendrons.

La tentative de différencier les intervalles  $T_{e'}$  et  $T_{ep}$  par les minéraux argileux s'est révélée décevante mais pas complètement négative (cf. fig. 9). Les intervalles  $T_{e'}$  sont toujours dépourvus de montmorillonite. Par contre nous avons pu en déterminer dans un des intervalles  $T_{ep}$  de la partie interprétée comme dépôt de plaine abyssale. Dans les mêmes intervalles  $T_{ep}$  appartenant aux cycles de «progradation», nous n'avons que des indices de montmorillonite. Ce résultat ne nous permet pas de tirer de conclusions définitives; il faut établir si cette tendance se retrouve de façon statistique.

Nous avons mesuré plusieurs indices de cristallinité de l'illite. Ils se situent entre 20 et 22. La limite anchizone-diagenèse se situant à 7,5, le flysch de cette carrière appartiendrait au domaine de la diagenèse.

#### 4. Le cas de l'affleurement inférieur de la Baye de Clarens

Nous avons signalé que cet affleurement, placé entre le Mésozoïque des Pléiades et la masse principale du Flysch du Gurnigel, se différencie de ce dernier par son âge priabonien et la présence de kaolinite. M. Weidmann (communication orale) a signalé quelques particularités: présence de microfaunes pyritisées (Milioles, Diatomées et Radiolaires), de pyrite framboisée, mais une faune à *Rhabdammina* faiblement représentée. A quoi peut-on attribuer cet affleurement? Sur le terrain, il est mal visible, recouvert de broussailles et encroûté de tufs, ce qui explique qu'il ait pu être interprété comme Flysch du Gurnigel. La question subsiste de savoir s'il s'agit d'une écaïlle de celui-ci, de flysch ultrahelvétique ou d'un wildflysch.

<sup>5)</sup> Les mesures ont été effectuées à l'Institut de Minéralogie de Berne sur un diffractomètre Philips. Nous exprimons notre vive gratitude à MM. Peters, Frey et Matter pour leur précieuse collaboration.

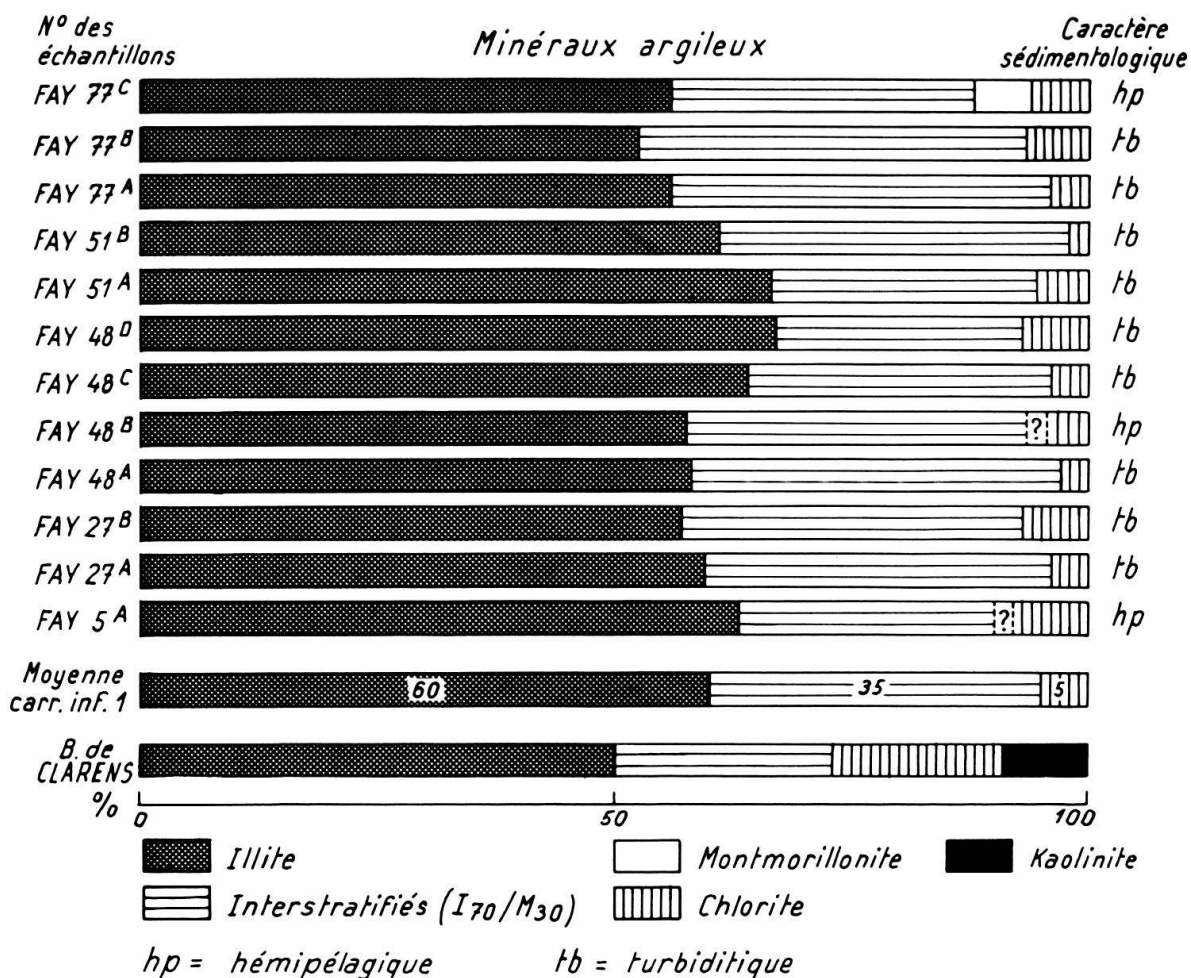


Fig. 9. Composition et répartition des minéraux argileux de la carrière des Fayaux (inf. 1) et de l'affleurement inférieur de la Baye de Clarens. Les numéros des échantillons correspondent aux niveaux de la coupe de la figure 7.

## 5. Comparaisons

Nous allons tenter des comparaisons d'une part avec le Flysch du Gurnigel sur d'autres transversales des Préalpes externes et d'autre part avec le flysch ultrahelvétique des Préalpes internes.

L'ensemble des caractères du flysch de la «carrière inf.» s'accorde bien avec ceux du Flysch du Gurnigel: que ce soit l'âge (KAPELLOS 1973, VAN STUIJVENBERG 1973, JAN DU CHÊNE et al. 1975) ou les caractères sédimentologiques (présence d'une sédimentation turbiditique et d'une sédimentation hémipélagique verte, HUBERT 1967). Il est clair que les diverses transversales présenteront d'autres associations de faciès que celui d'un «fan fringe»; ainsi, les Voirons, avec ses conglomérats, correspondent à une partie proximale, les carrières de Zollhaus et de Schwarzenbühl représentent des aires chenalisées. La base stratigraphique de l'ensemble, la «Série de Hellstätt» (TERCIER 1928), d'âge maastrichtien, montre souvent un caractère de plaine abyssale.



Par contre, les caractères sédimentologiques du flysch ultrahelvétique, d'âge Eocène moyen - supérieur, de la Zone des Cols (HOMEWOOD 1976) sont très différents. Ce flysch s'est déposé dans un petit bassin de moyenne profondeur dans un environnement tectoniquement actif. Les «fans» sous-marins, de faible dimension, étaient très actifs durant une période assez courte. Tout ceci est différent du bassin à sédimentation océanique où s'est déposé le Flysch du Gurnigel. De plus, il y a une nette hétéropie de faciès entre les domaines «ultrahelvétique» et «Gurnigel» au Crétacé supérieur: dépôt des Couches de Wang dans l'un et Série de Hellstätt dans l'autre (HOMEWOOD 1974).

Bref, il nous semble impossible de considérer le Flysch du Gurnigel comme d'origine ultrahelvétique.

## 6. Conclusions

Les résultats micropaléontologiques et sédimentologiques nous permettent d'affirmer que le Flysch du Gurnigel dans la région des Fayaux s'est déposé en milieu marin profond du Maastrichtien à l'Ilerdien au moins. Durant le Thanétien, on observe des interactions du «fan» externe et de la plaine abyssale.

Des conditions semblables ont régné au cours de cette période dans l'ensemble du Flysch du Gurnigel. Les différences d'âge et de caractères sédimentologiques, entre le flysch de la Zone des Cols et le Flysch du Gurnigel, excluent une origine ultrahelvétique pour ce dernier.

## Remerciements

Nous exprimons notre vive gratitude à MM. Caron et Homewood (Fribourg) pour leurs suggestions, critiques et conseils, tant lors de l'élaboration de ce travail que pour la mise au point du texte. Nous sommes reconnaissants à M. Rupke (Oxford) qui a bien voulu relire le texte et à M. Odin (Paris) qui nous a fait part de ses remarques concernant le problème de la glauconie. Nous remercions M<sup>me</sup> Chammartin, MM. Papaux et Cuennet (Fribourg) et Desjacques (Genève) pour la dactylographie du manuscrit, l'exécution des figures, la confection des lames minces et la préparation des lames palynologiques. Enfin, B. Schwizer et H. Ischi nous ont amicalement initié à la manipulation du diffractomètre.

## BIBLIOGRAPHIE

### a) Cartes

- BADOUX, H. (1965): *Atlas géologique de la Suisse 1:25 000, Feuille 47, Montreux*. - Comm. géol. Suisse.  
 GAGNEBIN, E. (1922): *Carte géologique des Préalpes entre Montreux et le Moléson et du Mont Pélerin au 1:25 000* (Carte spéciale n° 99). - Comm. géol. Suisse.

### b) Ouvrages

- BERGER, W. H., & WINTERER, E. L. (1974): *Plate stratigraphy and the fluctuating carbonate line*. - Spec. Publ. int. Assoc. Sedimentol. 1, 11-48.  
 BERGGREN, W. C. (1972): *A cenozoic time-scale - some implications for regional geology and palaeobiogeography*. - *Lethaia* 5, 195-215.  
 BOUMA, A. H. (1962): *Sedimentology of some flysch deposits*. - Elsevier, Amsterdam/New York.

- BROUWER, J. (1965): *Agglutinated foraminiferal fauna from some turbidic sequences.* – Proc. k. nederl. Akad. Wetensch. (B), 68/5, 309–334.
- CARON, C. (1976): *La nappe du Gurnigel dans les Préalpes.* – Eclogae geol. Helv. 69/2, 297–308.
- CROWELL, J.C. (1955): *Directional-current structures from the Prealpine Flysch, Switzerland.* – Bull. geol. Soc. Amer. 66, 1351–1384.
- DRUGG, W. (1967): *Palynology of the Upper Moreno Formation (Late Cretaceous-Paleocene) Escarpado Canyon, California.* – Paleontographica (B), 120, 1–71.
- FREY, M., HUNZIKER, J.C., ROGGWILER, P., & SCHINDLER, C. (1973): *Progressive niedriggradige Metamorphose glaukonitführender Horizonte in den helvetischen Alpen der Ostschweiz.* – Contr. Mineral. Petrol. 39, 185–218.
- GAGNEBIN, E. (1920): *Description géologique détaillée des Préalpes bordières entre Montreux et Semsales.* – Thèse Univ. Lausanne, inéd.
- (1924): *Description géologique des Préalpes bordières entre Montreux et Semsales.* – Mem. Soc. vaud. Sci. nat. 2/1, 1–69.
- HANER, E.B. (1971): *Morphology and sediments of Redondo Submarine Fan, Southern California.* – Bull. geol. Soc. Amer. 82, 2413–2432.
- HAY, W.W., & MOHLER, H.P. (1965): *Zur Verbreitung des Nannoplanktons im Profil der Grossen Schlieren.* – Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing. 31/81, 132–134 (in SCHAUB 1965).
- HEKEL, H. (1968): *Möglichkeiten einer stratigraphischen Gliederung des Gurnigel-Flyschs auf Grund von Nannofossilien.* – Eclogae geol. Helv. 61/2, 500–504.
- HESSE, R. (1975): *Turbiditic and non-turbiditic mudstone of Cretaceous flysch sections of the East Alps and other basins.* – Sedimentology 22, 387–416.
- HOMEWOOD, P. (1974): *Le flysch du Meilleret (Préalpes romandes) et ses relations avec les unités l'encadrant.* – Eclogae geol. Helv. 67/2, 349–401.
- (1976): *Sur les faciès des flyschs ultrahelvétiques dans les Préalpes Internes romandes.* – Eclogae geol. Helv. 69/2, 281–295.
- HSÜ, K.J. (1960): *Paleocurrent structures and paleogeography of the Ultrahelvetic Flysch Basins, Switzerland.* – Bull. geol. Soc. Amer. 71, 577–610.
- HSÜ, K.J., & SCHLANGER, S.O. (1971): *Ultrahelvetic Flysch Sedimentation and Deformation Related to Plate Tectonics.* – Bull. geol. Soc. Amer. 82, 1207–1218.
- HUBERT, J.F. (1967): *Sedimentology of prealpine flysch sequences, Switzerland.* – J. sediment. Petrol. 37, 885–907.
- JAN DU CHÊNE, R., GORIN, G., & STUIJVENBERG, J. VAN (1975): *Etude géologique et stratigraphique (palynologie et nannoflore calcaire) des Grès des Voirons (Paléogène de Haute-Savoie, France).* – Géol. alp. (Grenoble) 51, 51–78.
- KAPPELOS, C.C. (1973): *Biostratigraphie des Gurnigelflyschs.* – Mém. suisses Paléont. 96.
- KÜBLER, B. (1970): *La composition des fractions fines et la distinction flysch-molasse dans le domaine alpin et périalpin.* – Bull. Soc. géol. France (7), 12/4, 599–602.
- MARTINI, E. (1971): *Standard Tertiary and Quaternary Calcareous Nannoplankton Zonation.* – Proc. II<sup>nd</sup> plankt. Conf. Roma (1970), 749–785.
- MORGENROTH, P. (1968): *Zur Kenntnis der Dinoflagellaten und Hystrichosphaeriden des Danien.* – Geol. Jb. 86, 563–578.
- MUTTI, E., & GHIBAUDO, G. (1972): *Un esempio di torbiditi di conoide sottomarine esterna: le Arenarie di S. Salvatore (Formazione di Bobbio, Miocene) nell'Apennino di Piacenza.* – Mem. Accad. Sci. Torino 4a/16.
- MUTTI, E., & RICCI LUCCHI, F. (1972): *Le torbiditi dell'Apennino settentrionale: introduzione all'analisi di facies.* – Mem. Soc. geol. ital. 11, 161–199.
- NORMARK, W.R. (1970): *Growth patterns of deep-sea fans.* – Bull. amer. Assoc. Petroleum Geol. 54, 2170–2195.
- ODIN, G. (1975): *Les Glauconies: Constitution, Formation, Age.* – Thèse d'Etat, Univ. Pierre et Marie Curie, Paris.
- POMEROL, C. (1973): *Stratigraphie et Paléogéographie: Ère cénozoïque.* – Doin Ed., Paris.
- RICCI LUCCHI, F. (1975): *Depositional Cycles in two turbidite formations of Northern Apennines (Italy).* – J. sediment. Petrol. 45/1, 3–43.
- SCHAUB, H. (1965): *Schlierenflysch.* – Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing. 31/81, 124–134 (avec contribution de HAY & MOHLER).

- SCHOLLE, P.A. (1971): *Sedimentology of Fine-Grained Deep-Water Carbonate Turbidites, Monte Antola Flysch (Upper Cretaceous), Northern Apennines, Italy.* - Bull. geol. Soc. Amer. 82, 629-658.
- SCHÜPBACH, M.A., & MOREL, R. (1974): *Fans and channels in the classical flysch, central Alps.* - Abstr. natl. AAPG-SEMP Meeting, San Antonio 1.
- STUIJVENBERG, J. VAN (1973): *Stratigraphie und Tektonik des Gurnigelflyschs im Gebiet Schwarzenbühl-Schwefelbergbad (Kt. Bern).* - Unpubl. Lizentiatsarb. Univ. Bern.
- TERCIER, J. (1928): *Géologie de la Berra.* - Matér. Carte géol. Suisse [n.s.] 60.
- WEIDMANN, M. (1967): *Petite contribution à la connaissance du flysch.* - Bull. Lab. Géol. et Mus. géol. Univ. Lausanne 166.
- WILSON, G.L. (1971): *Observations on European late Cretaceous dinoflagellate cysts.* - Proc. II<sup>nd</sup> plankt. Conf. Roma (1970), 1259-1275.

### c) Congrès et séances

- Le contenu de l'Ilerdien et sa place dans le Paléogène. Paris 1974.* - Bull. Soc. géol. France (7), 17/2, 1975, 123-223.
- V<sup>e</sup> Congrès international de Sédimentologie 1958.* - Eclogae geol. Helv. 51/3, 1959.
- V<sup>e</sup> Congrès international de Sédimentologie 1958.* - Livret-guide II, Lausanne 1958.