

# Des nannofossiles calcaires aux rhinocéros: déplacés ou remaniés?

JEAN-PIERRE BERGER<sup>1</sup>

**Key words:** Transport, reworking, nannofossils, foraminifers, ostracods, mammals, leaves, pollen, swiss molasse

## ABSTRACT

The distinction between transport and reworking is discussed using examples from the Molasse of Western Switzerland. All size classes are studied, from the smallest to the largest: nannofossils, spores and pollen, foraminifers, ostracods, micromammals, fruit and seeds, molluscs, leaves as well as larger mammals and reptiles.

The detailed study of the transport and/or reworking phenomena allows us to interpret the different environments of deposition and their associated biostratigraphic, paleogeographic and paleoclimatic conditions:

- the nannofossils from the USM are reworked and may not be used in the proposal for a connection with Oligocene marine environments
- the reworking of planktonic forams seen in the UMM of the Jura, in accordance with data from other fossil groups, leads to a new interpretation of the connection between the subalpine Molasse and the Rhine graben during the Oligocene
- the micromammals of the OMM studied here are probably transported and not reworked, thus confirming the biostratigraphical data
- the faunal mixing of the "Burdigalian" OMM results from different transport conditions and evidences the existence of hitherto unknown deeper environments
- the comparison between fruit, seeds and leaves from the "Poudingues du Pelerin" allows an interesting paleotopographic and paleoclimatic reconstruction of the alluvial fan. Furthermore, an important reworking of the late Cretaceous is observed within the spore and pollen data.

## ZUSAMMENFASSUNG

Die Unterscheidung zwischen Transport einerseits und Umlagerung/Aufarbeitung anderseits wird anhand verschiedener Fossilgruppen aus der westschweizerischen Molasse diskutiert. Sämtliche Größen sind vertreten, von der kleinsten bis zur größten: Nannofossilien, Sporen und Pollen, Foraminiferen, Ostrakoden, Kleinsäuger, Früchte und Samen, Mollusken, Blätter sowie Großsäuger und Reptilien.

Die detaillierte Analyse der Transport- und/oder Umlagerungsphänomene erlaubt eine Interpretation der Ablagerungsmilieus sowie des biostratigraphischen, palaogeographischen und/oder paläoklimatischen Rahmens:

- die Nannofossilien der USM sind umgelagert und zeigen keinerlei paläogeographische Verbindung zu marinem Oligozän.
- die Umlagerung planktonischer Foraminiferen aus der rheinischen UMM zusammen mit Daten von anderen Fossilgruppen erlaubt es uns, eine neue Hypothese über die «Raurazische Senke» vorzuschlagen.
- die hier untersuchten Kleinsäuger der OMM wurden höchstwahrscheinlich transportiert und nicht umgelagert; in diesem Fall erhärtet sich ihre biostratigraphische Aussage.

<sup>1</sup> Institut de Géologie, Université de Fribourg, Pérrolles, CH-1700 Fribourg

- der Faunen-Mix der burdigalischen OMM weist lediglich unterschiedliche Transportphänomene auf. Darüber hinaus liefert er Hinweise auf tiefere Ablagerungsbedingungen, die bisher noch nicht bekannt waren.
- anhand des Vergleichs von Früchten, Blättern und Pollen in den «Poudingues du Pélerin» lassen sich die möglichen paläotopographischen und paläoklimatischen Bedingungen während der Ablagerung der Formation rekonstruieren. Zusätzlich wurde bei den Sporen und Pollen ein hoher Aufarbeitungsanteil an Oberer Kreide festgestellt.

## RESUME

La distinction entre transport et remaniement est discutée à partir d'exemples pris dans la Molasse de Suisse occidentale, et ce pour différents groupes représentant toutes les échelles de taille, du plus petit au plus grand: nannofossiles, spores et pollens, foraminifères, ostracodes, micromammifères, fruits et graines, mollusques, feuilles ainsi que grands mammifères et reptiles.

La mise en évidence et l'étude détaillée des phénomènes de transport et/ou de remaniement conduit à interpréter les environnements de dépôts ainsi que leur cadre biostratigraphique, paléogéographique et/ou paléoclimatique:

- les nannofossiles de l'USM sont remaniés et ne témoignent d'aucune liaison paléogéographique marine à cette époque.
- le remaniement des foraminifères planctoniques de l'UMM jurassienne, associé aux données des autres groupes fauniques, permet de proposer une hypothèse nouvelle concernant la liaison «subalpine-rhénane» à l'Oligocène.
- les micromammifères de l'OMM étudiés ici sont probablement transportés et non remaniés, ce qui confirme la fiabilité des âges proposés.
- le mélange des faunes de l'OMM «burdigalienne» témoigne de différents phénomènes de transports, et permet la mise en évidence de milieux plus profonds encore inconnus sur le terrain.
- la comparaison Fruit-feuilles-pollen des Poudingues du Pélerin permet de reconstituer les conditions paléotopographiques et paléoclimatiques probables qui régnait lors du dépôt de la formation. De plus, de nombreuses formes remaniées du Crétacé supérieur sont observées chez les spores et pollens.

## Généralités sur le remaniement

Le problème des remaniements de faunes ou de flores a depuis bien longtemps attiré l'attention des géologues, car il représente l'une des principales sources d'erreurs lors de l'interprétation d'une série sédimentaire en terme de biostratigraphie ou de paléoécologie. On peut distinguer deux principaux types de mélanges de fossiles:

- le mélange dans l'espace seulement. Nous parlerons alors de «transport».
- le mélange dans l'espace et dans le temps: c'est à ce seul phénomène que nous réservons le terme de «remaniement».

La distinction entre ces deux types est fondamentale: le transport, par exemple, n'affectera pas l'interprétation stratigraphique; au contraire, il sera bien souvent précieux pour les corrélations, mettant ensemble des organismes ayant vécu dans des milieux différents. Le remaniement, lui fournira des données à la fois erronées et précieuses: erronées, car l'âge et l'écologie du fossile n'aura rien à voir avec l'âge et l'écologie de la couche qui le contient. Précieuses, car une fois identifié, le remaniement est une mine de renseignements concernant les zones d'apports, les directions de transport, les phénomènes d'érosions en amont ou la tectonique régionale.

Divers critères ont été recherchés afin de détecter la présence de fossiles remaniés mais bien peu d'attention a été portée sur les conditions nécessaires au remaniement. Ces

paramètres, qui paraissent évidents lorsqu'on les énumère, sont pourtant si importants que nous allons les rappeler ici. Pour qu'un groupe fossile ait des chances d'être remanié, il faut:

1. Qu'il constitue des associations particulièrement riches dans la «roche-mère».
2. Que la roche-mère ait pu être érodée à l'époque du remaniement.
3. Que le fossile supporte le transport et les nouvelles conditions de fossilisations.

Comment reconnaît-on un fossile remanié? Généralement, la notion de remaniement va de pair avec des **incompatibilités stratigraphiques ou écologiques** dans l'association de fossiles étudiés. La mise en évidence d'un ou plusieurs fossiles dont la présence est totalement incompréhensible avec le reste de la faune représente en général le point de départ de l'hypothèse «remaniement». Les preuves sont alors recherchées dans la structure même du fossile mis en cause et notamment la différence de préservation par rapport à la faune supposée non-remaniée (couleur, porosité, grain, etc.) ainsi que la morphologie plus roulée et parfois plus abîmée.

Ces différents points ne sont pas toujours faciles à apprécier et nous allons illustrer notre propos par 5 exemples pris chacun à une échelle différente et tirés de nos travaux dans la Molasse de Suisse occidentale. L'analyse détaillée de ces exemples montre non seulement les possibilités d'identification de vrais remaniements ou de simples transports, mais aussi les implications stratigraphiques, paléoécologiques et paléogéographiques que l'on peut en déduire.

## Exemples dans la Molasse suisse occidentale

### 1. Les Nannofossiles Calcaires de la Molasse d'eau douce inférieur (USM)

Les premières descriptions de nannofossiles calcaires de la Molasse suisse occidentale ont été publiées par Bersier (1939). Cet auteur a mis à jour un bon nombre de taxons, dont 9 déterminés spécifiquement. Chose curieuse, la quasi-totalité des échantillons provient de la Molasse d'eau douce inférieure de la région lausannoise, ce qui conduira Bersier à diverses considérations biostratigraphiques, paléoécologiques et paléogéographiques, parmi lesquelles le fait que les couches de l'USM, généralement considérées comme dulciennes, seraient en fait régulièrement soumises à des influences marines (méditerranéennes ou viennoises). La présence de nannofossiles en serait l'un des révélateurs. Sans rien enlever aux mérites et à la qualité des observations de Bersier, il faut bien remarquer que ces résultats ne peuvent plus être pris en considération de nos jours (insuffisance des diagnoses de l'époque) et qu'un remaniement de ces formes paraît plus que probable (la quasi-totalité des formes figurées identifiables sont connues avant l'Oligocène).

Il faudra attendre les années 70 pour que d'autres auteurs signalent à leur tour des nannofossiles dans l'USM: c'est ainsi que Zimmermann et al. (1976) se proposent de dater la Molasse d'eau douce inférieure à l'aide de ces formes qu'ils estiment en partie non remaniées. Nous ne reviendrons pas ici en détail sur les problèmes que pose cet article qui a été critiqué avec virulence par Rigassi (1977) et rediscuté par Berger (1985). Nous rappellerons simplement qu'en plus des innombrables remaniements prouvés du Jurass-

sique et du Crétacé, le 80% des espèces tertiaires recensées peuvent être remaniées de l'Eocène ou de l'Oligocène inférieur et que les 3 seules espèces qui pourraient être autochtones sont douteuses au niveau de la détermination.

Pour y voir plus clair, nous avons tenté de récolter des nannofossiles dans la formation de l'USM qui devrait s'avérer la plus propice à cet effet: les Grès et Marnes Gris à Gypse (Berger 1992a). Les résultats ont été très décevants: beaucoup de remaniements du Crétacé et de l'Eocène, avec dans deux cas seulement (échantillons VA 10 et VA 56), 1-2 espèces qui pourraient être autochtones, et notamment *Cyclicargolithus abiseptus* dont l'apparition marque la zone NP 24 et qui peut donc difficilement être remaniée.

En conséquence, il semble bien que toutes les conditions soient réunies pour que la quasi-totalité des nannofossiles de l'USM suisse occidentale soient remaniés:

- existence de roches riches en nannofossiles (par exemple les flysch paléocènes et éoènes)
- possibilité d'érosion de ces roches à l'Oligocène supérieur et au Miocène inférieur (les flysch alimentent en minéraux lourds et en galets de nombreuses formations de l'USM)
- résistance au transport, prouvé par la présence indiscutable de remaniement ancien (jurassique et crétacé)

D'autre part, la paléogéographie de l'Oligocène supérieur montre bien qu'une influence marine est plus qu'improbable en ce qui concerne des formations comme la Molasse à Charbon, la Molasse Rouge ou les Grès de la Cornalle. Même dans le cas des Grès et Marnes Gris à Gypse (formation à tendance saumâtre incontestable) une relation directe avec une mer quelconque semble exclue. La présence ponctuelle d'une ou de deux espèces non remaniée de nannofossiles dans cette formation pourrait alors être due à un transport aérien, voire animal (des oiseaux marins migrateurs se reposant sur la lagune dessalée).

## 2. Les Foraminifères et Ostracodes de la Molasse marine inférieure (UMM) du Jura: remaniements et «rauracische Senke»

Les relations paléogéographiques entre l'UMM en position subalpine et la mer oligocène du bassin rhénan (via la «rauracische Senke») ont alimenté la littérature géologique depuis de nombreuses années. Or, dans toute cette problématique, le remaniement des faunes (microfaunes alpines dans les sédiments jurassiens) tient un rôle de première importance que nous voudrions discuter ici: nous analyserons essentiellement deux des principaux protagonistes de l'histoire, qui ont en commun la taille, la qualité biostratigraphique et l'intérêt paléoécologique: il s'agit des foraminifères et des ostracodes.

### 2.1 Foraminifères benthiques.

Les assemblages observés dans la Molasse jurassienne et sud-rhénane sont généralement dominés par des Rotaliaceae (*Elphidium*, *Cibicides*) et des Nodosariaceae (*Lagena*, *Lenticulina*, *Nodosaria*, *Globulina*) auxquels s'ajoutent souvent une proportion non négligeable de Miliolaceae (*Quinqueloculina*) qui les distinguent facilement des assemblages décrits dans la Molasse subalpine. C'est une association de milieux à faible taux de détri-

tisme et à salinité normale. Une étude de détail du forage de Leymen (Huber & Hottinger 1988) a montré les grandes variations paléoécologiques observables selon les formations: de plus de 400 m de profondeur, avec des passées anoxiques (Septarienton), jusqu'à des milieux saumâtres peu profonds.

Nous avons nous-mêmes mis à jour plusieurs populations de foraminifères benthiques à l'occasion de nos recherches (Berger 1992a) dans la région bâloise (Dornachbrugg), en Ajoie (sondages Courgenay) et le bassin de Delémont (sondages Birs et Delémont 1). Ces faunes, dont le fort pourcentage en Miliolidés est remarquable, sont encore à l'étude.

Du fait de leur cachet oligocène indiscutable et leur remarquable préservation, ces foraminifères ne présentent aucun indice de remaniement. La comparaison avec les faunes de même âge trouvées dans la molasse subalpine (par exemple Rigassi 1957, Charollais & al. 1980, Roegl 1982) montre des différences assez nettes qui sont certainement dues aux différentes conditions de milieux et n'apportent pas d'argument pour ou contre une liaison des deux domaines paléogéographiques.

## 2.2 Foraminifères planctoniques

Parmi les auteurs ayant décrit des foraminifères planctoniques dans la Molasse jurassienne, il faut souligner les travaux de Fischer 1965a & b: outre des découvertes isolées de *Globigerina sp.* dans divers échantillons, cet auteur a présenté une étude détaillée des remaniements de foraminifères crétacés, paléocènes et éocènes dans les Septarienton. Selon cet auteur, seules 2 ou 3 espèces sont d'âge Eocène supérieur-Oligocène, alors que près d'une vingtaine sont plus anciennes et donc probablement remaniées.

Or, si des formes remaniées occasionnelles peuvent exister dans toutes les formations («Flysch subalpin»: Corminboeuf 1959, Blau 1966. «USM»: Jordi 1955, Mornod 1949, Emmenegger 1962. «OMM»: Dorthe 1962), leur présence dans l'UMM jurassienne présente souvent un caractère particulier: ainsi, nos propres échantillons (Berger 1992a) ont montré que, le long d'une coupe (par exemple les sondages de Courgenay POT 63 et POT 72), un ou deux échantillons seulement se signalent par un contenu remanié. Dans ce type d'échantillon, le remaniement est souvent très important: le pourcentage de *Rotalipora appenninica*, par exemple, y dépasse largement la somme de tous les autres fossiles, remaniés ou non, de l'échantillon! Fischer (1965a) a observé que ces «flash» à remaniements se trouvaient essentiellement dans les Obere Septarienton et les Untere Cyrenen Mergel, ce qui est en parfait accord avec nos observations. Selon ce même auteur, les espèces remaniées peuvent être subdivisées en trois grands groupes:

- Un groupe Cénomanien-Turonien, qui proviendrait des Couches Rouges des Klippendecke.
- Un groupe Paléocène-Eocène, dont l'origine est également dans les Couches Rouges des Klippendecke et éventuellement le Klippenflysch.
- Un groupe Eocène moyen à supérieur, en provenance principalement des Globigerinenschifer de l'Helvétique.

Ces données impliquent, selon Fischer, une liaison entre les Alpes et le fossé rhénan via la célèbre fosse rauraque. L'auteur donne différents arguments qui confirment son hypothèse, arguments que le lecteur voudra bien consulter pour de plus amples détails.

Dans l'état actuel de nos connaissances, et étant donné le peu d'observations que nous avons faites, il nous est difficile de présenter une argumentation solide en faveur ou en contradiction avec l'hypothèse de Fischer. Cependant, les quelques données que nous avons récolté nous ont fait entrevoir une autre possibilité qu'il serait nécessaire de tester dans le futur et dont les grandes lignes se présentent comme suit:

- Il est très surprenant qu'aucune donnée connue dans la littérature ne mentionne des foraminifères planctoniques remaniés antérieurs au Cénomanien. Si ceux-ci ont une provenance alpine, alors pourquoi ne pas trouver les nombreuses formes de l'Aptien-Albien, ou les Protoglobigérines du Barrémien, par exemple??
- En ce qui concerne les formes tertiaires, une révision serait probablement nécessaire: la définition et la répartition de certaines espèces ont bien changé depuis 1965, et comme Fischer le remarque lui-même (1965, p. 64), la majorité de ces formes n'est peut-être pas remaniée, mais autochtone. L'état de préservation est d'ailleurs identique à celui des faunes considérées comme autochtones. A noter que nos propres observations nous incitent à considérer les formes tertiaires comme non remaniées. Si ce phénomène s'avérait exact, les remaniements seraient donc essentiellement Crétacé supérieur, et très probablement Cénomanien-Turonien.

Nous pourrions dès lors proposer l'interprétation suivante: d'après les données paléogéographiques connues, il semble que le domaine jurassien formait une plate-forme carbonatée peu profonde et peu propice au développement de formes planctoniques durant le Crétacé inférieur et moyen. Ce n'est qu'au Cénomanien que la grande transgression va permettre la mise en place de milieux plus profonds, phénomène qui sera encore accentué au Turonien, voire au Campanien. A partir du Maastrichtien, la régression s'amorce et les faciès à planctoniques disparaissent. L'origine des microfaunes remaniées serait donc non pas alpine, mais jurassienne! Cette interprétation repose sur les arguments suivants:

- Il n'y a pas de remaniements du Barrémien, Aptien ou Albien car les faciès jurassiens de cette époque ne contenaient pas de foraminifères planctoniques.
- La majorité des remaniements sont d'âge Cénomanien-Turonien, ce qui s'explique par le fait que les faciès jurassiens de ces époques étaient riches en planctoniques. Ceci est d'ailleurs confirmé par les affleurements reliques du Turonien, qui sont riches en Globotruncanidés (cf. liste d'affleurements donnée par Fischer 1965a, p. 71).
- Une origine jurassienne est parfaitement cohérente avec la paléogéographie de l'Oligocène, puisqu'une partie du Jura était certainement émergée à cette époque, permettant l'érosion des couches du Crétacé supérieur.

Cependant, toute séduisante que reste l'hypothèse «jurassienne», elle repose sur un fait qui, s'il est plausible, n'est pas encore démontré: les remaniements devraient se cantonner au Crétacé supérieur et la présence d'espèces tertiaires citées comme remaniées serait due soit à une erreur de détermination, soit à une vision trop restrictive de leur répartition stratigraphique dans les années 60.

### 2.3 Ostracodes

Comme pour les foraminifères benthiques, les différentes associations d'ostracodes mises à jour (cf. historique détaillé in Berger 1992a) ne présentent pas le moindre indice de remaniement et fournissent de précieuses indications concernant les environnements de dépôt. Au niveau des affinités écologiques, les associations observées tant dans les Marnes ou Grès de Vaulruz (molasse subalpine) que dans les Meeressand, les Blaue Tone ou les Untere Cyrenenmergel (jura) sont les suivantes:

- La grande majorité des espèces sont euryhalines et traduisent des conditions littorales.
- Des formes typiquement saumâtres sont présentes, telles les *Cytheridea* et *Cytheretta*.
- La présence de formes purement limnicoles (2 espèces dans les Marnes de Vaulruz, 3 espèces dans les Grès de Vaulruz, 4 espèces dans les Couches de Passage) montrent bien l'évolution de la régression.

Si les associations écologiques paraissent comparable des Alpes au Rhin, il n'en va pas de même des espèces qui, elles, sont très différentes. De par leur comportement écologique induisant une diversification rapide des espèces, joint à un endémisme souvent important, les ostracodes font partie des outils privilégiés à disposition du géologue s'intéressant aux problèmes paléogéographiques. Le provincialisme marqué observable chez les espèces de la Molasse met en évidence les relations ayant existé entre les différents bassins (rhénan, rhodanien ou paratéthysien).

Selon Oertli (1956), les faunes jurassiennes montrent de fortes affinités, avec le bassin rhénan, le Nord allemand et le bassin de Paris. Ce même auteur explique clairement que, si l'on se base sur les ostracodes, aucune communication entre le bassin rhénan et la mer péréalpine par le célèbre «sillon rauraque» («Rauracische Senke») ne peut être envisagée. Cette conclusion est d'ailleurs partagée par Carbonnel (1982) et par F. Gramann (in Vinken 1988, p. 237). Selon nos propres estimations (Berger 1992a) seules deux espèces (sur plus de 50 décrites) sont communes aux deux «provinces»: *Loxoconcha delmontensis* et *Cytheromorpha zinndorfi* auxquelles on peut éventuellement ajouter *Cytheropteron erizensis*, décrit par Scherer (1964) dans la molasse subalpine, et retrouvé en 1976 par Doebl, Mueller, Schuler et al. dans les Marnes à Foraminifères du sud-rhénan. De plus, le cas de *Hemicyprideis helvetica* est très intéressant: cette espèce surabondante dans le Jura est totalement inconnue dans la Molasse subalpine sauf... à l'est de la Suisse (canton d'Appenzell). Une éventuelle connexion ne peut donc avoir été établie que par l'intermédiaire de cette région.

### 2.4 Autres groupes fossiles

D'après les quelques données fournies par les Mollusques, il semble que l'UMM du jura et du bassin rhénan et l'UMM subalpine de suisse occidentale n'aient pas eu de communication. Les faunes y sont beaucoup trop différentes pour que l'on puisse imaginer une liaison marine entre ces deux régions. Kissling (1896), puis Liniger (1925) postulaient même que l'UMM d'Ajoie, d'affinité clairement nordique, aurait pu communiquer directement avec le bassin de Paris sans passer par le fossé rhénan. Cette idée a cependant été abandonnée depuis.

Les découvertes de poissons dans l'UMM sont à l'origine de plusieurs interprétations paléogéographiques controversées dont nous allons donner un bref aperçu ci-dessous:

- Dès 1925, la présence de nombreux restes d'*Amphysile* dans les Fischschiefer de l'Alsace du Sud et de l'Ajoie ainsi qu'à Delémont (alors qu'ils étaient inconnus plus au Nord dans le fossé rhénan), était l'un des arguments présenté par Liniger pour justifier une liaison Delémont-Ajoie-Sud Alsace-Bassin de Paris sans passer par le fossé rhénan.
- Pour Leriche (1927, p. 22), la similarité des espèces implique une liaison entre «la mer qui occupait le Nord de la Suisse et celle qui recouvrait l'emplacement des Carpathes».
- Mais c'est dans les années 30 que commence vraiment la controverse: c'est en effet sur la base des poissons que Buxtorf & Froehlicher (1934) ont bâti leur théorie d'une liaison entre la mer alpine et celle qui recouvrait le bassin rhénan, via le célèbre «rauracische Senke». Selon Froehlicher & Weiler (1952), la faune du Jura correspond très bien avec celle du bassin de Mayence et avec le Rupelton belge. Pourtant, en comparant les faunes de la molasse jurassienne et sud rhénane avec celle de la molasse subalpine de l'Entlebuch, ces deux auteurs laissent planer une nette ambiguïté quant à l'hypothèse de la liaison marine via la Rauracische Senke: d'un côté, une telle liaison leur paraît douteuse (notamment en raison de la présence de deux différentes espèces de *Centriscus*), alors que d'un autre côté ils notent en 1956 (p. 136): «Die These ... , der sogenannten Rauracischen Senke ... darf daher weiterhin aufrecht erhalten werden.»

D'autres arguments conduiront par la suite la majorité des géologues à abandonner cette théorie (cf. notamment Rutsch 1962 et Rigassi 1977), en tout cas dans sa conception originelle.

En ce qui concerne les mammifères marins, plus spécialement les siréniens, il faut noter que l'UMM subalpine et l'UMM du bassin rhénan possèdent chacune leur espèce propre: l'espèce subalpine avait d'abord été déterminée comme «*Halitherium schinzi*», par Gilliéron (1885) qui cite le dessin publié par Reichlen dans le journal «Le Chamois» de 1870 et 1872. Une photo du spécimen, qui est entier à l'exception de la tête et des membres, est donnée par Weidmann (1987). La détermination spécifique a cependant été mise en doute, déjà par Stehlin (1914), puis plus récemment par Pilleri (1987), qui arrive à la conclusion que le spécimen de Vaulruz est bien un *Halitherium*, mais qu'il s'agit d'une espèce différente de *H. schinzi*. Ce magnifique exemplaire est actuellement exposé au Musée d'Histoire Naturelle de Fribourg.

Selon Pilleri (1987) le véritable *Halitherium schinzi* KAUP existe bien, lui, dans la Molasse jurassienne.

En résumé:

Nannofossiles:

Pas de connexion, ou éventuellement en Suisse orientale, entre NP23 et NP24.

Foraminifères benthiques:

Associations différentes, dont la cause est peut-être plus paléoécologique que paléogéographique.

Foraminifères planctoniques:

Les formes remaniées ne donnent aucun argument confirmant la connexion (par la présence d'apports alpins) puisqu'elles peuvent, selon nous, être d'origine jurassienne.

Mollusques:

Faune très différente de part et d'autre. Probablement pas de communication.

Ostracodes:

Pas de connexion, sauf éventuellement dans la région d'Appenzell.

Poissons:

Probablement pas de connexion.

Siréniens:

Certainement pas de connexion, puisque chaque mer a sa propre espèce.

#### Conclusion

Diem (1986) a formulé l'hypothèse d'une régression de l'UMM subalpine s'effectuant d'Est en Ouest, ce qui est parfaitement conforme à l'évolution paléogéographique générale que nous connaissons. Nous pouvons ajouter que cette régression va se poursuivre durant tout l'Oligocène, et même jusqu'au Miocène inférieur, époque où la ligne de côte se trouve aux environs de Munich. Le problème de la connexion avec le bassin rhénan doit donc être analysé en relation avec la dynamique de cette régression. Ainsi, une connexion avec la partie suisse occidentale paraît peu probable, car outre les divergences

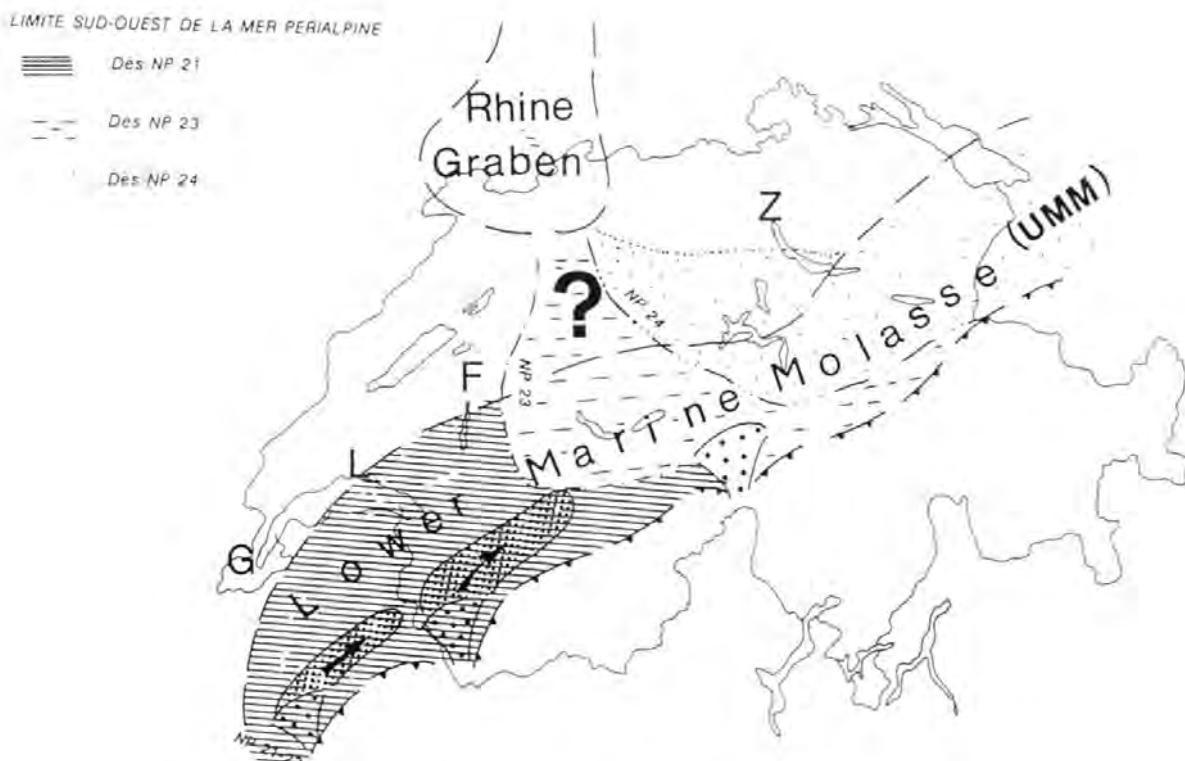


Fig. 1. Les liaisons possibles entre Molasse subalpine et Mer rhénane à l'Oligocène.

de faunes, une différence d'âge importante rend douteuse toute liaison avec la mer rhénane. Au moment où cette dernière se dépose, la Suisse occidentale est déjà envahie par les dépôts dulcicoles de l'USM (Berger 1992b).

Par contre, les problèmes semblent se résoudre lorsqu'on regarde la situation en Suisse orientale: non seulement, les âges paraissent correspondre (il y a des sédiments marins d'âge NP23 et 24 tant en subalpine que dans le bassin rhénan) mais en plus certaines analogies faunistiques existent (ostracodes). Nous proposons donc le modèle suivant: **il y a probablement eu connexion entre la Molasse péréalpine et la Molasse sud-rhénane, mais seulement en Suisse orientale et dans un laps de temps limité à NP23 ou NP24 (fig. 1).**

Ces conclusions sont compatibles avec les hypothèses formulées par Martini (1990), même si certains points de détail ne sont pas encore éclaircis (notamment la corrélation précise entre nos résultats et l'«ingression 1» de Martini, datée de NP22).

### 3. Micromammifères de la Molasse marine supérieure (OMM)

Les mélanges de faunes de micromammifères dans les fissures karstiques sont bien connus, mais qu'en est-il des gisements dits stratifiés? Nous prendrons l'exemple de l'OMM, où la présence de micromammifères est par définition suspecte: ont-ils été transportés (rapaces, courants) ou remaniés? L'un des gisements illustrant parfaitement cette problématique est la Broye 555 situé à la limite USM/OMM et décrit en détail dans un travail antérieur (Berger 1985) que nous résumerons de la manière suivante: il s'agit d'une succession de lits gréseux marins dont la géométrie évoque un chenal de marée. A la base du chenal se trouve un lit de galet mous noirs qui ont fourni une riche association de rongeurs donnant comme âge le niveau de La Chaux. Etant donné que la base de l'OMM est plus jeune dans d'autres régions (Vully 1 ou Brüttelen 2), cette datation de la Broye 555 était l'un des piliers de l'interprétation de la dynamique de la transgression de l'OMM en Suisse occidentale. Mais cet argument n'est valable que si les faunes de la Broye 555 sont bien synchrones des niveaux gréseux qui les entourent, d'où l'intérêt de pousser un peu plus loin nos investigations dans le domaine.

Il est évident que les galets mous contenant les rongeurs sont les restes de couches érodées par le courant marin du chenal de marée. Il y a dès lors 2 hypothèses:

- 1. Les couches érodées sont géologiquement synchrones du chenal et ne représentent qu'une variation de faciès en amont.
- 2. Les couches érodées sont géologiquement antérieures au chenal.

Il faut tout d'abord rappeler que la résolution biostratigraphique des micromammifères est de l'ordre de 200.000 à 500.000 ans environs. C'est cet intervalle de temps qu'il faut prendre en compte lorsqu'on parle de «géologiquement synchrone».

Selon l'hypothèse 1, le chenal érode des berges contemporaines dont les morceaux se fragmentent en galets mous qui se déposent au fond. Une telle hypothèse induit 2 conséquences:

- les résultats biostratigraphiques sont fiables
- la côte est proche (le transport des galets mous n'est jamais très long)

Si nous examinons maintenant l'hypothèse n° 2, qui conduit au remaniement, nous devons nous poser les 3 questions discutées tout au début de cet article:

1. Associations particulièrement riches dans la «roche-mère»: dans le cas présent, ce sont des parties entières de la «roche-mère» qui sont remaniées. Nous pouvons donc répondre par l'affirmative.
2. Résistance au transport et aux nouvelles conditions de fossilisation: dans ce cas de figure, les faunes de rongeurs, même très fragiles, peuvent être parfaitement préservées par ce mode transport à l'intérieur d'un galet. Là-aussi, nous répondrons donc par l'affirmative.
3. Que la roche-mère ait pu être érodée à l'époque du remaniement: si nous nous replaçons dans le contexte de la sédimentation de l'époque, nous sommes en présence d'un vaste delta, avec divagation de chenaux fluviatiles et de chenaux de marées, le tout bordé par une mer en transgression. Lorsqu'on sait que l'intervalle Aquitanien supérieur-Burdigalien inférieur s'est déposé sur plusieurs centaines de mètres d'épaisseur, il paraît plus qu'improbable que des couches suffisamment anciennes aient pu affleurer à l'époque au bord de la mer. Cela impliquerait l'existence de falaises de molasse de l'Aquitanien supérieur, dues à une tectonique régionale active. Cette éventualité n'est pas impossible, mais nous paraît pour le moins improbable.

Nous estimons donc qu'en l'état de nos connaissances les faunes de la Broye 555 ne sont que transportées, et non remaniées, et que l'âge proposé par ces rongeurs, soit le niveau de La Chaux, est fiable.

#### 4. Les mélanges de faunes l'OMM «burdigalienne»

En Suisse occidentale, la molasse marine supérieure (OMM) est généralement subdivisée en 2 parties:

- une partie inférieure, plus gréuseuse, communément appelée «burdigalienne» (= Senseschichten, Couches de la Singine, cf. Schoepfer & Berger 1989)
- une partie supérieure souvent conglomératique, présentant des intervalles marneux fossilifères, généralement appelée «helvétienne» (= Belpbergschichten, cf. Schoepfer & Berger 1989).

Lorsqu'on examine de près les faunes récoltées dans l'OMM dite «burdigalienne», on remarque qu'elles représentent pratiquement tous les milieux de vie, à savoir terrestre, eau douce, marin peu profond, marin plus profond. Pour comprendre les origines de ce mélange, il est nécessaire d'analyser chaque groupe séparément.

##### 4.1 Foraminifères benthiques

Au point de vue biostratigraphique, les foraminifères benthiques ne présentent aucun indice de remaniement: ils forment au contraire un spectre relativement cohérent datant l'OMM «burdigalienne» du Burdigalien inférieur ou, en terme d'étages de la Paratéthys, de l' Eggenburgien-Ottangien (Berger 1985 et 1992b, Schoepfer & Berger 1989). C'est

au niveau des associations paléoécologiques que le problème se corse: on y rencontre en effet des formes typiques d'environnements peu profonds associés à des faunes nettement plus profondes.

Une étude antérieure (Berger 1985) en a présenté une interprétation détaillée. La majorité des espèces témoignent d'une salinité normale et d'une profondeur très faible, en accord avec les données sédimentologiques (zone intertidale). Cependant, divers indices (nombreux *Hanzawaia* et *Cibicidoides*, présence de *Uvigerina*, *Pullenia*, *Gyroidina*) laissent supposer l'existence d'une zone plus profonde (une centaine de mètres) quelque part dans le bassin. L'étude a également démontré qu'une partie des associations pouvait être considérée comme pratiquement en place, alors qu'une autre part était clairement déplacée (par des courants de marées ou de tempête). Il est symptomatique de constater que la majorité des formes «profondes» fait partie de la deuxième catégorie. Ce type de raisonnement paraît être confirmé par l'étude de Beseme & Blondel 1989 qui remarquent eux-aussi la présence discrète mais régulière de formes plus profondes dans des sédiments côtiers du Miocène tunisien, formes qu'ils pensent être apportées du large par des courants ou des typhons.

#### 4.2 Foraminifères planctoniques

La faune de foraminifères planctoniques de l'OMM «burdigalienne» se compose d'une vingtaine d'espèces (Berger 1985, Schoepfer & Berger 1989), biostratigraphiquement homogènes (zone N5) et sans indices de remaniement. C'est leur présence et leur nombre (certains échantillons sont très riches en foraminifères planctoniques) qui constitue une surprise dans ces sédiments intertidaux de mer fermée. S'ils ne sont pas remaniés, d'où viennent-ils? Un pourcentage élevé de planctoniques par rapport aux benthiques indique en principe un milieu plus ouvert et plus profond. Un point important doit cependant être rappelé ici, même s'il constitue une lapalissade: les foraminifères planctoniques sont précisément ... planctoniques! Or, ceci a été bien souvent négligé dans les interprétations paléoécologiques: qui dit «plancton» dit par définition «transport», et les études de populations doivent tenir compte du fait que la dispersion dans l'espace des foraminifères planctoniques est fondamentalement différente de celle des benthiques, ce qui peut considérablement perturber les interprétations paléoécologiques basées sur des rapports comme le «P/B ratio» (rapport planctonique/benthique).

Une étude paléoécologique détaillée (Berger 1985) a bien montré les limites de l'interprétation du «P/B ratio»: les pourcentages observés dans certains niveaux de la base de la transgression varient de 30 à 50%, valeurs totalement incompatibles avec une mer fermée de faible profondeur! L'explication de la surreprésentation des planctoniques est d'origine sédimentologique: la majorité des formes planctoniques est apportée du large par des courants, comme l'ont bien montré les travaux de Wang & Murray (1983). Ceci laisse pourtant une question non résolue: où se trouvait ce «large»? Nous essayerons de répondre à cette question à la fin de ce chapitre.

#### 4.3 Ostracodes

Comme les deux groupes précédents, les rares ostracodes trouvés dans l'OMM ne présentent pas d'indices clairs de remaniement. Seuls quelques individus provenant tous de

2 localités ont été considérés dans un premier temps comme *Cytheromorpha subalpina* SCHERER, une espèce typique de l'UMM: la présence de ces formes remaniées était très difficilement explicable jusqu'à ce que des exemplaires mieux conservés ne montrent que les individus de l'OMM possèdent une réticulation secondaire (cf. discussion in Berger 1985). A la lumière des récents travaux de Ikeya & Ueda (1988) concernant les variations morphologiques de l'actuel *Cytheromorpha acupunctata* (BRADY) et qui montrent l'influence des facteurs du milieu sur le type d'ornementation, il semble bien que notre *Cytheromorpha sp. 1* représente une forme écologique aberrante d'une autre espèce. La planche I/f de Ikeya & Ueda 1988 montre très bien l'apparition d'une réticulation secondaire due au polymorphisme, réticulation qui ressemble étrangement à celle que nous avons observé chez *Cytheromorpha sp. 1*. Cette hypothèse prend tout son sens lorsque l'on sait que les niveaux dans lesquels a été trouvé *Cytheromorpha sp. 1* contiennent d'autres faunes exceptionnelles (associations de *Pararotalia* par exemple) qui prouvent l'existence de conditions écologiques particulières lors de leur dépôt.

Dans l'ensemble, les ostracodes de l'OMM proviennent des milieux suivants:

- La majorité des espèces sont typiques d'une faible profondeur (0-20 m.) et peuvent supporter de légères variations de salinité (*Loxoconcha*, *Cushmanidea*, *Cytheridea*).
- Certaines espèces sont typiquement littorales et vivent en association avec des *Zostera*, des *Posidonia* ou des *Laminaria*. C'est notamment le cas de *Cnestocythere*, *Eucythere* et de *Cytheretta*.
- Quelques formes paraissent avoir vécu en eau plus profonde (plus de 30 m.) et notamment les *Kangarina*, *Costa* et *Protocytheretta*.
- Les flash à *Cytheromorpha sp. 1* du Vully et de Cheyres correspondent probablement à un stress écologique (baisse de salinité?).

La grande majorité des ostracodes de l'OMM témoignent d'un déplacement évident. Les valves sont généralement isolées et parfois un peu abîmées. La plupart des ostracodes trouvés dans l'OMM y ont donc été amenés au gré de courants de marées, de houle ou de tempête. Ce transport n'a probablement pas été quantitativement très important, car les valves auraient été totalement détruites.

#### 4.4 Insectes et bryozoaires

Le seul insecte décrit dans la molasse marine est une guêpe trouvée dans l'OMM de Moudon (*Vespa atavina* HEER 1872, p. 473, fig. 289), et représentée par une paire d'ailes. Le spécimen est conservé au Musée Géologique de Lausanne.

Dans la grande majorité des cas, la conservation des bryozoaires de la Molasse est plus que médiocre. Parmi les 5 degrés de conservation proposés par Mongereau (in David & al. 1967), les bryozoaires molassiques sont généralement de degré 4, c'est-à-dire «structure interne seule visible». Ceci empêche toute détermination spécifique. Dans certains cas, réalisés généralement dans la Molasse jurassienne, quelques faunes légèrement mieux conservées ont pu être mises à jour (Vavra 1982, Berger 1985, Rangheard & al. 1985, 1990).

Le fait que la majorité des bryozoaires observés soient de conservation plus que médiocre est un indice sérieux de l'agitation des eaux dans lesquelles ont vécu ces faunes.

Ceci explique aussi la rareté des bons gisements à Bryozoaires dans notre molasse, dont le brassage et la turbulence des eaux sont l'une des caractéristiques marquantes.

Au point de vue bathymétrique, le fort degré d'usure et l'agitation des eaux qui en découle dénote une mer de très faible profondeur, ce que confirme par ailleurs la composition générale de la faune, typiquement littorale (avec les genres *Sertella*, *Hornera*, *Cellaria*, cf. David & al. 1970). Une étude détaillée publiée par Harmelin (1988) montre que la majorité des bryozoaires trouvés dans la molasse correspondent à des formes s'épanouissant entre 20 et 80 m. de profondeur, et que la nature du fonds est l'élément prépondérant de la diversité spécifique. De plus, certaines espèces (comme *Myriapora truncata*) présentent parfois des adaptations particulières à des conditions de haute énergie. La présence régulière de cette espèce dans notre molasse est un témoin supplémentaire des conditions de haute énergie régnant lors de son dépôt. Enfin, malgré une recherche méticuleuse de formes du Crétacé ou de l'Eocène, aucun indice de remaniement n'a été observé chez les bryozoaires.

#### 4.5 Mollusques

Les mollusques de l'OMM «burdigaliennes» ont été abondamment décrits depuis plus d'un siècle. Rares dans les niveaux de grès proximaux, ils pullulent parfois dans les faciès distaux où ils forment notamment les célèbres faciès coquilliers de la Broye. L'une des caractéristiques de cette faune est sa faible diversité. Les millions d'individus observés n'appartiennent qu'à un très petit nombre de genres ou d'espèces, à savoir:

- d'innombrables *Mactra*, *Tapes*, *Venus*
- quelques *Lutraria* et débris d'*Ostrea*
- quelques exemplaires du seul mollusque prédateur: *Natica*
- de très rares *Cardium*

Quelques auteurs ont proposé des noms d'espèce pour certains de ces fossiles, mais ces déterminations spécifiques nous paraissent sans valeur, en raison de leur très médiocre conservation.

Nous ne reviendrons pas ici sur la paléoécologie détaillée des faunes des grès coquilliers du Burdigalien. Les études antérieures (Berger 1985) ont bien montré que la rareté des espèces et le très grand nombre d'individus s'expliquait par l'instabilité du substrat et la violence des courants, ne laissant plus subsister que des associations analogues aux communautés actuelles à *Spisula* (comme celles du Dogger Bank en mer du Nord étudiées par Glemarec 1988). Contrairement aux autres groupes discuté jusqu'ici, les Mollusques montrent donc une très grande homogénéité paléoécologique.

#### 4.6 Poissons

A l'exception d'une Sole (Chanet & Berger 1995), la quasi-totalité des poissons est représentée par des requins ou des raies. La révision de ces faunes par F. Pfeil (in Berger 1985) n'apporte pas de données fondamentales pour le problème qui nous occupe ici, à 2 exceptions près:

- L'ensemble de l'Ichtyofaune de l'OMM, de par sa médiocre conservation et l'absence quasi totale de Téléostéens, est un indice d'eaux très agitées et peu profondes (cf. Leriche 1927).
- L'ensemble de la faune a un cachet nettement subtropical (les vrais genres tropicaux manquent) et fréquente les milieux néritiques peu profonds. Toutefois, certaines espèces dénotent la présence de milieux plus franchement pélagiques (*Notorynchus*, *Alopias*).

#### 4.7 Reptiles

L'inventaire des reptiles de l'OMM peut se résumer en deux groupes: tortues et crocodiles. Les principales découvertes se sont concentrées dans les grès coquilliers, et notamment à la Molière (Bourdet De La Nièvre 1823 et 1825, Blanchet 1854). D'autres gisements se trouvent sur le plateau vaudois, comme à Moudon ou Epalinges (Jaccard 1869). Ces faunes ont été révisées pour la dernière fois par Portis 1882 et Golliez & Lugeon (1889).

L'élément le plus surprenant est incontestablement le fait que toutes les tortues trouvées jusqu'à présent dans l'OMM sont des espèces terrestres (*Testudo*, *Trachyaspis*) ou palustres (*Emys*). La présence de crocodiles confirme cette impression, à savoir qu'il n'y a pas de reptiles marins connus, pour l'instant, dans l'OMM suisse occidentale!

#### 4.8 Mammifères

Les découvertes de mammifères dans l'OMM «burdigaliennes» ont fait l'objet de nombreuses publications et révisions dont la compilation a fait l'objet d'une récente étude (Berger 1992a). On y trouve essentiellement deux types de faunes, l'une terrestre et l'autre marine. Parmi les espèces terrestres nous trouvons essentiellement des Rhinocéros et des Artiodactyles (Suidés, Cervidés, Antilopes), ainsi que quelques Tapirs, de rares petits carnivores et même quelques Proboscidiens (*Mastodon*). On peut y ajouter les microfaunes terrestres (rongeurs et lagomorphes) ou «semi-dulcicoles» (castor) déjà discutées au chapitre 3 et sur lesquelles nous ne reviendrons pas.

Que font donc ces grands mammifères terrestres dans des sédiments marins? Sont-ils simplement déplacés ou faut-il envisager la possibilité d'un remaniement? L'analyse peut être faite de la façon suivante: il y a bien peu de «bone-beds» dans la molasse, qu'il s'agisse de l'USM ou de l'OMM. Les rares couches à vertébrés sont généralement des «lag deposits» de fond de chenaux et il paraît plus que douteux qu'elles supportent un nouveau transport en vue de former un gisement secondaire. On ne peut envisager ici un transport par galet mou!

Dès lors, une seule interprétation est possible: ces animaux ne sont pas remaniés et témoignent de la présence d'une côte proche.

La faune marine se compose principalement de Cétacés et Sireniens qui ont été ré-étudiés par Pilleri dans divers travaux. Concernant les siréniens, cet auteur rappelle que Stehlin n'en reconnaissait que 2 espèces molassiques: *H. Schinzi* (UMM) et *Metaxytherium* (*Halianassa*) *studeri* (OMM). Suite à son étude détaillée, Pilleri (1987) estime qu'il n'y a bien qu'un seul genre dans l'OMM, *Metaxytherium*, mais que celui-ci compte au moins 4 espèces.

Parmi les Cétacés, Pilleri (1986a) a reconnu diverses espèces d'Odontocètes (notamment des formes analogues aux dauphins et aux cachalots).

La paléobathymétrie que l'on peut déduire de ces pièces est particulièrement intéressante: Pilleri (1986a) cite «*Jost comm. écrite*»: «*hormis les nombreuses espèces typiquement peu profondes, il y a quelques formes qui indiquent clairement une profondeur de 50 à 70 m., peut-être plus.*» Et Pilleri ajoute que ceci corrobore ses propres déductions, notamment concernant la présence de Physeteridés pélagiques et plus profonds.

#### 4.9 Synthèse

Malgré l'apparente hétérogénéité de la faune de l'OMM, aucun remaniement n'a pu être mis en évidence. Dès lors, l'interprétation de ces faunes doit prendre en compte les modèles les plus probables en termes de taphonomie, paléoécologie et sédimentologie.

Dans l'ensemble, la mer molassique était une mer chaude et de faible profondeur, ce que confirme l'analyse sédimentologique de ces dépôts. Cependant, divers groupes présentent, aux côtés des nombreuses espèces littorales, des formes de mer plus profonde, de l'ordre de la centaine de mètres. Parmi ces groupes, citons les Foraminifères benthiques, les Ostracodes, les Requins et les Cétacés. Enfin, le fort % des Foraminifères planctoniques renforce encore cette hypothèse que nous pouvons énoncer comme suit: il a probablement existé, quelque part dans l'OMM suisse, un sillon plus profond (ancien cours fluviatile? canyon?) dont l'orientation et la localisation nous sont totalement inconnues, mais dont l'existence est attestée par la faune. D'autre part, le fait que l'on retrouve un peu partout des formes terrestres (insectes, reptiles, mammifères) atteste la présence d'une côte toujours proche: ceci laisse supposer que le paysage molassique au temps de l'OMM était certainement très complexe et se présentait probablement comme un archipel d'île séparés par des chenaux marins plus ou moins profonds et animés de courants de marées violents.

### 5. Les végétaux des Poudingues du Mt. Pélerin (USM, subalpine, Oligocène)

Les végétaux synthétisent à eux seuls tous les problèmes de remaniements: les feuilles sont pratiquement impossibles à remanier (totalement impossible pour les empreintes, très improbable pour les exemplaires intégralement préservés car trop fragiles et trop cassants), les bois et les fruits sont rarement remaniés mais peuvent l'être dans certains cas alors que les pollens sont très souvent et très facilement remaniés. A titre d'exemple, nous résumerons l'analyse des flores des Poudingues du Mt Pélerin (USM, Oligocène moyen) dont divers éléments ont déjà été publiés dans des travaux antérieurs auxquels le lecteur voudra bien se référer (Berger 1989, 1990a & b, Konzalova & Berger 1992).

#### 5.1 Le transport des feuilles: courte ou longue distance?

Les processus taphonomiques jouent un rôle considérable lors de la comparaison entre assemblages fossiles et associations floristiques actuelles. En raison des différents potentiels de préservation que présentent les feuilles, fruits et graines fossiles, il n'est pas possible d'interpréter paléoécologiquement ou paléoclimatiquement des associations de végétaux fossiles sans prendre en compte les processus de dépôt qui les ont préservées.

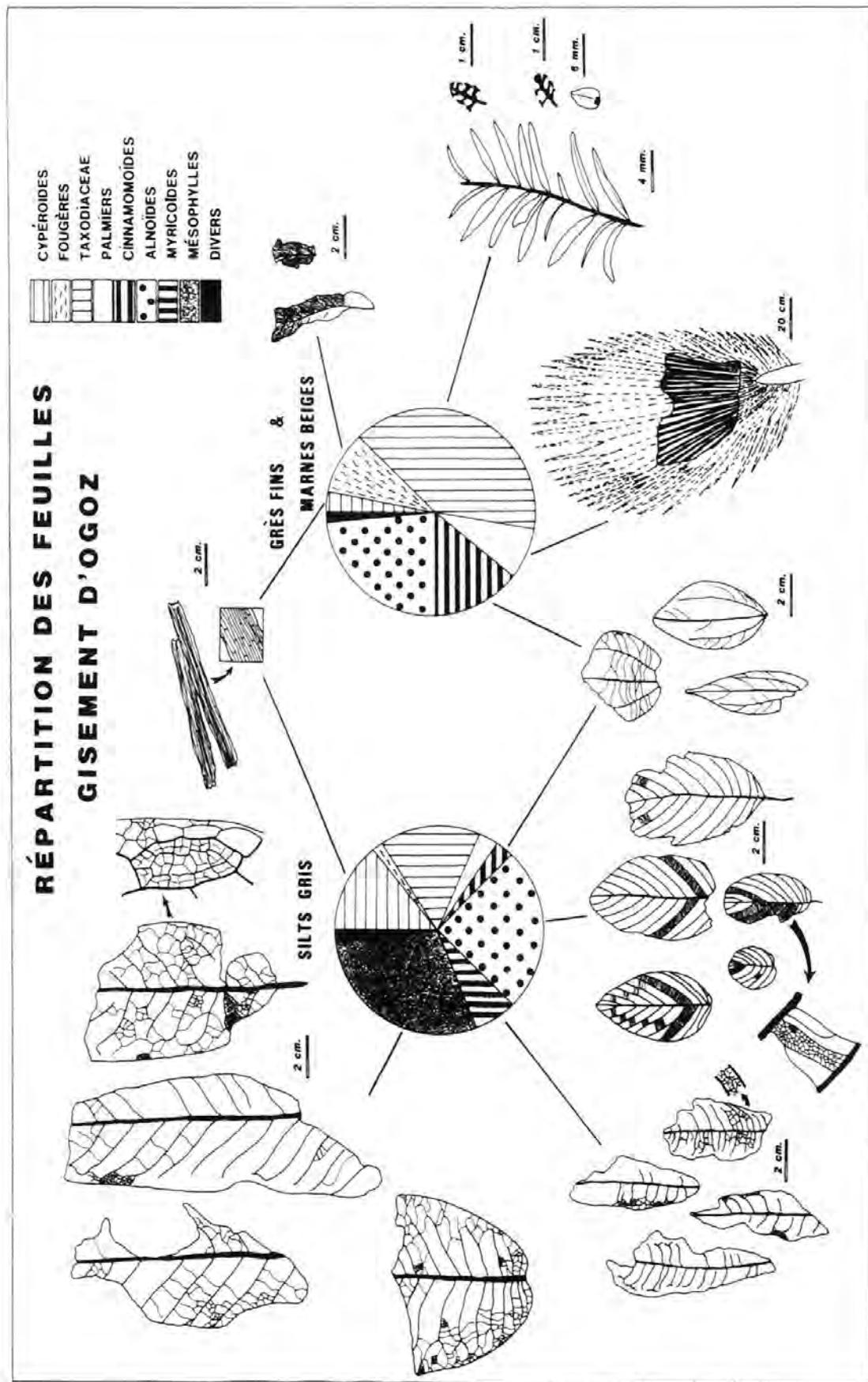


Fig. 2. Répartition des feuilles dans les deux différentes lithologies du gisement d'Ogoz.

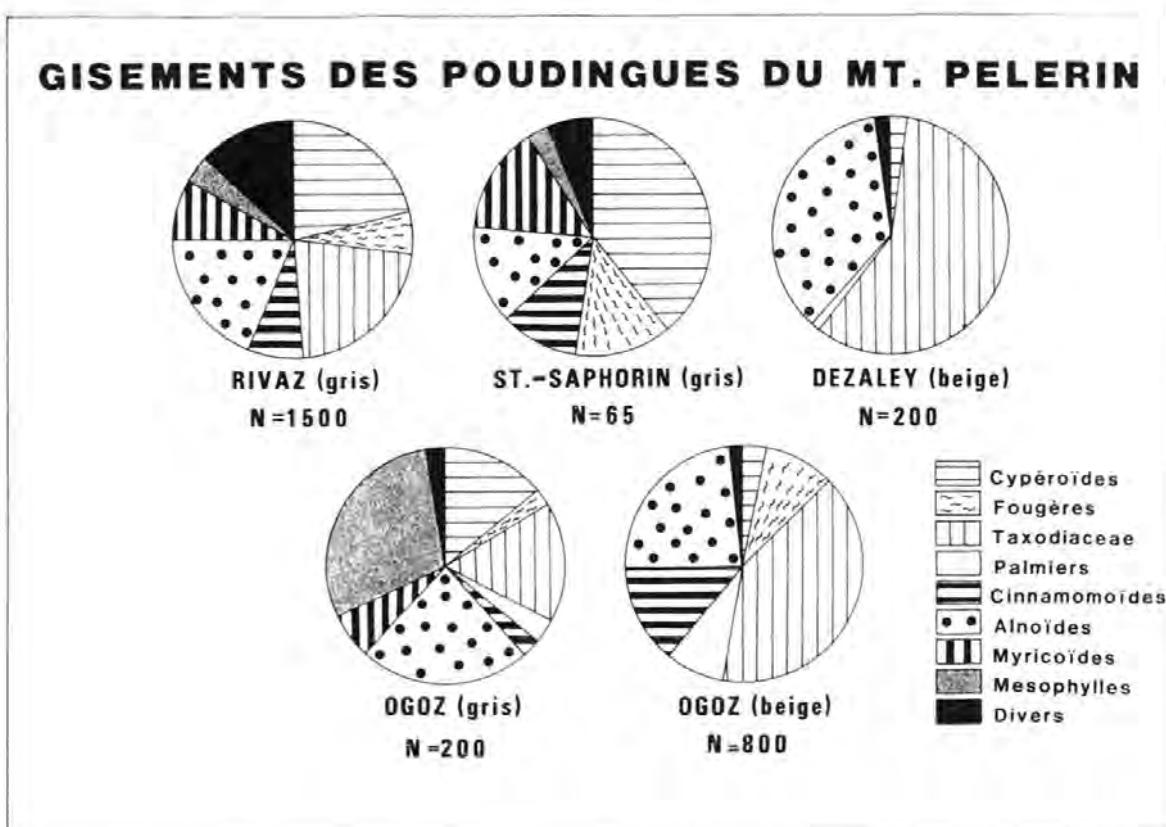


Fig. 3. Répartition des feuilles dans divers gisements des poudingues du Mt. Pelerin.

D'une manière générale, le transport des feuilles ne se fait pas sur de longues distances, et on considère qu'un assemblage fossile reflète plus ou moins la végétation environnante. Pourtant, l'importance des distorsions observées dans l'enregistrement fossile par rapport à la végétation ayant réellement vécu à l'époque est important (cf. article de D. Ferguson dans ce volume) même s'il est difficile à chiffrer. Quelques points sont à relever:

1. La mauvaise représentation des feuilles de petite taille (nano- et leptophylle) peut être due à un tri d'origine sédimentologique: la taille des structures sédimentaires formées par un régime fluviatile induit un tri des matériaux qu'il transporte et conditionne aussi la taille des éléments (par exemple des feuilles) qui y seront piégés. Ainsi, les aiguilles isolées de conifères et les feuilles leptophylles seront préférentiellement piégées par des rides de courant dans des milieux plus calmes. D'autre part, lors de la récolte du matériel, il y a un risque non négligeable que de petites feuilles (notamment si elles sont mal conservées) échappent à l'attention de l'observateur et soient prises pour de simples fragments.
2. La sous-représentation des grandes feuilles meso-, macro- et mégaphylles pourrait être liée à leur destruction partielle durant le transport. Mais un autre paramètre est à prendre en considération: les grandes feuilles sont généralement situées à l'intérieur

de la couronne végétale marquant le toit de la forêt tropicale. Il s'agit souvent de feuilles «d'ombre», protégées du vent, et dont le destin est de tomber directement et lourdement au sol afin d'y pourrir lentement (Ferguson 1985, Wolfe 1971, Spicer 1981). Au contraire, les feuilles plus petites, dites de soleil, auront un plus grand potentiel de fossilisation, car elles sont généralement transportées par le vent, ce qui leur offre la possibilité de tomber dans un milieu propice à un enfouissement rapide (lac, marécage ou bras mort).

Nous avons cherché à préciser le rôle du tri d'origine sédimentologique dans la composition des gisements (Berger 1990a, b). Nous présentons ici les résultats concernant les flores du gisement d'Ogoz.

A la fin des années 60, les travaux de construction de l'autoroute N12 (Burri & Berset 1972) ont mis à jour un riche gisement de feuilles fossiles au lieu-dit Ogoz. Exploité sous la responsabilité du Musée Cantonal de Géologie, Lausanne, ce gisement a livré plusieurs milliers de feuilles ainsi que quelques cônes, fruits et graines qui sont actuellement déposés dans le-dit Musée. Les fossiles proviennent de 2 horizons différents, l'un composé de grès fins & marnes beiges, l'autre de silts gris. La répartition des flores selon ces deux lithologies est présentée à la figure 2. Les différences observées étant sensibles, nous avons alors étendu nos recherches à d'autres gisements de la même formation, provenant eux-aussi soit de Silts gris (Rivaz-Monod, St. Saphorin), soit de Marnes et Grès beiges (Dézaley). Ces analyses sont confirmé nos premiers résultats notamment sur les points suivants (fig. 3):

- abondance régulière des feuilles alnoides
- rareté ou absence de Palmiers dans les silts gris
- prédominance des Taxodiaceae dans les marnes et grès fins beiges
- présence de Mésophylles et de Myricoides dans les silts gris
- domination des Cyperoïdes dans les silts gris

En conclusion: les interprétations paléoécologiques ou paléoclimatiques basées sur les feuilles fossiles doivent être émises avec la plus grande prudence: bien qu'il n'y ait aucun problème de remaniement à redouter, les phénomènes de transport jouent ici un rôle prépondérant et peuvent fausser complètement l'image que l'on se fait de la végétation ayant vécu sur ou près du site étudié.

## 5.2 *Les pollens et le remaniement*

Pour compléter nos investigations, nous avons procédé à un échantillonnage palynologique dans les Silts gris d'Ogoz et de Rivaz (Berger 1990b, Konzalova & Berger 1992). Les résultats peuvent être résumés de la manière suivante:

- Prédominance de pollen d'*Alnus* et de conifères (Pinaceae-Taxodiaceae-Cupressaceae)
- Présence de Bétulaceae, Ulmaceae, Myricaceae, Juglandaceae, Ericaceae
- Spores de Ptéridophytes et pollens de monocotylédones (Cyperaceae)

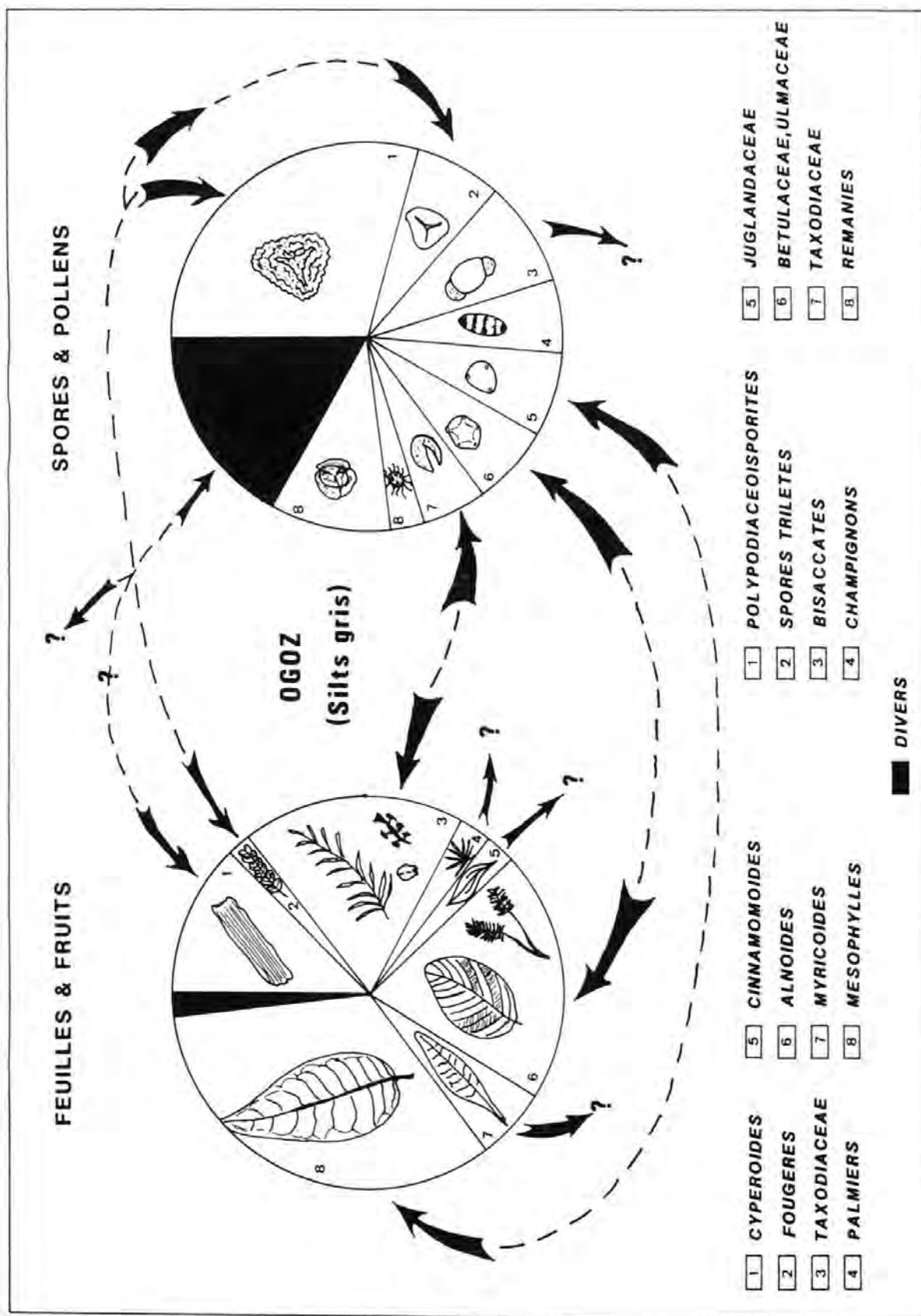


Fig. 4. Comparaison macròrestes-palynomorphes dans les silts gris du gisement d'Ogoz.

Ces formes sont considérées comme non remaniées en raison de leur type de préservation. A côté de ces espèces supposées synchrones, des formes clairement remaniées sont présentes parmi lesquelles de nombreux spores (*Gleicheniidites*, *Concavisporites*) qui sont typiques du Mésozoïque. Un point intéressant est la présence de tétrades (*Cicatricosporites*, *Corollina*) qui, de par leur fragilité, semblent indiquer un transport peu important. Ce phénomène, associé à la présence de Normapolles typiques du Crétacé supérieur, laisse supposer que des couches de cet âge devaient affleurer en amont non loin du fan alluvial du Pélerin.

### 5.3 La comparaison feuilles-fruits-graines-pollens

La comparaison des spectres polliniques avec les analyses des macrorestes permet de tirer les enseignements suivants (fig. 4):

- Les spores de Fougères sont très nombreuses, et leurs macrorestes plus rares.
- Les Lauraceae, bien représentés en Macrorestes, n'ont pas de correspondants parmi les palynomorphes. Ceci n'est pas une surprise pour les Lauraceae dont on connaît l'extrême fragilité des pollens et la grande résistance des feuilles.
- Certains couples macrorestes/pollens ont pu être identifiés, comme:  
Feuilles alnoides/pollens de *Alnus* et *Ulmus*  
Aiguilles, cônes et graines de *Sequoia*/ Pollens inaperturés de Taxodiaceae  
Feuilles de «*Dryandroïdes*»/Fruits de *Engelhardtia*/Pollens de Juglandaceae (*Engelhardtia*, *Pterocarya*).
- Alors que les pollens bisaccates (Pinaceae) sont très bien représentés, les macrorestes sont totalement inconnus: dès lors, on ne peut s'empêcher de reprendre l'hypothèse d'un remaniement: la qualité de préservation d'un pollen est un indice en faveur de sa contemporanéité, mais ne peut être considérée comme preuve: de nombreux contre-exemples existent dans la littérature. D'un autre côté, on sait que les pollens bisaccates sont particulièrement aptes à être transportés par le vent sur de longues distances. Il est donc parfaitement probable que des conifères vivant sur les pentes montagneuses en amont du fan alluvial aient vu leur pollen arriver jusque dans la zone de plaine, alors que leurs aiguilles et leurs cônes sont restés piégés sur place.

## Conclusion

Les quelques exemples cités dans ces pages mettent en évidence l'importance des études multidisciplinaires, et notamment la connaissance des processus d'altération, de préservation, de transport et de sédimentation dans l'interprétation des associations de fossiles. Ce type d'approche peut éviter bien des erreurs d'interprétation paléoécologiques et paléoclimatiques.

## Remerciements

Ce travail représente une petite partie des études que j'ai réalisées depuis une dizaine d'années dans la molasse suisse et pour lesquelles j'ai bénéficié du soutien de Fonds de National Suisse de la Recherche Scientifique, du Musée Géologique de Lausanne et de l'Institut de Géologie de l'Université de Fribourg. Je remercie également Regina Hable et Jo Plumkett (Inst. géol. Fribourg) pour le *Zusammenfassung* et l'*Abstract*.

## BIBLIOGRAPHIE

- BERGER, J.-P. 1985: La transgression de la Molasse marine supérieure (OMM) en Suisse occidentale. Münchn. geowiss. Abh., Reihe A, no 5, 207 p.
- 1989: Paläoökologie und Paläoklimatologie einiger oligozänen Floren der westschweizerischen subalpinen Molasse. Cour. Forsch. Senckenberg, 109, 207–228.
  - 1990a: Le rôle des environnements de dépôt pour les reconstitutions climatiques: les gisements à végétaux de la Molasse Grise de Lausanne (Miocène inférieur, Suisse occidentale). Paléobiologie continentale (Montpellier), XVII, 345–355.
  - 1990b: Floral changes in the Molasse of Western Switzerland (Oligo-Miocene): Paleoclimatic implications. In: KNOBLOCH, E. & KVACEK, Z. (Eds): Proceedings of the Symposium «Paleofloristic and paleoclimatic changes in the Cretaceous and Tertiary» (p. 189–194). Geol. Surv. Publ. Prague.
  - 1992a: Paléontologie de la Molasse de Suisse occidentale. Thèse d'habilitation. Université de Fribourg, 450 p., 62 fig., 38 tab., 26 planches.
  - 1992b: Correlative chart of the European Oligocene and Miocene: application to the Swiss Molasse Basin. Eclogae geol. Helv., 85/3, 573–609.
- BERSIER, A. 1939: Discoastéridés et coccolithophoridés des marnes oligocènes vaudoises. Bull. Soc. vaud. Sci. nat., 60, 229–249.
- BESEME, P. & BLONDEL, T. 1989: Les séries à tendance transgressive marine du Miocène inférieur à moyen en Tunisie centrale: données sédimentologiques, biostratigraphiques et paléoécologiques. Rev. Paléobiologie, 8/1, 187–207.
- BLANCHET, R. 1854–60: Présentation des fossiles de la Molière. Bull. Soc. vaud. Sci. nat., vol. 4 (p. 190, 249) et 5 (p. 349).
- BLAU, R.V. 1966: Molasse und Flysch im östlichen Gurnigelgebiet. Beitr. geol. Karte Schweiz, N.F., Lief. 125, 151 p.
- BOURDET DE LA NIEVRE, P.F. 1823: Über vier neue Arten Schildkröten (reptiles, chéloniens) im Sandsteine der Schweiz. Kurze Übersicht der Verhandlungen der allgemeinen Schweiz. Ges. f. gesamte Naturwiss., 9. Jahressversamml., Aarau, no 8, p. 49–50.
- 1825: Mémoire sur le gisement des ossements fossiles du Mont de la Molière. Ann. Soc. Cinn. Paris, 4, 361–379.
- BURRI, M. & BERSIER, A. 1972: Les complications tectoniques du Mont Pélerin. Eclogae geol. Helv., 65/1, 21–26.
- BUXTORF, A. & FROHLICHER, H. 1934: Zur Frage des Zusammenhangs des subalpinen Unter-Stampienmeeres mit dem Rheintalgraben. Eclogae geol. Helv., 26/2, p. 208.
- CARBONNEL, G. 1982: Ostracodes. In: JUNG, P. (Ed): Nouveaux résultats biostratigraphiques dans le bassin molassique, depuis le Vorarlberg jusqu'en Haute-Savoie (p. 47–59). Doc. Lab. Géol. Fac. Sci. Lyon, H.S. 7.
- CHANET, B. & BERGER, J.-P. 1995: Présence de *Solea kirchbergana* (von MEYER 1851) (Pisces, Pleuronectiformes) dans la Molasse Marine Supérieure (OMM, Miocène inférieur, «Burdigalien») de Villarlod (Fribourg, Suisse). Bull. Soc. Frib. Sc. nat. Vol. 83 (à paraître).
- CHAROLLAIS, J., HOCHULI, P., OERTLI, H., PERCH-NIELSEN, K., TOUMARKINE, M., ROGL, F. & PAIRIS, J.L. 1980: Les marnes à foraminifères et les schistes à Meletta des chaînes subalpines septentrionales, Haute-Savoie. Eclogae geol. Helv., 73/1, p. 9–70.
- CORMINBOEUF, P. 1959: Sur les couches de Cucloz-Villaryolard en Suisse occidentale. Eclogae geol. Helv., 52/1, p. 271–294.
- DAVID, L., BALLESTRO, R. & MONGEREAU, N. 1967: Première étude sur les bryozoaires du Pliocène rhodanien. G. Geol., ser. 2, XXXV, fasc. II, 107–116.
- DAVID, L., MONGEREAU, N. & POUYET, S. 1970: Bryozoaires du Néogène du Bassin du Rhône (France). Doc. Lab. Géol. Gac. Sci. Lyon, 40, p. 97–175.
- DIEM, B. 1986: Die Untere Meeresmolasse zwischen der Saane und Ammer. Eclogae geol. Helv., 79/2, p. 493–559.
- DOEBL, F., MÜLLER, C., SCHÜLER, M., SITTLER, C. & WEILER, H. 1976: Les marnes à foraminifères et les schistes à poissons de Bremorelbach (Bas-Rhin). Etude sédimentologique et micropaléontologique. Reconstitution du milieu au début du Rupélien dans le fossé rhénan. Bull. Sci. géol. (Strasbourg), 29/4, p. 285–320.
- DORTHE, J.-P. 1962: Géologie de la région sud-ouest de Fribourg. Eclogae geol. Helv. 55/2, p. 327–407.
- EMMENEGGER, C. 1962: Géologie de la région sud de Fribourg. Bull. Soc. fribourg. Sci. nat., 51 1961.

- FERGUSON, D.K. 1985: The origin of leaf-assemblages: new light on an old problem. *Rev. Palaeobot. Palynol.*, 46/1-2, p. 117-188.
- FISCHER, H. 1965a: Oberer Dogger und unterer Malm des Berner Jura. Tongruben von Liesberg. In: SCHAUB, H. & LUTERBACHER, H.P. (Eds): Neuere Daten zur mikropaläontologischen Forschung in der Schweiz zum 9. Europäischen Mikropaläontologischen Kolloquium (Schweiz, 1965), p. 25-36. *Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol.-Ing.*, 31/81.
- 1965b: Geologie des Gebietes zwischen Blauen und Pfrarter Jura (SW Basel). Mit einem mikropaläontologischen und einem paläogeographischen Beitrag. *Beitr. geol. Karte Schweiz. N.F.* 122.
- FRÖHLICHER, H. & WEILER, W. 1952: Die Fischfauna der unterstampischen Molasse des Entlebuchs, Kt. Luzern und ihre paläogeographische Bedeutung. *Eclogae geol. Helv.*, 45/1, p. 1-35.
- 1956: Zur Altersfrage der Dysodil-Ablagerungen beim Südportal des Weissensteintunnels bei Oberdorf (Kt. Solothurn). *Eclogae geol. Helv.*, 49/1, 135-140.
- GILLERON, V. 1885: Description géologique des territoires de Vaud. Fribourg et Berne. Matér. Carte géol., livr. 18.
- GLEMAREC, M. 1988: Les facteurs déterminant la distribution des bivalves actuels sur les plates-formes NE atlantiques. *Géol. médit.*, XV/1, 73-81.
- GOLLIEZ, H. & LUGEON, M. 1889: Nouveaux Chéloniens de la Molasse langhienne de Lausanne. *Abh. schweiz. paleont. Ges.* XVI.
- HARMELIN, J.G. 1988: Les Bryozoaires, de bons indicateurs paléobathymétriques en paléoécologie? *Géol. Méditerr.*, XV/1, p. 49-63.
- HEER, O. 1872: Monde primitif de la Suisse (traduction de I. Demole). H. Georg Ed. Genève, Bâle, 801 p.
- HUBER, B. & HOTTINGER, L. 1988: Benthische Mikrofauna des Oligozäns im südlichen Rheingraben. *Tagungsheft*, 67, Jg. Soc. Paléont. suisse, 27-29. 5. 1988, p. 67.
- IKEYA, N. & UEDA, H. 1988: Morphological variations of *Cytheromorpha acupunctata* (Brady) in continuous populations at Hammanako Bay, Japan. In: HANAI, T., IKEYA, N. & ISHIZAKI, K. (Eds): *Evolutionary biology of ostracoda* (p. 319-340). *Dev. Paleont. Stratigr.*, vol. 11, Elsevier, Amsterdam.
- JACCARD, M.A. 1869: Description géologique du Jura vaudois et neuchâtelois. Matér. Carte géol. Suisse. VI.
- JORDI, H.A. 1955: Geologie der Umgebung von Yverdon. Matér. Carte géol. suisse. N.S., livr. 99.
- KISSLING, E. 1896: Die Fauna des Mittel-Oligozän im Berner Jura. *Mém. suisses paléont.* XXII, 74 p.
- KONZALOVA, M. & BERGER, J.-P. 1992: Palynological investigations in the Swiss Molasse Basin: first results from the USM (Lower Freshwater Molasse, Oligocene to Early Miocene). In: KOVAR-EDER, J. (Ed): *Palaeovegetational development in Europa* (p. 159-167). *Mus. nat. Hist. Vienna (Proc. Pan-Europ. Palaeobot. Conf. Vienna, 19-23. 9. 91)*.
- LERICHE, M. 1927: Poissons de la molasse suisse. *Mém. Soc. Paléont. suisse*, XLVI et XLVII.
- LINIGER, H. 1925: Geologie des Delsberger Beckens und der Umgebung von Movelier. Matér. carte géol. Suisse. N.S., 55.
- MARTINI, E. 1990: The Rhinegraben system, a connexion between northern and southern seas of the European Tertiary. *Veröff. Obersee-Mus.*, A, 10, 83-98.
- MORNOD, L. 1949: Géologie de la région de Bulle (Basse-Gruyère). Molasse et bord alpin. Matér. Carte géol. Suisse, N.S., 91, 1-119.
- OERTLI, H.J. 1956: Ostrakoden aus der oligozänen und miozänen Molasse der Schweiz. *Schweiz. Paläont. Abh.*, 74, 119 p.
- PILLERI, G. 1986a: The denticeti of the western Paratethys (Upper Marine Molasse of Switzerland). *Investigations on Cetacea*, XIX, 11-77.
- 1987: The Sirenia of the Swiss Molasse. *Vammalan Kirjagino Oy*, Finland, 114 p.
- PORTIS, A. 1882: Les chéloniens de la molasse vaudoise. *Abh. schweiz. paläont. Ges.* IX.
- RANGHEARD, Y., DEMARCO, G., MONGEREAU, N., PHARISAT, A., POUYET, S. & TRUC, G. 1985: Le Miocène du Val des Verrières du Bief des Lavaux (Jura central, Haute-Chaîne): Événements paléobiogéographiques et géodynamiques. *Geobios*, 18/6, 769-785.
- RANGHEARD, Y., DEMARCO, G., MÜLLER, C., POIGNANT, A. & PHARISAT, A. 1990: Données nouvelles sur le Burdigalien du Jura interne: paléobiologie, biostratigraphie et évolution structurale. *Bull. Soc. géol. France*, (8), VI/3, 479-486.
- RIGASSI, D. 1977: Subdivision et datation de la molasse d'eau douce inférieure du Plateau suisse. *Paleolab News*, no. 1.
- 1957: Faune sannoisienne du Pont de Naves (Haute-Savoie). *Arch. Sci. (Genève)*, 10/2, 171-184.

- RÖGL, F. 1982: Foraminifera. In: JUNG, P. (Ed): Nouveaux résultats biostratigraphiques dans le bassin molasique, depuis le Vorarlberg jusqu'en Haute-Savoie (p. 25-30). Doc. Lab. Géol. Fac. Sci. Lyon H.S., no 7.
- RUTSCH, R.F. 1961-62: Zur Paleogeographie der subalpinen Unteren Meeressmolasse (Rupelien) der Schweiz. Teile I + II. Bull. Ver. schweiz. Petroleum -Geol. u. -Ing., 28/74 + 28/75, p. 27-32, p. 13-24.
- SCHERER, F. 1964: Ostrakoden aus der subalpinen Oligozän-Molasse der Schweiz. Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing., 31/80, 10-25.
- SCHOEPFER, P. & BERGER, J.P. 1989: «Burdigalian» and «Helvetician» in Western Switzerland. Geol. carpathica. 40/1, 17-21.
- SPICER, R.A. 1981: The sorting and deposition of allochthonous plant material in a modern environment at Silwood Lake, silwood Park, Berkshire, England. US geol. Surv., prof. Pap., no 1143, 77 p.
- STEHLIN, H.G. 1914: Übersicht über die Säugetiere der schweizerischen Molasseformation, ihre Fundorte und ihre stratigraphische Verbreitung. Verh. natf. Ges. Basel, XXV, 179-193.
- VAVRA, N. 1982: Bryozoa. In: JUNG, P. (Ed): Nouveaux résultats biostratigraphiques dans le bassin molassique depuis le Vorarlberg jusqu'en Haute-Savoie (p. 31-34). Doc. Lab. Géol. Fac. Sci. Lyon, H.S., no 7.
- VINKEN, R. (Ed) 1988: The northwest European Tertiary basin. Results of the IGCP Project no 124. Geol. Jb., A, 100, 508 p.
- WANG, P. & MURRAY, J.W. 1983: The use of foraminifera as indicators of tidal effects in estuarine deposits. Marine Geol., 51/3-4, 239-251.
- WEIDMANN, M. 1987: Petite géologie lausannoise. Cah. de la forêt lausannoise, 2, 38 p.
- WOLFE, J.A. 1971: Tertiary climatic fluctuations and methods of analysis of tertiary flora. Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol., 9, 27-57.
- ZIMMERMANN, M.A., KÜBLER, B., OERTLI, H.J., FRAUTSCHI, J.M., ROSSIER, F., DERES, F. & MONBARON, M. 1976: Molasse d'eau douce inférieure du Plateau suisse: subdivision par l'indice de détritisme; essai de datation par nannofossiles. Bull. Cent. Rech. PAu-SNEAP, 10/2, 583-625.