

La longue séquence pliocène de Marchésieux - Résultats analytiques et premiers résultats

Manuel Garcin, Geneviève Farjanel, Serge Courbouleix, P. Barrier, E. Braccini, P. Brébion, G. Carbonel, R.P. Carriol, Joël Casanova, M. Clet-Pellerin, et al.

▶ **To cite this version:**

Manuel Garcin, Geneviève Farjanel, Serge Courbouleix, P. Barrier, E. Braccini, et al.. La longue séquence pliocène de Marchésieux - Résultats analytiques et premiers résultats. Géologie de la France, 1997, 3, pp.39-77. hal-00562407

HAL Id: hal-00562407
https://brgm.hal.science/hal-00562407

Submitted on 3 Feb 2011

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

La "Longue séquence" pliocène de Marchésieux (Manche)

Résultats analytiques et premiers éléments d'interprétation

M. GARCIN (1), G. FARJANEL (1)
S. COURBOULEIX (1), P. BARRIER (2)
E. BRACCINI (3), P. BREBION (4)
G. CARBONEL (3), R.P. CARRIOL (4)
J. CASANOVA (1), M. CLET-PELLERIN (5)
M.C. JANIN (6), F. JEHENNE (2), M.C. JOLLY (7)
A. LAURIAT-RAGE (4), D. MERLE (4)
M.T. MORZADEC-KERFOURN (8)
C. PAREYN (9), A. ROSSO (10), A. SANOGO (1)
M. TOUMARKINE (2), D. WILLIAMSON (11)

The Marchésieux Pliocene "Long Sequence" (Manche)

Analytical results and first elements of the interpretation

Géologie de la France, n°3, 1997, pp. 39-77, 29 fig.

Mots-clés : Pliocène, Paléoclimat, Paléomagnétisme, O^{18}-O^{16}, C^{13}-C^{12}, Biostratigraphie, Milieu marin, Milieu continental, Palynomorphe, Faune, Invertébré, Manche, France.

Key words: Pliocene, Paleoclimate, Paleomagnetism, O^{18}-O^{16}, C^{13}-C^{12}, Biostratigraphy, Marine environment, Continental environment, Palynomorphs, Invertebrates, Manche, France.

Résumé

Le sondage intégralement carotté de Marchésieux a permis d'atteindre l'objectif fixé dans le projet AR42 du BRGM : l'analyse paléoclimatique du premier épisode glaciaire de l'hémisphère nord (Prétiglien, -2,4 Ma) et probablement le premier rafraîchissement de -3,1 Ma.

Les 159,3 m de sédiments datés du Reuvérien et du Prétiglien ont déjà livré une quantité importante d'informations aussi bien climatiques que paléoenvironnementales.

De par sa position géographique privilégiée et de par son environnement côtier, la "Longue séquence" de Marchésieux a précisé les modalités de la séquence de dégradation climatique en milieu continental et marin à nos latitudes moyennes.

La méthodologie fortement pluridisciplinaire, le plus souvent à très haute résolution, permet d'affiner notablement les modalités de la réponse de chaque environnement au changement climatique, et apparaît, en ce sens, beaucoup plus riche que les études monodisciplinaires classiques. Ainsi, les réponses zoologiques, phytosociologiques, sédimentologiques et géochimiques au stimulus *climatique externe peuvent être comparées et calibrées.*

Abridged English version

The palaeoclimatic records of the past five million years, reconstructed from oceanic sediments, illustrate the control of orbital parameters (precession, obliquity and excentricity) on global climate. The cooling trend that accompanied the end of the Neogene was also marked, towards -2.4 Ma, by the rapid development of ice sheets in the northern hemisphere.

Although the history of the world's climate reconstructed from oceanic records is becoming increasingly detailed, data concerning the evolution of coastal and continental environments during the course of these changes remains mainly fragmentary

The objective of Project AR42, financed by the Scientific Division of BRGM, was to locate and analyse the beginning of the major Plio-Quaternary climatic change (Pretiglian estimated at -2.4 million years) and to highlight the quantification factors and their impact on the environment (Courbouleix et al., *1992; Garcin* et al., *1993). Considering the aims of the Marchésieux "Long Sequence" study, it was necessary to use a multidisciplinary approach incorporating naturalistic as well as physical methods.*

The drilled target is at Champeaux in the Marchésieux district of the Manche

* Manuscrit reçu le 7 août 1996, accepté le 10 octobre 1997.

(1) BRGM, B.P. 6009, 45060 Orléans Cedex 02.
(2) IGAL, IPSL, 13 Boulevard de l'Hautil, 95092 Cergy-Pontoise.
(3) DGO, Université de Bordeaux I, 33405 Talence.
(4) MNHN, 8 rue Buffon, 75005 Paris.
(5) Centre de Géomorphologie, rue des Tilleuls, 14000 Caen.
(6) UPMC CNRS, 4 place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05.
(7) 2 rue de Vintué, 91580 Etrechy.
(8) Institut de Géologie, Campus de Beaulieu, 35042 Rennes Cedex.
(9) 31 rue de Jersey, 14000 Caen.
(10) IPOP, Corso Italia, 55 95129 Catania.
(11) LGQ, Université de Marseille-Luminy, 13288 Marseille Cedex 09.

Department (x = 335.84; y = 1172.29; z = +9m NGF(1)). The continuous borehole core provided 159.3 m of sediments covering a period of about 1 million years and dated as Reuverian and Pretiglian. It enabled the first episode of glaciation in the northern hemisphere (-2.4 Ma) to be analysed and probably the first period of cooling (about -3.1 Ma) in the basal part of the borehole.

The analyses have provided a great deal of data that now enable a fine reconstruction of the responses to climatic change in both the marine environment (sedimentology, evolution and modification of faunal populations, etc.) and continental environment (evolution of the vegetation, resumption of erosion, formation of aeolian dunes, etc.).

The marine palaeoenvironment

Four units have been distinguished from bottom to top of the borehole:

- **First unit (160 to 100 m)**: from the contact with the Permian basement at 160 m, homogeneous bioclast-poor clayey sand. The mineralogical composition of the clays in the sediment close to the basement/fill contact shows a clear predominance of illite and a high percentage of chlorite. The probable clastic origin of these clays indicates the nearby presence of a crystalline basement that was undergoing weathering, with the weathered products being transported over a short distance before being redeposited when the basin filled with water. The depositional environment of this unit corresponds first to the lower infralittoral and then to the upper circalittoral, i.e. to depths of about 30 to 40 m evolving to 40 to 80 m. The palaeobiocenosis is typical of a 'Coastal Detrital' or 'Silted Heterogeneous Sand' environment with mainly weak unidirectional current hydrodynamism and relatively little detrital deposition. The aquatic vegetation is poorly developed, although the ostracods are represented mainly by forms associated with phytal environments. The sea bottom with Spongiae, the scleractinians, the stylasterids, and the bioturbations all indicate a well-oxygenated environment with normal salinity. The upper part of this unit (140 m to about 100 m) yielded the only calcareous nannofossils of the series, albeit not very abundant, indicating the most open conditions to the ocean for the whole of the "Long Sequence", which is only weakly oceanic.

The organisms in this interval for the most part indicate fresh water. Note in particular the development of bottoms with siliceous Spongiae reminiscent of present day Nordic bottoms. This observation is confirmed by the $^{16}O/^{18}O$ isotopic curve which shows, over this interval, stable values with a low variability and a mainly cold trend.

- **Second unit (100 to 65 m)**. constituted of highly bioclastic heterogeneous clayey sand with many basement lithoclasts; tracks of organisms on the bottom beds are to be noted. Siliceous sponge spicules have disappeared, glauconite grains become increasingly scarce and driftwood debris originating from the continent are reported (microfacies and palynofacies). This unit corresponds to an upper circalittoral environment where the depositional energy was on the whole clearly greater than that of the first unit. The hydrodynamism corresponds to slightly bioclastic silty sand in movement over a gravelly bottom; it is accompanied by an increase in detrital deposits from the continent. The bottoms seem richer in aquatic vegetation, as indicated by the presence of grazing organisms. They were well oxygenated and some currents rich in nutritive deposits were probably present. The water temperature seems to increase from the bottom to the top of the unit; this observation is confirmed by the $^{16}O/^{18}O$ isotopic curve which shows a general warming trend in spite of much greater variability than previously. Two peaks are noted which tend to indicate a cooling at borehole depths 97/98 m and, more particularly, around 80 m; these two peaks, however, fall within the overall warming trend.

- **Third unit (65 to 32.4 m)**: the upper limit of the unit corresponds to the gullying contact of the "Faluns de l'Abbaye des Bohons" over the Bosq-d'Aubigny Formation. The sediments of this unit comprise heterogeneous bioclastic clayey sand; the bio/litho ratio shows a clear downward trend in the upper part, corresponding to the appearance then increase in the number of Spongiae spicules. The clayey intervals are characterised, from 62 m up, by the appearance of irregularly interbedded non-swelling minerals which correspond mainly to an inheritance of detrital minerals accompanied by their weathering alteration products. The depositional environment is on the whole characterised by the circalittoral infralittoral passage zone (40/50 m). The type of sediment characterises either "Coastal Detrital" or "Silted Heterogeneous Sand". Signs of euxinic bottoms from 65 to 44 m are to be noted; above, the bottom sediments do not seem to reflect any oxygen deficiency and one notes the establishment of bottom beds rich in Spongiae, indicating the existence of nutritive currents. Signs of transport and of faunal mixing reflect the presence of active bottom currents. The submarine vegetation is rarer than in Unit 2, as indicated by the scarcity in grazing organisms.

From the climatic point of view, many signs of a degradation in a cold environment are indicated by the organisms (foraminifera, ostracods, cirripeds, bryozoans, etc.) and this was very likely accompanied by a drop in sea level foreshadowing the stop of sedimentation at 32.4 m. The oxygen isotopic curve envelope confirms the signs of climatic cooling and, at the same time, shows great variability.

- **Fourth unit (32.4 to 0 m)**: constituted of heterogeneous sandy calcarenite. These facies characterise bioclastic sand in movement over the bottom; only a few horizons reflect silting up. The depth of deposition of this unit is compatible with that of the upper circalittoral stage, the environment reflecting high-energy sedimentation with signs of reducing bottom conditions. The malacofauna constituting a large proportion of rock is not very diversified, essentially represented by Pectinidae; the absence of grazing organisms leads one to presume a fairly poor submarine vegetation.

From the climatic point of view, this assemblage can be split, according to the isotopic curves, into two parts:

- from 32.4 m to about 18 m one notes a clear warming trend that is suddenly interrupted at about 18 m;

(1) French datum level

- from 18 m to the top marks a new warming trend, although the variability of the isotopic values is high.

The continental palaeoenvironments

On the continent, other than the hinterland with continuous vegetation represented mainly by Pinus silvestris, *the evolution of the landscape from the bottom to the top of the sequence is generally as follows: from 158.50 m to 142 m, firmly established trees of dry and temperate forest environments then, from 142 m to 139 m, one notes an extension of marshy forest conditions with Taxodiaceae and also several signs of aeolian sand transport. From 130 to 110 m, the Taxodiaceae regress to be replaced by* Pinus haploxylon. *The following period sees the extension of the salt marsh near the shoreline and the development of fresh water aquatic plants (from 104 to 99 m). From 87 m, both the Taxodiaceae and* Pinus haploxylon *regress, exposing the hinterland to more active erosion which was responsible for the large influx of basement lithoclasts in the basin. At 68 m the arboreal vegetation diminishes on the continent: progression of Ericaceae moors, development of alders, Cyperaceae, and spores of bryophytes (sphagnum) and pteridophytes (ferns). Broad-leaved trees such as* Quercus *regress. Between 44 and 35.8 m the Ericaceae moor is at its maximum and the climate becomes colder. From 32.4 m to 20 m, one notes the strong resumption of wind-transported sand characterising the remobilisation of a large quantity of aeolian grains (dunes) accumulated during the immediately preceding glacial episode. This had led to a drop in sea level giving rise to emergence of the region and exposing large areas that were less protected on account of the regression of the arboreal vegetation with aeolian deflation. The shell sands and green clay at the top of the sequence reveal an arboreal vegetation dominated by gymnosperms* (Pinus silvestris, Sciadopytis *and Cupressaceae).*

Stratigraphy

Due to its favourable geographic position and its coastal environment, the Marchésieux "Long Sequence" has made it possible, in agreement with the physical and biostratigraphic data, to clarify the stratigraphic correlation and appraise the detail of the first stages of climatic degradation of the first Plio-Quaternary glacial episode (Pretiglian: -2.4 Ma). This study has, furthermore, demonstrated the complementarity of naturalistic, physical and geochemical methods in a project of this type.

Introduction

A l'échelle des cinq derniers millions d'années, les enregistrements paléoclimatiques restitués par les sédiments océaniques illustrent clairement le contrôle des paramètres orbitaux (précession, obliquité et excentricité) sur le climat global. La tendance au refroidissement qui accompagne la fin du Néogène est ainsi marquée vers -2,4 Ma par le développement rapide des calottes de glace de l'hémisphère nord (Shackleton *et al.*, 1984), dont les faibles changements de volume entre -2,4 et -0,7 Ma apparaissent dominés par l'obliquité (période de 41 Ka) (Raymo *et al.*, 1989). Après -0,7 Ma, l'amplitude des variations de volume des calottes augmente considérablement et la période dominante de ces variations passe de 41 à 100 Ka (Ruddiman *et al.*, 1989).

Alors que l'histoire du climat global restituée par les enregistrements océaniques est sans cesse précisée, les données concernant l'évolution des environnements continentaux et côtiers au cours de ces changements restent essentiellement fragmentaires.

Le projet AR42 financé par la Direction Scientifique du BRGM avait pour objectif de rechercher et d'analyser le début de la crise climatique du Plio-Quaternaire (Prétiglien évalué à -2,4 Ma) et de faire ressortir les éléments de quantification et d'impact sur l'environnement de cette dernière (Courbouleix *et al.*, 1992, 1994 ; Garcin *et al.*, 1993).

Compte tenu des exigences attenantes à ce type d'étude, un carottage continu des formations géologiques traversées s'est avéré nécessaire afin d'extraire le maximum d'informations de ces sondages.

La "Longue séquence" de Marchésieux

Localisation

La "Longue séquence" de Marchésieux a été forée dans le bassin de Carentan qui se situe dans le col du Cotentin (département de la Manche, fig. 1). Le bassin de Carentan possède un remplissage constitué de formations plio-quaternaires, parfois épaisses, reposant soit sur le Permien rouge, soit sur les carbonates mésozoïques ou soit sur des granites.

L'une des caractéristiques de ce bassin est sa morphologie très complexe et très contrastée où de nombreux paléoreliefs de socle sont ennoyés. Ce type de morphologie a été pressenti lors de l'étude d'anciens forages d'eau où les formations plio-quaternaires accusent de fortes variations d'épaisseurs (Pareyn, 1984, 1987).

Le paysage est essentiellement constitué de bocages et d'anciens marais ; les reliefs y sont très peu accusés et oscillent entre le niveau marin et quelques mètres.

Seuls, quelques reliefs de socle pointent, de loin en loin, et forment de petits promontoires (Périers et villages avoisinants).

Sondage

La "Longue séquence" a été forée sur la commune de Marchésieux au lieu-dit "Champeaux" (x = 335,84 ; y = 1172,9 ; z = +9 m NGF). Le sondage a fourni une carotte de 159,3 m de formations plio-quaternaires et a été arrêté à 162 m après avoir traversé le toit du Permien rouge constituant, ici, le soubassement du bassin (Garcin *et al.*, 1991).

Description sommaire

Macroscopiquement, les formations traversées au-dessus du Permien peuvent être décomposées en sept unités de la base au sommet (fig. 2) :

- de 159,3 à 152 m : argiles plastiques grises à passées bioclastiques. Elles reposent en discordance sur les argilites rouges du Permien par l'intermédiaire d'un contact très franc ;

- de 152 à 96,2 m : sables argileux gris à grains fins, homogènes ;

- de 96,2 à 45,6 m : sables argileux gris bioclastiques à grains fins à moyens présentant des horizons plus grossiers ;

- de 45,6 à 32,4 m : argiles grises sableuses faiblement bioclastiques ;

- de 32,4 à 7,5 m : sables brun-roux fortement bioclastiques (lamellibranches,

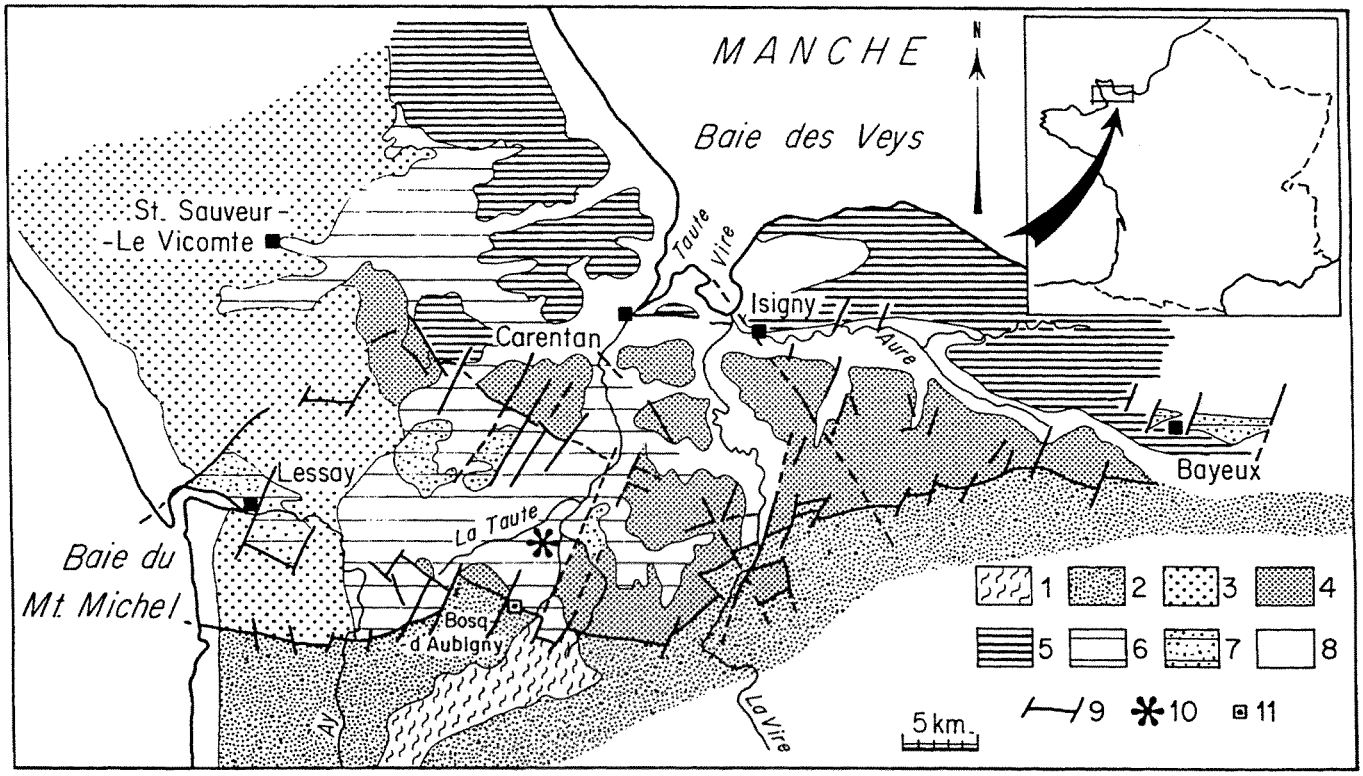


Fig. 1.- Le Haut Cotentin, Normandie. Carte géologique et localisation des sondages (modifié d'après Pareyn, 1984).
1 : Diorite, 2 : Précambrien, 3 : Dévonien, 4 : Permo-Trias, 5 : Jurassique, 6 : Plio-Pléistocène, 7 : Sables de Saint-Vigor, 8 : Pléistocène supérieur, 9 : Faille, 10 : Situation du sondage de Marchésieux, 11 : Situation du sondage du Bosq-d'Aubigny.

Fig. 1.-The Cotentin high, Normandy. Geological map showing borehole locations (modified from Pareyn, 1984).
1: Diorite, 2: Precambrian, 3: Devonian, 4: Permo-Triassic, 5: Jurassic, 6: Plio-Pleistocene, 7: Saint-Vigor sands, 8: Late Pleistocene, 9: Fault, 10: Location of the Marchésieux borehole, 11: Location of the Bosq-d'Aubigny borehole.

gastéropodes etc.) présentant des niveaux à galets et à graviers ;

- de 7,5 à 1,1 m : argiles verdâtres à taches rouille (altérations superficielles), silteuses, finement micacées, présence de graviers ferrugineux ;

- de 1,1 à 0 m : terre végétale brun orangé à petits graviers de quartz et de quartzites, présence de nombreuses traces de racines.

Méthodes d'études

Introduction

Compte tenu des ambitions de l'étude de la "Longue séquence" de Marchésieux, il s'est avéré indispensable d'effectuer une étude multidisciplinaire comportant des méthodes aussi bien naturalistes que physiques. Chaque fois que cela était possible, des quantifications ou semi-quantifications ont été effectuées. Cette démarche, *en sus* des déterminations et des indications stratigraphiques ou écologiques, a permis de représenter sous forme de courbe les fréquences relatives de chaque organisme ou phénomène analysé en fonction de la profondeur dans le sondage.

Cette méthode permet dans un premier temps de déduire quels sont les phénomènes ou organismes à forte corrélation ou au contraire à corrélation inverse ; dans un second temps, elle permettra de traiter ces diverses courbes à l'aide de fonctions de transferts adéquates afin, d'en tirer des valeurs quantitatives sur des paramètres primordiaux (températures, bathymétrie etc.).

Nous avons scindé les résultats issus de chaque discipline en quatre groupes de **marqueurs** en fonction du type de résultat qu'elles fournissent.

Les marqueurs lithologiques :

Dans cet ensemble, nous avons regroupé les disciplines dont les indications sont liées à la lithologie et aux variations de cette même lithologie des sédiments. Les méthodes d'études y sont aussi bien physiques, chimiques que naturalistes.

Les disciplines suivantes ont été abordées :

- sédimentologie ;
- microfaciès ;
- analyses granulométriques ;
- analyse des argiles aux rayons X ;
- minéralogie.

Les marqueurs biologiques :

Sous ce terme, sont rassemblées les études traitant de la faune et de la flore en général, que ce soit en terme de systématique, de datation ou de paléoenvironnement. Le sondage de Marchésieux ayant traversé des sédiments marins côtiers, son étude permet de récolter des informations sur le milieu marin mais aussi sur le milieu continental constituant son arrière-pays immédiat. En conséquence, la "Longue séquence" de Marchésieux occupe une position privilégiée pour tenter un raccord entre les données océaniques récoltées lors des forages DSDP/ODP etc. et les observations effectuées à terre. Dans ce contexte, les biomarqueurs revêtent une importance capitale.

Micropaléontologie et disciplines connexes

- palynologie haute résolution,

- étude de la matière organique : palynofaciès,
- dinoflagellés,
- nannofossiles,
- foraminifères,
- ostracodes.

Paléontologie

- lamellibranches,
- gastéropodes,
- bryozoaires,
- annélides,
- coraux,
- poissons (otolithes),
- cirripèdes.

Les passées fossilifères ont fait l'objet d'une étude bionomique visant à reconstituer, à partir des associations faunistiques et des éléments du sédiment, les caractères écologiques du milieu (paléoprofondeur, type de substrat, oxygénation, turbidité des eaux etc.).

Les marqueurs géochimiques :

- isotopes stables de l'oxygène (O16/O18),
- isotopes stables du carbone (C12/C13),
- calcimétrie haute résolution.

Les marqueurs physiques :

Ces marqueurs sont uniquement représentés par les disciplines traitant du paléomagnétisme. Les informations fournies sont aussi diverses que la polarité du champ magnétique terrestre ou l'arrivée de flux détritique fin dans le bassin :

- inclinaison magnétique ;
- polarité magnétique ;
- susceptibilité magnétique.

Avertissement

Des distorsions quant à la datation stratigraphique des niveaux rencontrés peuvent apparaître entre certains chapitres. Celles-ci dépendent de l'attribution de la limite plio-quaternaire soit à -2,4 Ma (Prétiglien) soit à -1,64 Ma (Intra Tiglien), cette dernière correspondant à la limite conventionnelle plio-pléistocène. Afin de permettre au lecteur une meilleure compréhension des attributions stratigraphiques présentées par les différents spécialistes, celui-ci se reportera à la figure 3 où différentes échelles du Plio-Quaternaire sont corrélées.

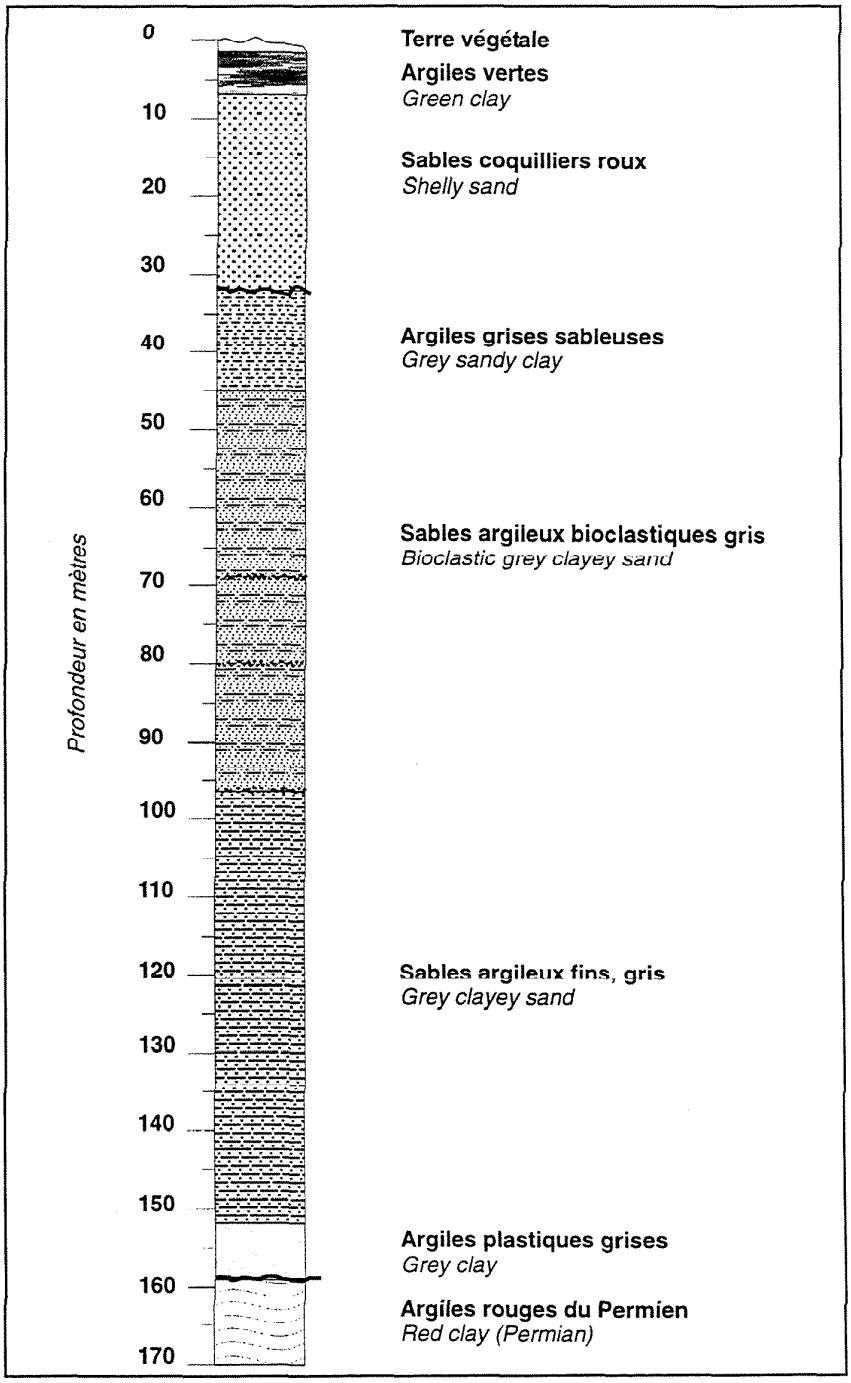


Fig. 2.- Log simplifié du forage de Marchésieux.

Fig. 2.- Simplified log of the Marchésieux borehole.

Résultats des analyses

Les marqueurs lithologiques

Sédimentologie (P. Barrier)

Microfaciès

Les sédiments suffisamment indurés pour pouvoir fabriquer des plaques minces sont rares le long de la séquence de Marchésieux. Il s'agit généralement de grès fins, de calcaires fins et de calcarénites.

Sont présentées ici les analyses des échantillons indurés les plus typiques de la série.

Les numéros d'échantillons correspondent à la profondeur (exemple : MAR 7.20 = Marchésieux, profondeur 7,2 m).

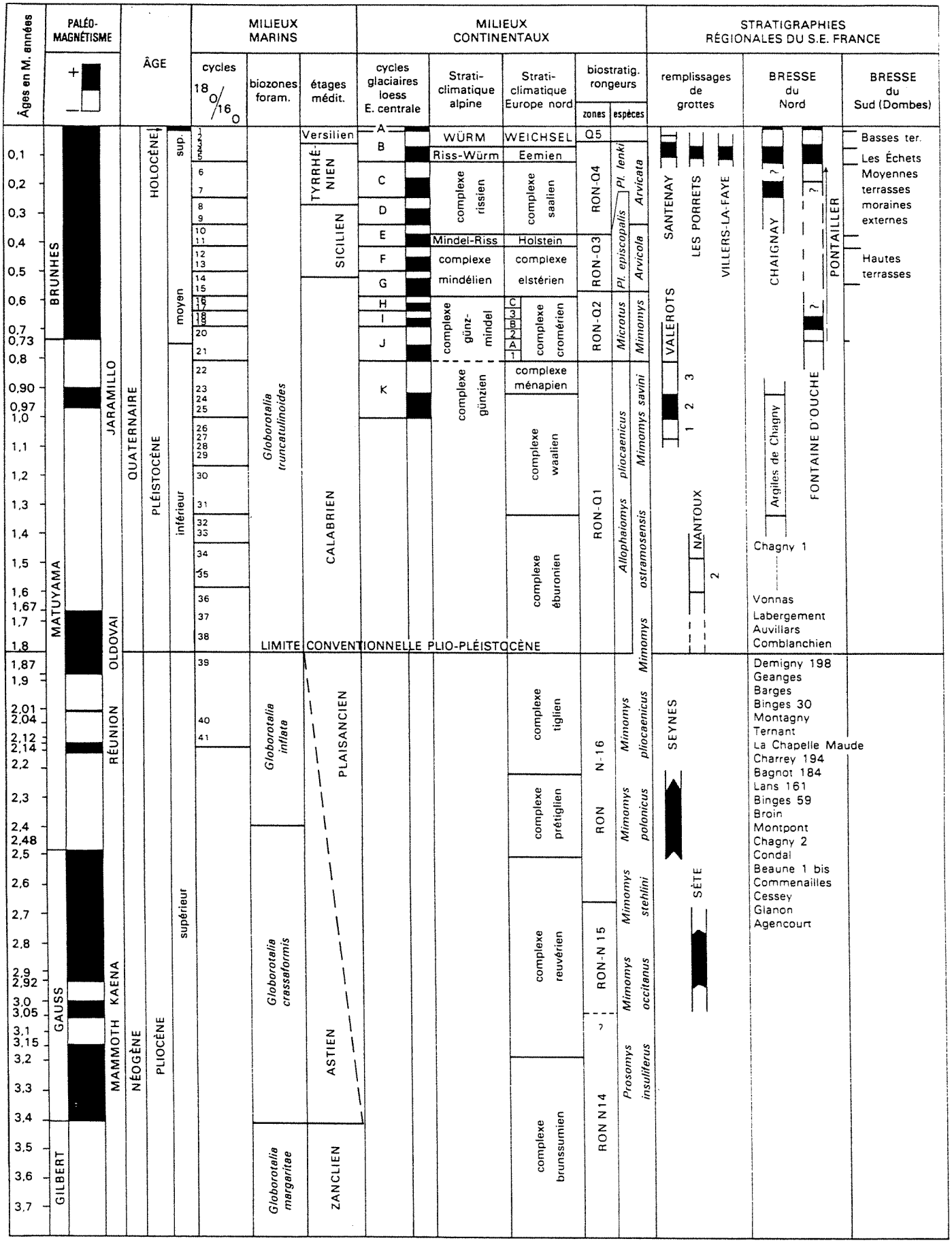


Fig. 3.- Cadre chronologique, climatique, biologique et stratigraphique du Quaternaire et du Pliocène supérieur (J. Chaline *in* : synthèse géologique du S.E. de la France, Mém. BRGM, n° 125, 1984).

Fig. 3.- Chronological, climatic, biological and sratigraphic setting of the Quaternary and Late Pliocene.

Description

MAR. 7.20 : Wackestone bioclastique.
Lithoclastes : quartz, feldspath.
Bioclastes : spicule de spongiaire, bryozoaire, lamellibranche, foraminifère benthique hyalin, échinide, holoturie, brachiopode, *Pecten*.
Matrice : micrite.
Diagenèse : recristallisation de sparite macrocristalline et rare mouchetures de microsparite.
Conclusion : vase sableuse à faibles apports détritiques, milieu circalittoral vraisemblable.

MAR. 26.15 : Packstone à passées de type grainstone.
Même composition faunique et lithologique que MAR. 26.65 mais plus riche en glauconie.
Même évolution diagénétique que MAR. 26.65.
Même *conclusion* que MAR. 26.65.

MAR. 26.65 : Grainstone bioclastique.
Lithoclastes : quartz, biotite, glauconie, grains émoussés.
Bioclastes : riche en bryozoaire, balane, échinide, lamellibranche, gastéropode, ostréidé, otolithe de poisson, malacostracé, brachiopode térébratulidé, foraminifères planctoniques, (globigérinidés et *Globorotalia*).
Structure : imbrication des coquilles.
Ciment : macrosparite tardive.
Diagenèse : forte porosité de dissolution recristallisation partielle à ciment drusique en dent de chien.
Conclusion : sable bioclastique en mouvement sur le fond, assemblage de milieu circalittoral.

MAR. 43.50 : Wackestone à mudstone, bioturbé à packstone
Lithoclastes : quartz, feldspath, muscovite, biotite, grains de quartz émoussés.
Bioclastes : nombreux spicules de spongiaire, ostracode, échinide, brachiopode, gastéropode, bryozoaire, balane, lamellibranche.
Structure : poches de bioturbation = terriers ouverts à remplissage bioclastique (packstone).
Matrice : micrite.
Diagenèse : faible porosité de dissolution.
Conclusion : vase de décantation à rares apports sableux, fond riche en spongiaires, milieu bien oxygéné et riche en apports nutritifs.

MAR. 46.00 : Packstone sableux.
Lithoclastes : quartz, feldspath, glauconie.
Bioclastes : brachiopode, lamellibranche, serpule, riche en bryozoaire, ostracode, balane, holoturie, échinide, gastéropode, miliole, globigérinidés.
Structure : nombreux bioclastes roulés, bioclastes imbriqués.
Matrice : micrite, rare.
Ciment : microsparite.
Diagenèse : nombreuses dissolutions et recristallisations partielles en sparite microgranulaire, forte porosité de dissolution.
Conclusion : sable bioclastique assez propre, en mouvement sur le fond, association de milieu circalittoral.

MAR. 69.00 : Packstone sableux.
Lithoclastes : quartz,feldspath, glauconie, les grains sont hétérogranulaires.
Bioclastes : échinide, ostracode, spongiaire, lamellibranche, holoturie, ophiure, bryozoaire, gastéropode.
Structure : imbrication de coquilles.
Matrice : micrite.
Diagenèse : rare dissolution, plages riches en oxyde de fer.
Conclusion : sable vaseux bioclastique en mouvement sur le fond, diversité faunique du milieu circalittoral, présence de courant et d'apports nutritifs sur le fond.

MAR. 96.20 : Wackestone sableux.
Lithoclastes : quartz, feldspath, muscovite, biotite, glauconie. Les grains de quartz sont anguleux.
Bioclastes : nombreux spicules de spongiaires monoxones, rares foraminifères : *Lenticulina* sp. - nombreux débris de végétaux, débris de crustacés décapodes.
Structure : bioturbations tubulaires de polychètes.
Matrice : micrite.
Diagenèse: macrosparite mouchetée dans la matrice micritique.
Conclusion : vase de décantation marine de faible énergie de dépôt, finement bioturbée. La glauconie évoque une bonne oxygénation sur le fond et l'abondance de spongiaires, l'arrivée d'éléments nutritifs renouvelés.

MAR. 146.30 : Grès fin hétérogène à ciment calcaire.
Lithoclastes : quartz dominant, feldspath, rare mica, grains émoussés hétérogranulaires.
Bioclastes : rares débris d'échinoderme, matière organique en débris.
Structure : bioturbations tubulaires de polychètes errantes.
Ciment : microsparite.
Diagenèse : rare figure de dissolution.
Conclusion : sédiment marin mal classé avec cependant une usure des grains de quartz qui évoque un milieu primaire de haute énergie. L'hétérogénéité des grains fins et les bioturbations font penser à un milieu marin calme à grains de sable remaniés du littoral.

Interprétation

Sur les huit lames réalisées, seule la plus profonde (MAR. 146.30) est pauvre en faune. Les autres sont richement bioclastiques. D'une manière générale, l'environnement de dépôt établi à partir des lames minces, est franchement marin. De mer ouverte, il est oxygéné, riche en apports nutritifs et assez profond. Les associations fauniques évoquent un milieu circalittoral soumis à plusieurs reprises à l'action de courants de fonds.

La découverte de foraminifères planctoniques dans plusieurs lames est intéressante. Il s'agit de globigérinidés. Bien que rares, ils indiquent des communications avec le domaine océanique à plusieurs reprises. Ce fait est d'ailleurs confirmé par la présence en plusieurs points de coccolithophoridés. Il est à signaler que quelques tests de foraminifères planctoniques avaient été reconnus dans des échantillons provenant de sondages réalisés à Marchésieux (comm. s.p. Margerel).

La présence en lame mince de foraminifères planctoniques, alors qu'ils sont absents en dégagé sur ce sondage, s'explique vraisemblablement par une induration précoce du sédiment sur le fond. Cette induration les a préservés des dissolutions postérieures de la diagenèse tardive qui a affecté les sédiments restés meubles.

Sédiments meubles

Méthode

Elle a consisté en une observation à la loupe binoculaire de tous les échantillons meubles prélevés. Chaque objet a été analysé selon une méthode d'évaluation semi-quantitative comprenant, suivant la nature de l'objet observé, de deux à cinq classes.

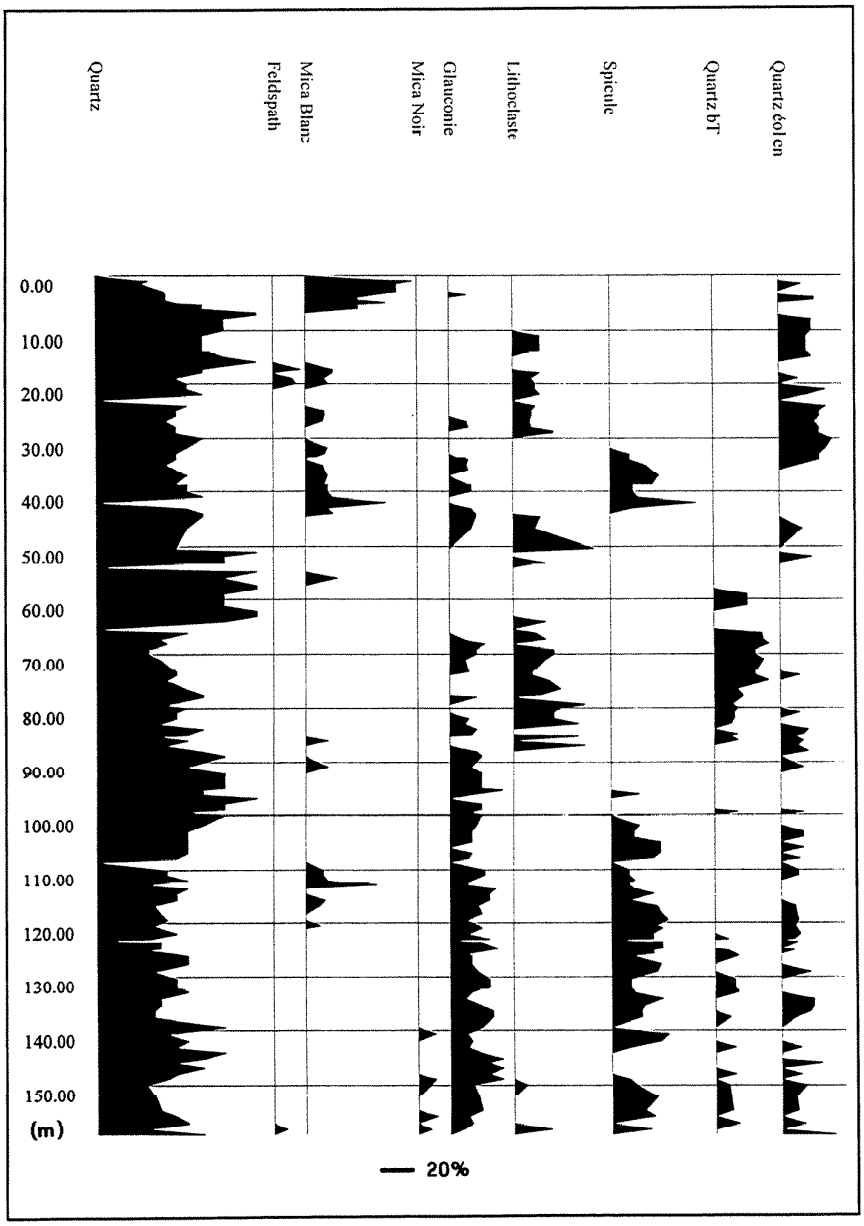


Fig. 4.- Courbes quantitatives des constituants principaux de la carotte de Marchésieux.

Fig. 4.- Quantitative curves of principal constituents of the Marchésieux core.

Ont été pris en compte :

- l'aspect du sédiment (homogène, hétérogène) ;
- la taille des grains (très grossiers >1/2 mm, grossiers de 0,5 à 1 mm, moyens de 250 à 500 µm, fins de 125 à 250 µm, très fins de 62 à 125 µm) ;
- l'angulosité des grains (anguleux, émoussé, très émoussé, arrondi, rond) ;
- le rapport bio/litho en pourcentage ;
- feldspath, mica blanc, mica noir, glauconie, lithoclastes, pyrite, quartz filoniens basse température, quartz à patine éolienne (quartz "désertiques") ;
- la fréquence des quartz (rare, fréquent, abondant, très abondant) ;
- l'aspect de la faune : intacte, brisée, roulée, bio-érodée ;
- des indices de fond réducteur et de bois carbonisé ont été notés.

La présence, l'absence ou la fréquence relative des paramètres observés (fig. 4 et 5) permettent de faire apparaître des coupures le long de la séquence de Marchésieux. Ces coupures correspondent à des changements brusques de l'environnement de dépôt. Il sera intéressant de voir si les variations dans la dynamique de dépôt correspondent aussi à des transformations des peuplements fauniques. Dans ce cas, on essayera d'approcher la cause des modifications de l'environnement en quantifiant l'ampleur des variations, par exemple sur la profondeur de dépôt ou sur la température de l'eau.

Il a été possible de distinguer huit périodes à sédimentation contrastée le long de la "Longue séquence". Chacune de ces périodes montrent des cycles internes que l'on tentera de préciser après une mise en commun de toutes les informations physiques et biologiques enregistrées (par exemple, dans la première période, la disparition des fonds à spongiaires et l'apparition des herbiers à milioles).

Les huit périodes sont réparties ainsi :

Période 1 : de 159,13 à 139,50 m :

- le sédiment est plutôt homogène à grains fins ;
- les grains de quartz sont faiblement émoussés ;
- le sédiment est très pauvre en bioclastes ;
- présence de glauconie associée à de nombreux spicules de spongiaires siliceux ;
- la faune est plutôt conservée intacte ;
- la présence et parfois la fréquence des grains d'origine désertique est à noter (fig. 4 et 6) ;
- présence de micas noirs.

Période 2 : de 137,70 à 101,80 m :

- le sédiment est plutôt homogène à grains fins ;
- les grains de quartz sont très émoussés ;
- le sédiment est pauvre en bioclastes ;
- la glauconie et les spicules de spongiaires siliceux sont abondants ;
- la faune est conservée intacte à la base et brisée ensuite ;
- les grains d'origine désertique sont toujours présents ;
- à noter la présence et parfois l'abondance des micas blancs.

Période 3 : de 100,00 à 86,90 m :

- le sédiment est hétérogène à grains fins, très fins et très gros ;
- les grains de quartz sont très émoussés ;

- le sédiment est pauvre en bioclastes ;
- la glauconie est toujours présente mais les spongiaires siliceux ont disparu ;
- les grains d'origine désertique ont également disparu ;
- la faune comprend trois stocks de conservation différente : intacte, brisée et roulée.

Période 4 : de 86,00 à 66,00 m :

- le sédiment est hétérogène à grains fins, moyens, gros et très gros ;
- les grains de quartz sont arrondis ;
- l'arrivée massive de fragments de roches du substratum est à noter ;
- le sédiment est très riche en bioclastes ;
- la glauconie est présente tout à fait à la base puis disparaît ;
- les faunes roulées, brisées et bio-érodées prédominent mais un stock de faune intacte est présent.

Période 5 : de 65,30 à 44,00 m :

- le sédiment est plutôt hétérogène à grains fins, moyens, gros et très gros ;
- les grains de quartz sont arrondis à très émoussés ;
- le sédiment est globalement riche en bioclastes ;
- des fragments de roches sont présents au toit ;
- la glauconie, les spicules de spongiaires et les grains désertiques sont absents ;
- la faune est plutôt intacte puis brisée vers le sommet ;
- les sédiments montrent des indices d'accumulation de matière organique sur le fond : fond réducteur.

Période 6 : de 43,00 à 30,00 m :

- le sédiment est homogène et très fin à la base puis hétérogène très grossier au sommet ;
- les grains de quartz sont anguleux à la base puis émoussés ensuite ;
- le sédiment est plutôt bioclastique ;
- la glauconie est présente et les spicules d'éponge sont fréquents ;
- absence de fragments de roche et de grains d'origine désertique ;

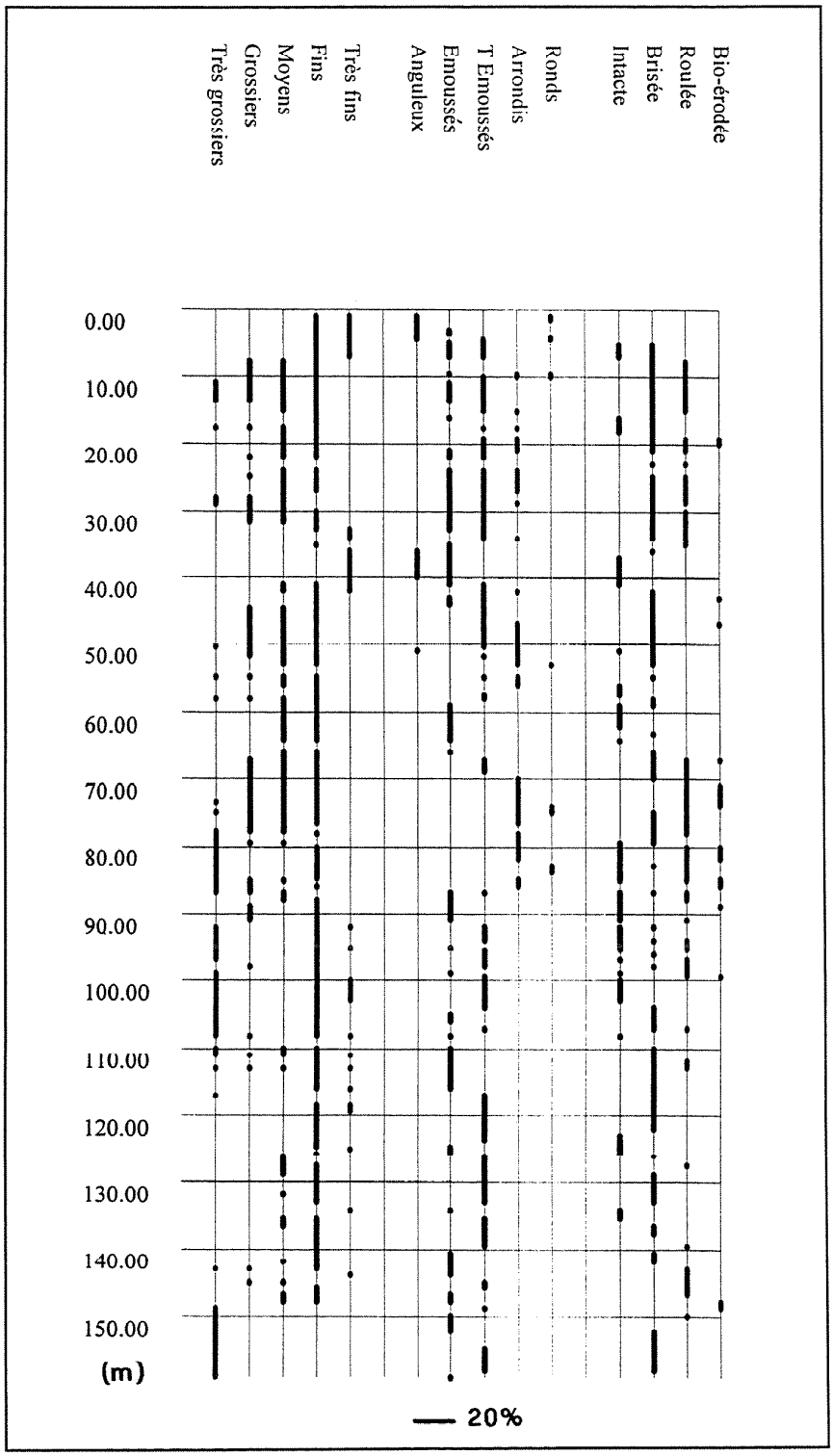


Fig. 5.- Taille, angulosité des grains et aspect de la faune.

Fig. 5.- Dimension and angularity of the grains and aspect of the fauna.

- la faune est conservée intacte.

Période 7 : de 29,00 à 7,90 m :

- le sédiment est hétérogène à grains fins, moyens, gros et très gros ;
- les grains de quartz sont émoussés, très émoussés à arrondis ;
- le sédiment est plutôt bioclastique ;
- les fragments de roche sont de nouveau présents ;

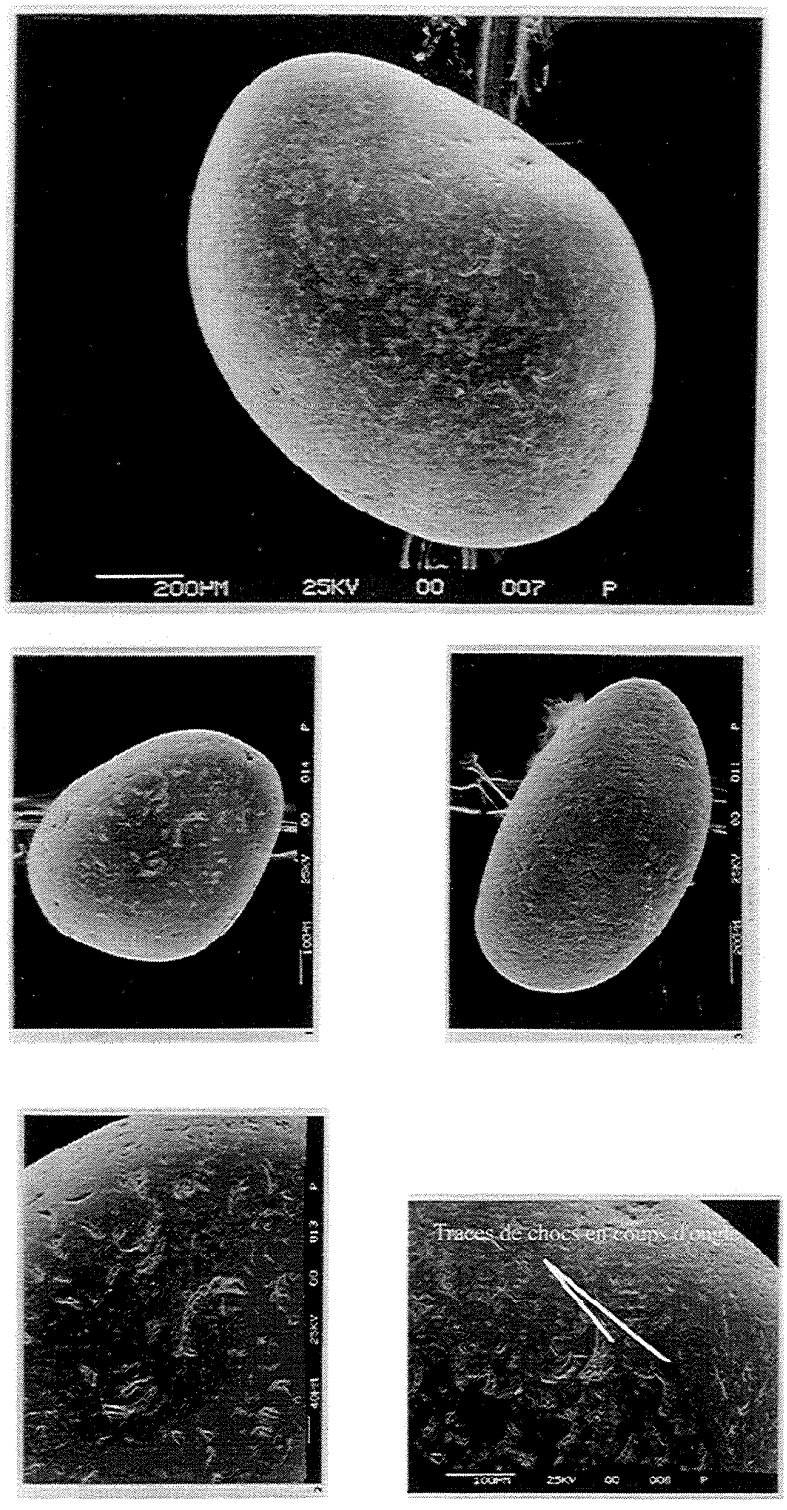


Fig. 6.- Grains de quartz "rond-mat" à patine éolienne photographiés au MEB.

Fig. 6.- SEM photo of "rounded-mat" quartz grains showing an aeolian patina.

- la glauconie apparaît à la base puis au sommet alors que les spongiaires sont absents ;
- présence et fréquence des grains d'origine désertique ;
- la faune est plutôt roulée et brisée ;
- localement le sédiment montre des indices de fond réduit.

Période 8 : de 7,20 à 1,00 m :

- le sédiment est homogène à grains fins et très fins ;

les grains de quartz sont anguleux à émoussés ;

le sédiment est plutôt bioclastique à la base puis exclusivement minéral ;

absence de glauconie, de spongiaires, de fragment de roche ;

la faune est plutôt intacte ;

présence au sommet de grains d'origine éolienne.

Granulométrie (F. Jehenne)

Onze analyses granulométriques ont té effectuées. Les pourcentages de refus t les pourcentages de refus cumulés sont onnés dans les figures 7, 8, 9.

L'examen de ces résultats et des courbes cumulatives rétrogrades à ordonnées de probabilité montre que les classements granulométriques sont médiocres et que la grande majorité des échantillons comporte deux populations distinctes.

La fraction fine est constituée essentiellement de minéraux détritiques (quartz, micas...) alors que la fraction grossière correspond à des bioclastes.

Seuls les quatre échantillons 18, 24.80, 73.40 et 79.40 m montrent une meilleure homogénéité granulométrique. Ils correspondent à des arrivages détritiques grossiers dans le bassin. Il sera intéressant de voir dans quelle mesure ces apports lithoclastiques ont influencé l'installation des populations fauniques.

Les données des analyses granulométriques partielles seront à interpréter en fonction, et à la lumière, des données macrofaunistiques.

Argiles (F. Jehenne)

La composition des cortèges argileux a été déterminée sur douze échantillons pris sur la longueur totale du sondage, dans chaque faciès traversé. Les prélèvements ont été choisis dans chaque faciès lorsque celui-ci était suffisamment argileux, ou dans les passées argileuses des niveaux essentiellement sableux. De plus, une analyse a été effectuée sur un échantillon très faiblement argileux pour contrôler une éventuelle variation de composition.

Prof.	>200	200>D.>125	125>D.>40	D.<40
6	22	18,5	10,62	48,38
24,9	-	-	-	-
35,1	13,54	33,43	28,49	24,54
41	27,03	13,46	23,13	36,38
50,4	77,23	13,79	6,72	2,2
62	44,23	18,35	8,11	29,31
69	77,63	11,83	9,95	0,59
72	77,4	11,44	10,68	0,48
76,6	73,43	14,52	10,41	1,64
83,2	81,65	11,66	4,92	1,77
85,2	78,86	12,56	6,85	1,73
92,1	13,73	74,54	1,39	10,34
96,2	8,63	31,56	16,41	43,4
108,5	9,46	71,08	16,68	2,78
117	16,24	11,15	56,17	16,44
123,25	5,51	36,9	31,59	26
127,6	6,13	74,44	15,4	4,03
136,6	3,59	34,91	45,9	15,6
155,8	-	-	58	42
159.13	-	-	1	99

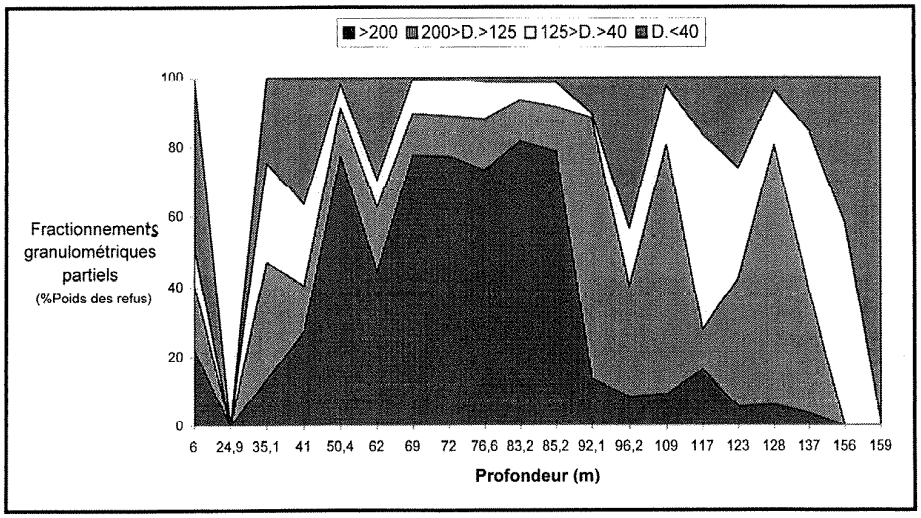


Fig. 7.- Courbes granulométriques.
Fig. 7.- Granulometric curves.

Préparation

Tous les échantillons ont été immergés dans l'eau déminéralisée, traités aux ultrasons et tamisés pour séparer les particules fines de la fraction sableuse. Après décantations partielles des passants du tamisage humide, la suspension surnageante a été prélevée pour en extraire la phase argileuse. Cette extraction a été obtenue, après destruction des carbonates par attaque contrôlée à l'acide chlorhydrique, centrifugation et lavage, en soutirant la partie supérieure de la suspension défloculée.

Analyse minéralogique

L'analyse minéralogique a été effectuée par RX sur des plaquettes orientées préparées avec les suspensions obtenues comme indiqué ci-dessus.

Conditions opératoires

Anticathode Cobalt, monochromateur avant,
tension 30 Kw, intensité 20 mA,
goniomètre CGR fente 0^{15} 1 0,15,
compteur proportionnel vitesse 2 mn/O α
sensibilité 100 coups/s,
constante de temps 10 s,
enregistreur 2 cm/degré α ,
plaquettes orientées normales, glycolées, chauffées.

Profondeur Echantillon	10,9		11,8		17,4		18	
Coupure à (µm)	% Pds	% Pds refus cumulés	% Pds	% Pds refus cumulés	% Pds	% Pds refus cumulés	% Pds	% Pds refus cumulés
2500								
1600								
1000	32,78	32,78	22,57	22,57	8,48	8,48	30,61	30,61
500	16,67	49,45	25,19	47,76	11,83	20,31	19,63	50,24
315	16,42	65,87	18,34	66,1	9,74	30,05	12,08	63,32
200	13,41	79,28	11,87	77,97	17,35	47,4	16,19	78,51
100	9,7	88,98	10,83	88,8	32,81	80,21	11,57	90,08
63	3,22	92	5,14	93,94	11,83	92,04	4,62	94,7
>63	7,8	100	6,06	100	7,96	100	5,3	100
Σ	100		100		100		100	
Poids total g.	288,6		246,1		286,5		456,4	

Fig. 8.- Analyses granulométriques.
Fig. 8.- Granulometric analyses.

Profondeur Echantillon	54,8		73,4		79,4		86,9	
Coupure à (µm)	% Pds	% Pds refus cumulés	% Pds	% Pds refus cumulés	% Pds	% Pds refus cumulés	% Pds	% Pds refus cumulés
2500								
1600								
1000	11,8	11,88	12,74	12,74	10,33	10,33	14,48	14,48
500	27,65	39,53	22,66	35,4	29,79	40,12	7,19	21,67
315	21,37	60,9	14,9	50,3	19,87	59,99	7,34	29,01
200	22,14	83,04	15,55	65,85	16,66	76,65	16,07	45,08
100	10,97	94,01	21,52	87,37	16,65	93,3	44,99	90,07
63	1,58	95,59	6,18	93,55	4,88	98,18	5,13	95,2
<63	4,41	100	6,45	100	1,82	100	4,8	100
Σ	100		100		100		100	
Poids total g.	209		185		264		208	

Fig. 9.- Analyses granulométriques (suite).
Fig. 9.- Granulometric analyses (cont.).

Profondeur (m)	Smectite %	10-14 S	10-14 V	Illite	Kaolinite	Chlorite	% des Ø < 40 * < 63
6,00	55	10	5	10	20	-	48
17,40	60	10	5	15	10	-	* 8
28,70	(40)	(25)	Traces	(20)	(15)	(-)	* < 23
35,10	60	10	Traces	10	20	Traces	25
62	60	10	Traces	15	10	Traces	29
79,40	70	10	Traces	10	5	5	14
96,40	60	15	-	15	10	Traces	43
123,25	60	10	-	20	5	5	26
136,60	60	10	-	20	5	5	16
145,10	60	15	-	10	10	5	37
155,80	60	10	-	15	5	10	42
159,13	20	10	-	45	10	15	99

Fig. 10.- Analyses minéralogiques des phases argileuses.

Fig. 10.- Mineralogical analysis of the clay phases.

Identification des minéraux

L'identification des minéraux présents a été effectuée par étude comparée des trois spectres obtenus sur les essais naturels, glycolés et chauffés. La technique classique de Holtzapffel a été utilisée pour l'estimation des pourcentages relatifs de chaque espèce présente.

Interprétation

Comme le montre le tableau de la figure 10 et la figure 11, les cortèges argileux ne montrent que peu de variations de composition minéralogique d'un point de vue quantitatif. D'une façon générale, ils sont dominés par des smectites accompagnées de minéraux interstratifiés irréguliers illite-smectite (10-14 S), par de l'illite, de la kaolinite et de petites quantités de chlorites ou de minéraux interstratifiés irréguliers illite-vermiculite (10-14 V).

Il convient, étant donné la précision de la méthode (± 5 %), d'être prudent quant aux interprétations basées sur de faibles variations quantitatives. Néanmoins plusieurs évolutions peuvent être signalées. Ainsi, il apparaît clairement que le niveau le plus profond analysé (159,13 m) présente une composition minéralogique quantitativement différente avec une nette prédominance de l'illite accompagnée par une quantité notable de chlorites. La probable origine détritique de ces minéraux permet d'envisager la proche présence d'un socle cristallin ayant subi une altération atmosphérique et une érosion. Le cortège argileux illite-smectite, chlorites-kaolinite, interstratifiés irréguliers, peut correspondre aux produits d'altération atmosphérique de roches endogènes. L'absence d'évolution notable laisse à penser que ces produits se sont déposés de manière très proximale voire qu'ils résultent d'une altération en place.

D'autre part, la diminution de la profondeur d'enfouissement des échantillons se traduit par une augmentation de la kaolinite. Ce minéral est particulièrement abondant dans l'échantillon prélevé à 35,10 m, échantillon qui correspond par ailleurs à la totale disparition des chlorites qui ne subsistaient que sous forme de traces depuis le niveau 62 m. Il faut noter que ce dernier niveau se caractérise par l'apparition de minéraux interstratifiés irréguliers non gonflants illite-vermiculite ou en se développant probablement aux dépends de l'illite et/ou des chlorites. La composition de ces cortèges argileux correspond essentiellement à un héritage de minéraux détritiques accompagnés par leurs produits de dégradations par altération atmosphérique. Cependant une petite quantité de smectites peut provenir d'une précipitation à partir d'eau peu salée.

Enfin l'échantillon peu argileux montre une composition légèrement différente avec un enrichissement net en minéraux interstratifiés irréguliers illite-smectite remplaçant les smectites. Ce résultat peut s'expliquer par l'influence d'une circulation plus abondante de fluide.

Les marqueurs biologiques

Nannofossiles calcaires (M.C. Janin)

Contenu spécifique

Soixante échantillons de sédiment brut ont été étudiés sur frottis au microscope optique, à des grossissements de 500 ou 1250.

Pour les nannofossiles calcaires, le nombre d'individus rencontrés par travée de lame (longueur : 30 mm, durée d'observation : 15 mm) est indiqué dans la figure 12.

Les genres et espèces suivants ont été observés :

- *Coccolithus pelagicus* ;
- *Reticulofenestra* spp. ;
- *Gephyrocapsa* sp. ;
- *Helicosphaera carteri* ;
- *Discoaster* remaniés de l'Eocène ;
- Arkhangelskiellaceae remaniés du Crétacé ;
- Placolithes indéterminés.

Interprétation

Dans les mêmes conditions, une boue océanique fournirait plusieurs milliers d'individus. La rareté et la faible diversité des nannofossiles observés à Carentan (*C. pelagicus* principalement) indiquent une océanité très faible, les niveaux les moins pauvres se situant entre 98 et 144 m (sables fins argileux gris). Les apports d'individus remaniés sont négligeables (traces à 1,50 et 125 m). La dominance de *C. pelagicus* sur les *Reticulofenestra* indique des conditions climatiques froides. Le nombre de spécimens observés est trop faible pour qu'un calage biostratigraphique de la série soit envisageable.

Foraminifères benthiques
(M. Toumarkine)

Contenu spécifique

Les genres et espèces suivantes ont été déterminés sur l'ensemble de la carotte (fig. 13).

Espèces déterminées :

- *Ammonia beccarii* s.l. (Linné) *s.l.*, car, outre *beccarii*, il y a peut-être aussi des *limbatobeccarii* (Mac Lean).
- *Bucella* spp. :
  Bucella frigida granulata (di Napoli),
  Bucella frigida (Cushman),
  Bucella nuda Margerel.
- *Cibicides lobatulus* (Walker et Jacob),
  Cibicides advenus (?) d'Orbigny.
- *Discorbitura cushmani* Margerel,
  Discorbitura sculpturata (?) Margerel (très rare).

- *Elphidium* spp. entre autres : *Elphidium crispum* (Linné), *Elphidium flexuosum* (d'Orbigny), *Elphidium macellum* (Fichtel et Moll),
- *Elphidium paraskevaidisi* Christodoulou.
- *Faujasina* spp. : *Faujasina carinata* d'Orbigny, *Faujasina compressa* Margerel, *Faujasina subrotunda* Ten Dam et Reinhold.
- *Fissurina* spp. entre autres : *Fissurina milleti* Margerel, *Fissurina silvestri* (Buchner).
- *Frondicularia* sp. ou *Plectofrondicularia* sp.
- *Heronallenia lingulata* (Burrows et Holland).
- *Lagena* spp. entre autres : *Lagena striata* d'Orbigny.
- *Nonion* spp. comporte surtout des *Cribrononion* dont *Cribrononion falunicum* (Allix).
- *Oolina hexagona* (Williamson).
- *Pararotalia serrata* Ten Dam et Reinhold.
- *Pseudoeponides pseudotepidus* (Van Voorthuysen).
- *Rosalina granulosa* Margerel.

Famille des Miliolidés :

Pyrgo spp. (souvent de grosse taille) ; *Quinqueloculina* spp. dont : *Quinqueloculina bicornis* (Walker et Jacob), *Quinqueloculina vulgaris* d'Orbigny ; *Lachanella undulata* (d'Orbigny) ; *Miliolinella subrotunda* (Montagu) ; *Spiroloculina excavata* d'Orbigny ; *Spiroloculina depressa* d'Orbigny.

Famille des Polymorphinidés :

Globulina gibba d'Orbigny dont : *Globulina gibba fissicostata* Cushman et Ozawa, *Globulina gibba tuberculata* d'Orbigny.

Guttulina spp. dont : *Guttulina bulloides* Reuss, *Guttulina roemeri* (Reuss).

Polymorphina spp. dont : *Polymorphina charlottensis* (Cushman).

Pseudopolymorphina spp. dont : *Pseudopolymorphina doanei* (Galloway et Wissler), *Pseudopolymorphina variata* (Parker, Jones et Brady).

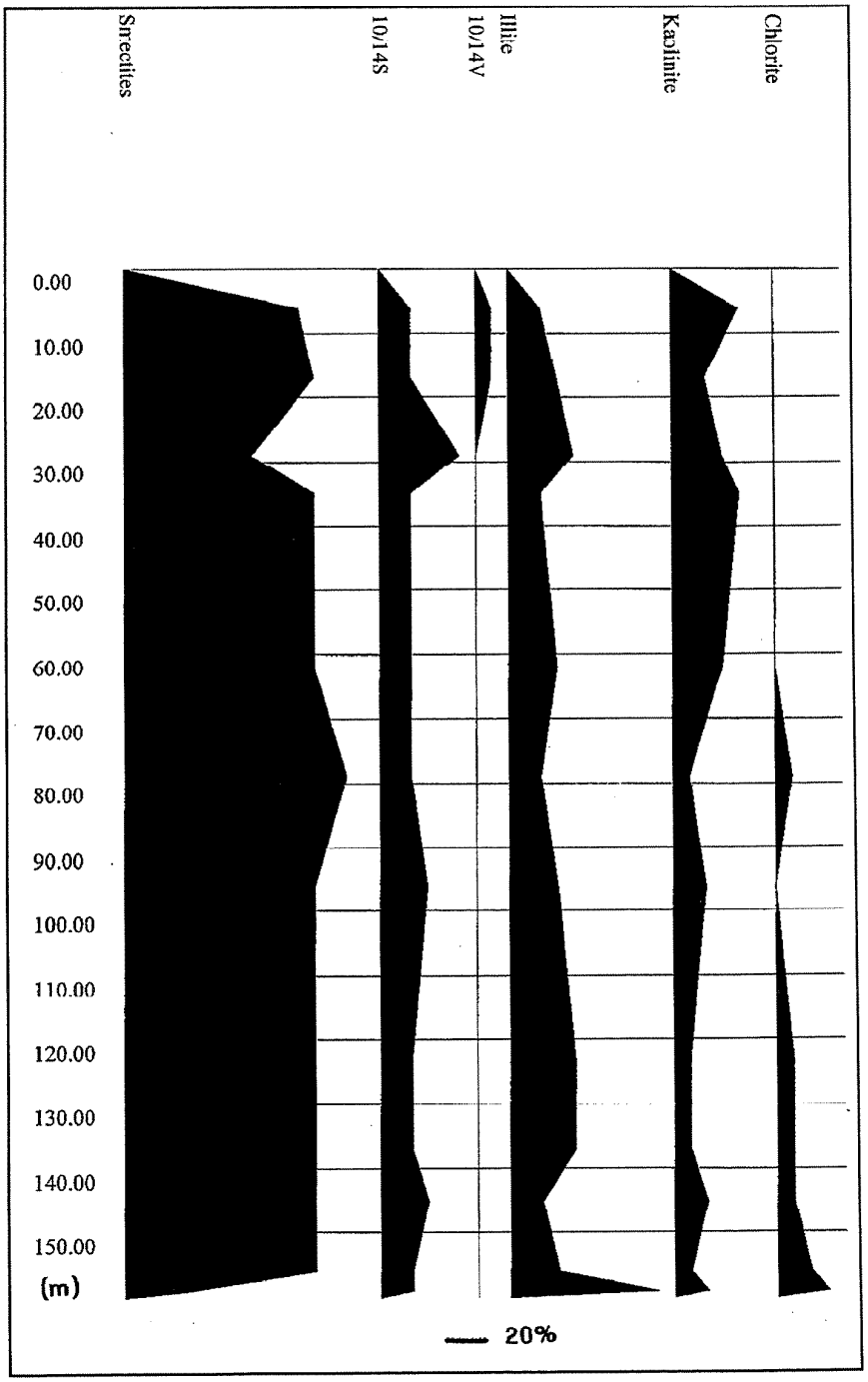


Fig. 11.- Répartition des argiles.
Fig. 11.- Clay distribution.

Le groupe des arénacés comporte deux genres :

Textularia spp. Defrance ;
Gaudryina spp. d'Orbigny.

Les genres suivants n'ont pas été déterminés spécifiquement :

Bolivina d'Orbigny ;
Discorbis Lamarck ;
Lenticulina Lamarck ;
Spirillina Ehrenberg ;
Trifarina Cushman.

De plus, il faut noter la présence *d'alvéolines remaniées.*

Fréquence

Dans l'état actuel de l'étude , il apparaît que les espèces, genres ou familles les plus abondamment représentés sont

Profondeur (m)	P	R	G	?	H	d	Profondeur (m)	P	R	G	?	a
1,50							121,00	*				
5,00						2	122,00	*				
7,8 à 7,9				1			123,00	*				
9,60							123,50	**				
16,00							124,70	**	1	2?		
17,4 à 17,6							125,00	**	1	2		1
20,00	1						125,70	2				
24,00							126,10	1				
30,00							129,00	4				
33,10							129,50	7				
38,70				1			130,40	1				
44,00		1	2?				131,80	15				
46,00							133,00	4				
59,00	1						134,20					
63,00							135,50	4				
70,00							137,70	8				
80,00	1						139,50	4				
88,90							140,60	8	1			
90,90							141,90	1?				
97,00		1					143,00				2	
98,00	5						144,00	3	1			
100,00							145,80					
104,00	5						146,80					
108,00	7	2					147,90	1			1	
112,00		3					148,80					
113,80	3						149,90					
114,90	14		1?				152,15	**				
116,00	8						154,70		1			
117,00	7				2		157,10	1				
119,50	**						158,10					

* = 1 à 2, ** = 5 à 10
P = *Coccolithus pelagicus* (Wallich) SCHILLER, 1930
R = *Reticulofenestra* spp.
G = *Gephyrocapsa* sp.
? = Placolithes indéterminés
H = *Helicosphaera carteri* (WALLICH) KAMPTNER, 1954
d = *Discoaster* remaniés de l'Eocène (*D. barbadiensis*TAN émend. BRAMLETTE & RIEDEL, 1954 et *D. binodosus* MARTINI, 1958).
a = Arkhangelskiellaceae, remanié du Crétacé.

Fig. 12.- Nombres et espèces de nannofossiles calcaires.
Fig. 12.- Number and species of calcareous nannofossils.

Ammonia beccarii, *Pararotalia serrata*, les *Elphidium* et les *Faujasina*. La fréquence des foraminifères benthiques reconnus dépend évidemment beaucoup de l'état de conservation des résidus de lavage. Les miliolidés, très rares ou absents dans le bas du forage (sauf à 145,10 m où ils sont très abondants) deviennent beaucoup plus abondants de 85 m à 15 m. Il est du reste intéressant de noter que la présence et la fréquence des miliolidés sont inversement proportionnelles à la présence et la fréquence des spongiaires siliceux. Cette constatation a probablement une signification climatique (algueraie/fond à spongiaire). La fréquence des polymorphinidés est variable, de très rare à très abondante. *Discorbitura cushmani* est souvent présente, parfois abondante dans quelques échantillons (Gr. 145,10 m , Gr. 41 m, 6,80 m). *Rosalina granulosa* est souvent présente. *Pseudoeponides pseudotepidus* est souvent représenté mais n'est abondant que dans les derniers échantillons fossilifères du forage (6,80 m, Gr. 6 m et 5,30 m). *Cibicides lobatulus* dont l'acmé en Mer du Nord est caractéristique du niveau de Luchtbal (Scaldisien) (De Meuter et Laga, 1976) et du Gedgravien supérieur (Baytonien), n'est vraiment abondant que dans la moitié inférieure du forage (158,10 à Gr. 96,20 m), ensuite on ne le trouve que très sporadiquement. Les *Fissurina* spp., *Lagena* spp., *Bolivina* spp. et les "arénacés" sont le plus souvent rares à très rares mais n'ont été surtout vus que dans la moitié inférieure du forage.

Apport stratigraphique

La présence dès la base du forage (158,10 m) du groupe des *Faujasina* indique qu'il s'agit de Pliocène et au moins de Pliocène II si ce n'est de Pliocène III (selon les subdivisions du Pliocène normand distinguées par Y. Le Calvez, 1987). Le genre *Faujasina* n'apparaît en effet qu'au Pliocène moyen. Le fait que ce genre soit toujours présent et de façon abondante dans les derniers échantillons fossilifères de forage (6,80 m, Gr. 6 m et 5,80 m) montre que l'on ne dépasse pas le Pliocène III (*Faujasina* disparaissant en Normandie au début du Pléistocène).

Un certain nombre d'espèces décrites dans le Redonien de l'Ouest de la France (Margerel, 1968) sont présentes à Marchésieux : *Discorbitura cushmani*, *Rosalina granulosa*, *Fissurina milleti*, entre autres. L'espèce *Pseudoeponides pseudotepidus*, abondante dans le Redonien, se trouve ici aussi fréquemment. Le Pliocène normand est souvent mis en corrélation avec le Pliocène anglais, belge et hollandais : de nombreuses espèces sont communes, en particulier *Bucella frigida* et *Faujasina* spp. (Jenkins et Houghton, 1987).

Apport climatique

Le forage de la "Longue séquence" de Marchésieux montre la présence d'espèces froides telles que *Faujasina* spp. et *Bucella frigida*. Les *Faujasina* ne sont pas connues dans l'Ouest de la France, mais uniquement dans le Cotentin, en Angleterre (St Erth en Cornouailles) et pour une seule espèce, *Faujasina subrotunda*, en Belgique et aux Pays-Bas (Margerel, 1971). *Bucella frigida* est reconnue dans le Pliocène belge, en Hollande et en Cornouailles (Margerel, 1970). Si *Faujasina* est présente dès la base du forage, *Bucella* l'est essentiellement dans la partie supérieure (de Gr. 69,6 au sommet) (fig. 13).

Foraminifères planctoniques

Les foraminifères planctoniques n'ont été observés que dans les lames minces lors de l'analyse des microfaciès ou, en ce qui concerne les foraminifères planctoniques chitineux, dans les frottis lors des études sur les dinoflagellés.

Dans le premier cas, il s'agit de globigérinidés indiquant que des communications existent avec le domaine océanique. Aucun foraminifère planctonique n'a été observé en dégagé, dans les

lavages, malgré les soins particuliers que nous avons apportés à leur recherche.

Pour le second cas, nous renvoyons le lecteur au chapitre "Microfossiles marins à membrane organique".

Ostracodes (P. Carbonel, E. Braccini)

D'une manière générale, l'état de conservation des ostracodes est excellent, les formes usées étant l'exception. Quelques individus cassés témoignent probablement de remaniements sur place. Le plus souvent, la population de chaque espèce est représentée par des adultes et des juvéniles indiquant l'origine locale de la faune. Nous examinerons d'abord les informations apportées par la densité faunique, puis par les associations.

Densité faunique

Ce caractère, qui est le plus facile à prendre en compte, puisqu'il est indépendant des espèces, est l'indice de trois paramètres fondamentaux du milieu dans la mesure où la faune est diversifiée : une forte abondance d'ostracodes implique un calme hydrodynamique suffisant, une bonne oxygénation au moins temporaire à l'interface eau-sédiment, un niveau trophique suffisant. Tout au long du forage de Marchésieux, les ostracodes sont en quantités variables selon les niveaux, pouvant dépasser 800 individus pour 50 g de sédiment brut. On peut distinguer deux grandes phases au sein desquelles s'individualisent des épisodes : de la base à 70-80 m, on remarque une densité faunique géné-ralement faible (moins de 100 individus par niveau) et peu variable sauf en deux points : entre 160 et 145 m et autour de 120 m où on observe un pic avec plus de 400 individus, (maximum d'un épisode situé entre 112 et 125 m) ; au contraire, au-dessus de 75 m, la densité faunique devient beaucoup plus importante et surtout très variable. On pourrait ainsi en déduire que pour la partie basale les conditions de vie étaient relativement stables, mais peut-être avec un niveau trophique bas, alors que dans la partie la plus récente, les ostracodes ont eu de meilleures conditions de vie, mais de façon plus épisodique. Le point de changement se situe toujours autour de 80 m qui apparaît ainsi comme une coupure majeure dans le forage. S'agit-il là d'une relation avec un changement climatique majeur ? Il est difficile de répondre avec précision ; actuellement, on est réduit à des hypothèses. Cependant, si on compare avec les courbes semblables établies par N.J. Shackleton and M.A. Hall (1984) dans la région de Rockall, mais par 3000 m de profondeur, on observe un changement de même ordre daté à - 2,4 Ma. Reste à savoir en quoi ces deux informations sont corrélables entre deux enregistrements aussi éloignés bathymétriquement.

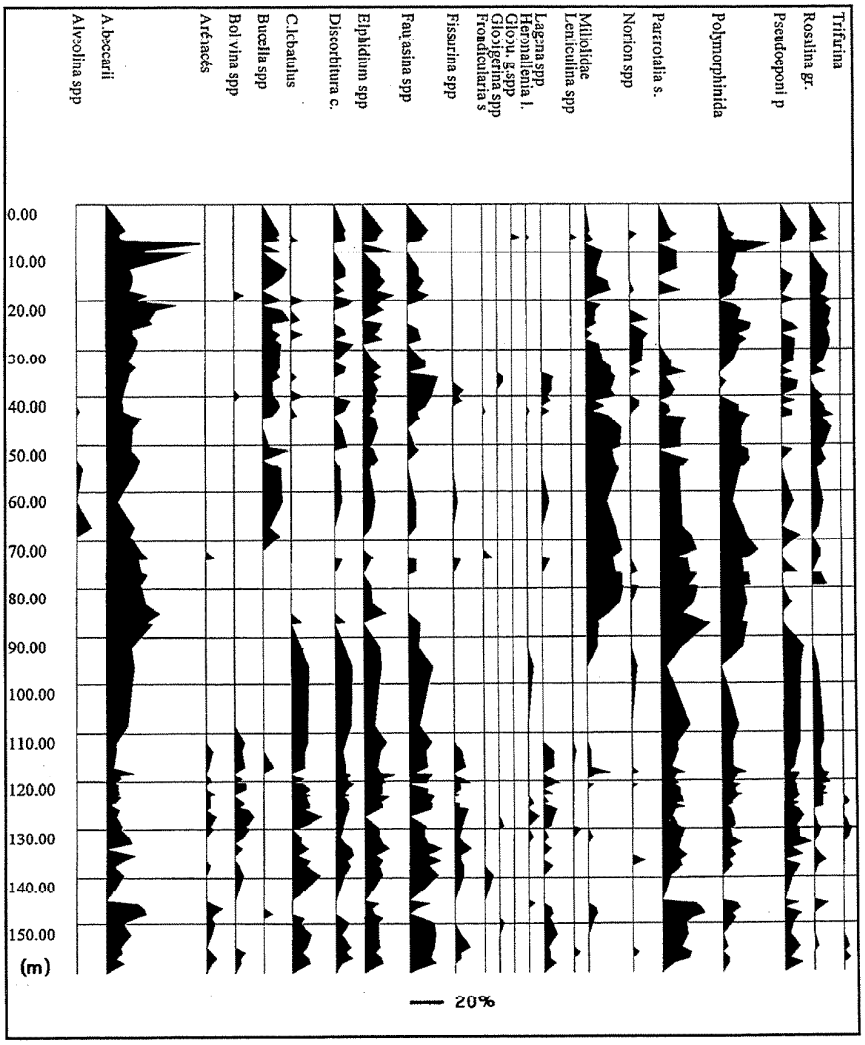


Fig. 13.- Foraminifères benthiques.

Fig 13 - Benthic foraminifera.

Associations

Les ostracodes ont été regroupés en associations ou communautés d'organismes occupant des biotopes voisins. Ce paramètre permet de mettre en évidence l'évolution paléobathymétrique du milieu dans la coupe. Sept associations ont été ainsi déterminées (fig. 14) :

- côtière ;
- phytal côtier et marin (espèces associées aux édifices algaires) ;
- infralittoral : espèces vivants entre 20 et 50 m de profondeur ;
- circalittoral : espèces vivants normalement au-delà de la plate-forme continentale ;
- ubiquistes : espèces vivants sur toute la plate-forme ;
- profond ;
- froid.

La composition faunique générale de l'ostracofaune montre un milieu qui a peu varié en profondeur, n'excédant probablement jamais 70-80 m. Cette interprétation est argumentée par la très nette dominance des espèces phytales et infralittorales. Néanmoins, la présence de formes circalittorales, voire épibathyales n'est pas surprenante et témoigne plus de

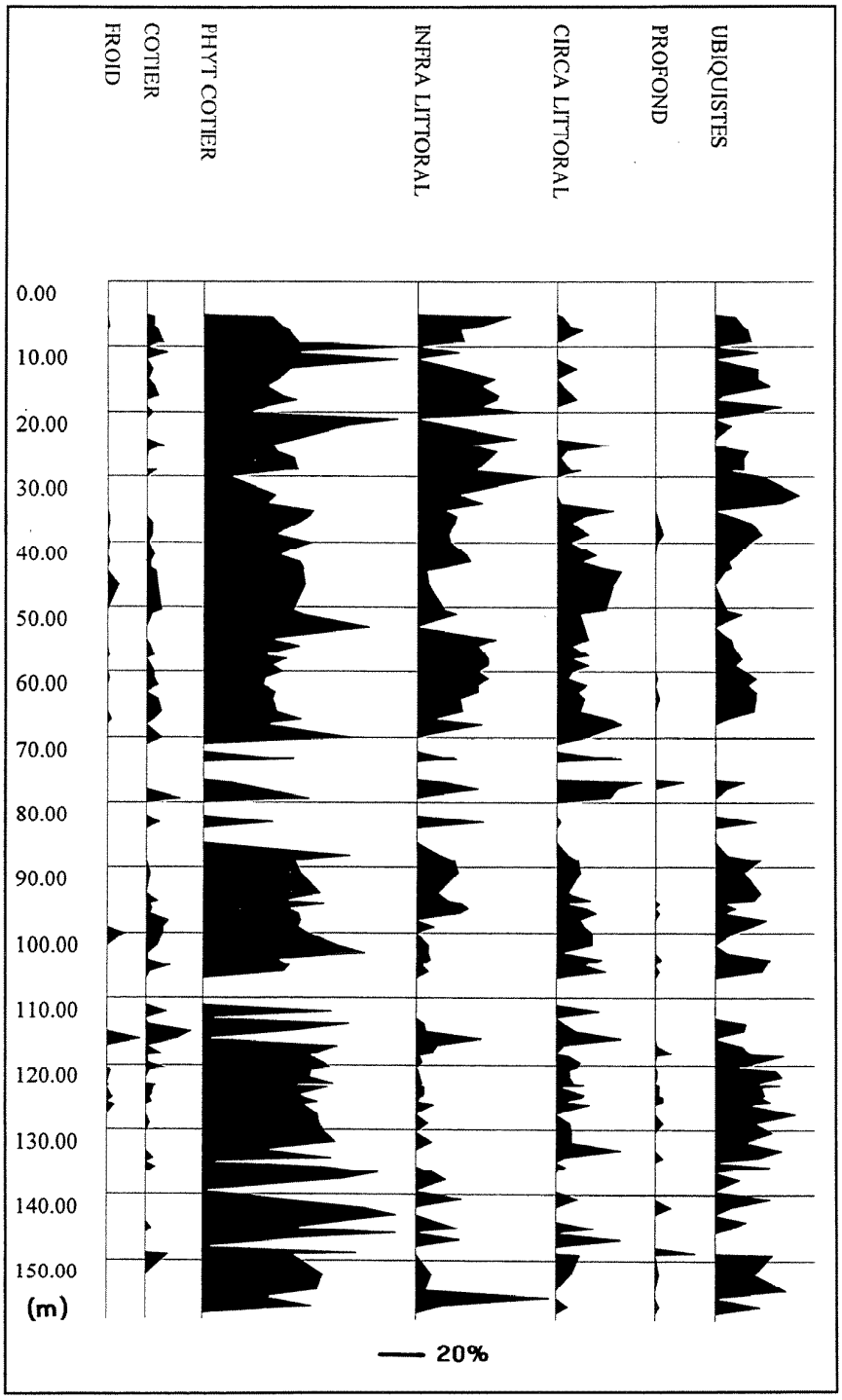


Fig. 14.- Associations d'ostracodes.

Fig. 14.- Ostracod associations.

phénomènes hydrologiques (couches d'eau stratifiées, *upwellings*) que d'un réel approfondissement. Il est intéressant de noter que par rapport à la coupe du Bosq-d'Aubigny située à 5 km du forage, la profondeur est plus importante, ce qui impliquerait une position plus "océanique".

Deux grandes unités peuvent être individualisées, la première, de 160 à 80 m, est caractérisée par une prédominance des faunes phytales, relativement monotones avec quelques espèces "froides" ainsi que quelques formes épibathyales. La seconde, de 80 m au sommet se distingue par une plus grande proportion de formes infra ou circalittorales, une augmentation de la proportion de *Cytheridea acuminata*, espèce côtière souvent reliée à des apports de détritiques. Enfin, la proportion des espèces polymorphes (*Quadracythere* sp.7 Moyes, *Hermanites* sp.1 Kasimi, *Echinocythereis* gr. *laticarina*) augmente également à partir de 85 m. On pourrait interpréter celà en termes de changement hydrologique induit soit par un cycle transgressif soit par une modification climatique majeure conduisant à une accentuation des constrastes saisonniers, soit par l'action conjointe des deux (Peypouquet *et al.*, 1988 ; Braccini *et al., 1992*).

Conclusions

L'ostracofaune est, sur l'ensemble du sondage, abondante et qualitativement peu variable. Les organismes présents indiquent une profondeur d'eau située entre 40 et 70 m. Une légère augmentation des faunes infra et circalittorales est à noter à partir de 75 m jusqu'au sommet.

Conjointement, une augmentation de la proportion en *Cytheridea* est observée, elle pourrait indiquer une augmentation du détritisme. Quelques ostracodes épibathyaux sont à noter vers 125 m. Ensuite, à partir de 85 m, l'augmentation des espèces polymorphes semble indiquer une augmentation des contrastes saisonniers.

Grains de pollen et microfossiles à membrane organique (G. Farjanel, M.C. Jolly, M. Clet-Pellerin, M.T. Morzadec-Kerfourn)

Méthodologie

Les 1300 prélèvements sur la carotte ont été effectués avec une maille "haute résolution", tous les 0,10 mètres. Des zones aphytiques ont été mises en évidence après une analyse tous les 0,30 ou 0,50 mètres. De manière à obtenir une bonne représentation statistique des 450 échantillons analysés, 350 à 400 grains de pollen et spores ont toujours été comptés. Les niveaux ne permettant pas d'atteindre ces chiffres ont été considérés comme aphytiques. Le mode de calcul utilisé porte sur la somme de base la plus large possible, sans exclusion de taxons. Elle regroupe donc les PA (% des pollens arboréens), les PNA (% des pollens non arboréens), y compris ceux des indéterminés et auxquels sont ajoutées les spores de fougères et de bryophytes. L'étude

statistique des données a été réalisée avec le Logiciel G3PAL, mis au point par C. Goeury (de Beaulieu et Goeury, 1987). La détermination des sources des grains de pollen et des spores est un problème important pour la reconstitution des paléoenvironnements en milieu marin. Avant leur dépôt, les pollens et les spores sont soumis à un transport éolien ou fluviatile suivi d'une dispersion par les courants marins. L'étude de la concentration et de la diversité pollinique peut permettre d'évaluer l'importance de ces facteurs liés à la dynamique sédimentaire.

La représentation des kystes de dinoflagellés et des enveloppes internes chitinoïdes de foraminifères a été calculée par rapport au contenu palynologique total. Peu nombreux, les pourcentages des différents taxons ont été établis lorsque le nombre total de ces microfossiles était supérieur à 50.

Zonation pollinique

Dans les sédiments carottés de Marchésieux, l'apport pollinique est en relation directe avec les conditions de sédimentation. Les neuf zones polliniques qui sont établies, malgré une apparente homogénéité du diagramme pollinique, à cause d'une forte représentation des pollens de *Pinus*, peuvent être mises en corrélation avec les changements lithologiques (fig. 15, 16, 17, en pochette en fin d'ouvrage).

Zone I : 158,50 à 139,10 mètres : Ce premier ensemble pollinique peut être subdivisé en deux sous-zones qui correspondent à la sédimentation des argiles grises et de la base des sables argileux.

Zone Ia : 158,8 à 152 mètres : Les taux enregistrés par les pollens de *Pinus* type *silvestris* oscillent entre 50 et 78 %, ceux de *Picea* sp. de 0,6 à 5,7 %. Les taxons tertiaires : *Sciadopitys* (0,8 à 7,7 %), *Sequoia* (0,2 à 5,2 %), taxodiacées (0,8 à 4,5 %), *Engelhardtia* (0,4 à 3,8 %), *Pinus* type *haploxylon* (0,8 à 6,6 %) sont présents sur la presque totalité de la zone. Parmi les plantes herbacées dominent les plantes du schorre, notamment les chénopodiacées (1,1 à 19,5 %) et les cypéracées (0,4 à 3,8 %). Les éricacées (0,6 à 8,2 %) et les graminées (0,8 à 3 %) représentent une formation végétale plus continentale.

Zone Ib : 152 à 139,10 mètres : La représentation de *Pinus* type *silvestris* demeure sensiblement constante. A partir de 142 mètres, le taux des pollens de taxodiacées croît, atteignant 30,9 % à 139,4 mètres. Plusieurs taxons tertiaires tels *Carya, Pterocarya, Liquidambar, Symplocos* sont présents de façon ponctuelle. Dans cette zone, la représentation des chénopodiacées évolue peu alors que celle des graminées et des éricacées diminue.

Entre 139 et 128 mètres, le sédiment, caractérisé par l'abondance de la fraction grossière, avec une proportion des éléments inférieurs à 200 µm ne dépassant pas 3,6 à 6,1 %, s'est révélé très pauvre en pollens et a été considéré comme aphytique.

Zone II : 128,00 à 110,50 mètres : L'enregistrement pollinique de la zone est discontinu ; cet ensemble est interrompu par une zone aphytique entre 117,60 et 119,90 mètres de profondeur. Le sédiment, similaire à celui du sommet de la zone précédente, est sablo-argileux, homogène à grains fins et de couleur grise.

Pinus type *silvestris* est toujours le taxon dominant avec des fréquences de 60 à 78 %. Les taxodiacées régressent et *Pinus* type *haploxylon* domine (avec des taux de 6 à 14 %). Dans l'ensemble, les pollens tertiaires ne sont présents que de façon ponctuelle. Les plantes herbacées régressent y compris les chénopodiacées du schorre.

Entre 110,50 et 105,20 mètres, une nouvelle zone aphytique apparaît dans des sables argileux gris, présentant des niveaux riches en éléments grossiers.

Zone III : 105,20 à 99,00 mètres : Dans un sédiment hétérogène à grains très fins à très grossiers, l'enregistrement pollinique montre toujours la prédominance de *Pinus* type *silvestris* (30 à 60 %) mais entre 99,00 et 104,50 mètres, il présente ses taux les plus bas. *Sciadopitys* (3 à 6 %) et *Pinus* type *haploxylon* (2 à 8 %) sont les taxons tertiaires les mieux représentés. Dans cette zone les plantes du schorre sont importantes ; les pollens de chénopodiacées atteignent 30 % à 100,20 mètres. Ce développement est accompagné par la présence de plantes aquatiques : *Potamogeton* et *Sparganium* et de spores de ptéridophytes.

Zone IV : 99,00 à 87,00 mètres : Dans cette zone, lithologiquement semblable à la précédente, la représentation de *Pinus* type *silvestris* s'accroît de nouveau, atteignant jusqu'à 80 %, tandis que celle des chénopodiacées régressent. La représentation des pollens "tertiaires" est très faiblement perçue.

Entre 87,00 et 68,80 mètres, le sédiment est hétérogène et aphytique.

Zone V : 68,80 à 53,00 mètres. Le sédiment est comme pour les zones II et IV, très hétérogène, mais la représentation pollinique apparaît homogène. Les taxons tertiaires sont présents ponctuellement tout au long de la zone. *Pinus* type *silvestris* domine l'assemblage floristique avec des taux de 36 à 65 %. *Alnus*, peu représenté à la base du sondage, se développe et atteint 5 %. La courbe des chénopodiacées, comme dans la zone précédente, est très irrégulière ; elle oscille entre 2 et 20 %. Les plantes aquatiques demeurent présentes. Les éricacées se développent et atteignent des pourcentages importants, 16 % à 64,90 mètres.

Zone VI : 53,00 à 51,20 mètres. Une baisse de la représentation de *Pinus* type *silvestris* s'observe dans cette zone, compensée par une augmentation momentanée de *Sciadopitys* (10 %) à laquelle succède très rapidement celle des éricacées.

L'intervalle 51,10 à 44,70 mètres correspond à des niveaux très pauvres en pollens et statistiquement non représentatifs.

Zone VII : 44,70 à 35,80 mètres. Les argiles grises sableuses sont marquées par la régression de *Pinus* type *silvestris* et par celle de *Quercus*. Les éricacées dominent les taxons non-arboréens, associées aux graminées. Les taxons à affinités "tertiaires" sont toujours présents ponctuellement ; aucun genre n'est mieux représenté qu'un autre.

Zone VIII : 35,80 à 33,00 mètres. Cette zone est caractérisée par une chute brutale de la représentation de *Pinus* type *silvestris*, par le développement des éricacées qui atteignent 52 %, ce qui est le maximum de leur fréquence pour l'ensemble du diagramme, et celui des graminées (4 à 5 %). La représentation des chénopodiacées diminue de façon très

sensible. Au sommet de la zone lorsque les éricacées régressent s'observe une recrudescence des taxons "tertiaires", principalement *Engelhardtia* (10 %), relayée rapidement par celle de *Pinus* type *silvestris*.

Zone IX : 33,00 à 1,00 mètres. Le sommet de la séquence, composée de faluns puis d'argile beige verdâtre, est aphytique à l'exception de deux niveaux : 17,70 et 17,90 mètres dans les argiles. Dans cette zone, le spectre pollinique est toujours dominé par *Pinus* type *silvestris* mais l'abondance des cupressacées (25 %) et de *Sciadopitys* (10 %) le distingue des zones précédentes. Parmi les plantes herbacées, s'observe une légère reprise des chénopodiacées.

Les assemblages polliniques étudiés montrent l'existence d'un gradient climatique de la base au sommet du diagramme. Il est attesté par la diminution des taxons à affinité "tertiaire" et des arbres mésothermophiles. La végétation s'est développée à la base sous un climat chaud avec probablement de très sensibles variations du taux d'humidité compte tenu de la succession des taxons "tertiaires" observée : taxodiacées, *Pinus* type *haploxylon*, *Sciadopitys*... La seconde phase climatique, au sommet, caractérisée par l'abondance des éricacées, est plus froide.

La diversité des assemblages polliniques rencontrés dans la séquence de Marchésieux permet de reconstituer l'environnement végétal, de part et d'autre du seuil du Cotentin, compte tenu de la répartition actuelle des différents groupements édaphiques et de suivre son évolution (fig. 18). Depuis la mer, se succèdent ainsi les chénopodiacées, caractéristiques du schorre (Gpe 1) puis les plantes herbacées de milieu humide ou aquatiques se développant sur le haut du schorre ou dans les marais côtiers et comprenant principalement les cypéracées (Gpe 2), les taxodiacées de la forêt marécageuse subtropicale, sans doute *Taxodium*, accompagnés de quelques *Myrica* et *Symplocos*, (Gpe 3). En contexte tempéré, plus frais, les arbustes caractéristiques de milieu humide, *Alnus*, *Salix* (Gpe 4), font une transition avec la forêt tempérée de milieu drainé, constituée d'éléments subtropicaux : *Liquidambar*, *Pinus* type *haploxylon*, *Engelhardtia*, *Carya*, *Pterocarya* et d'éléments mésothermes de la chênaie mixte : *Quercus*, *Tilia*, *Ulmus*, *Corylus* (Gpe 5). Les éricacées (Gpe 6) occupent les espaces ouverts en période plus froide. Dans l'arrière-pays, se développent les conifères, essentiellement *Pinus* (Gpe 7), et des arbres de stations plus sèches comme *Sciadopitys*, *Tsuga*, *Picea*, *Abies*, *Cedrus* ou plus froides, cupressacées et *Betula* (Gpe 8).

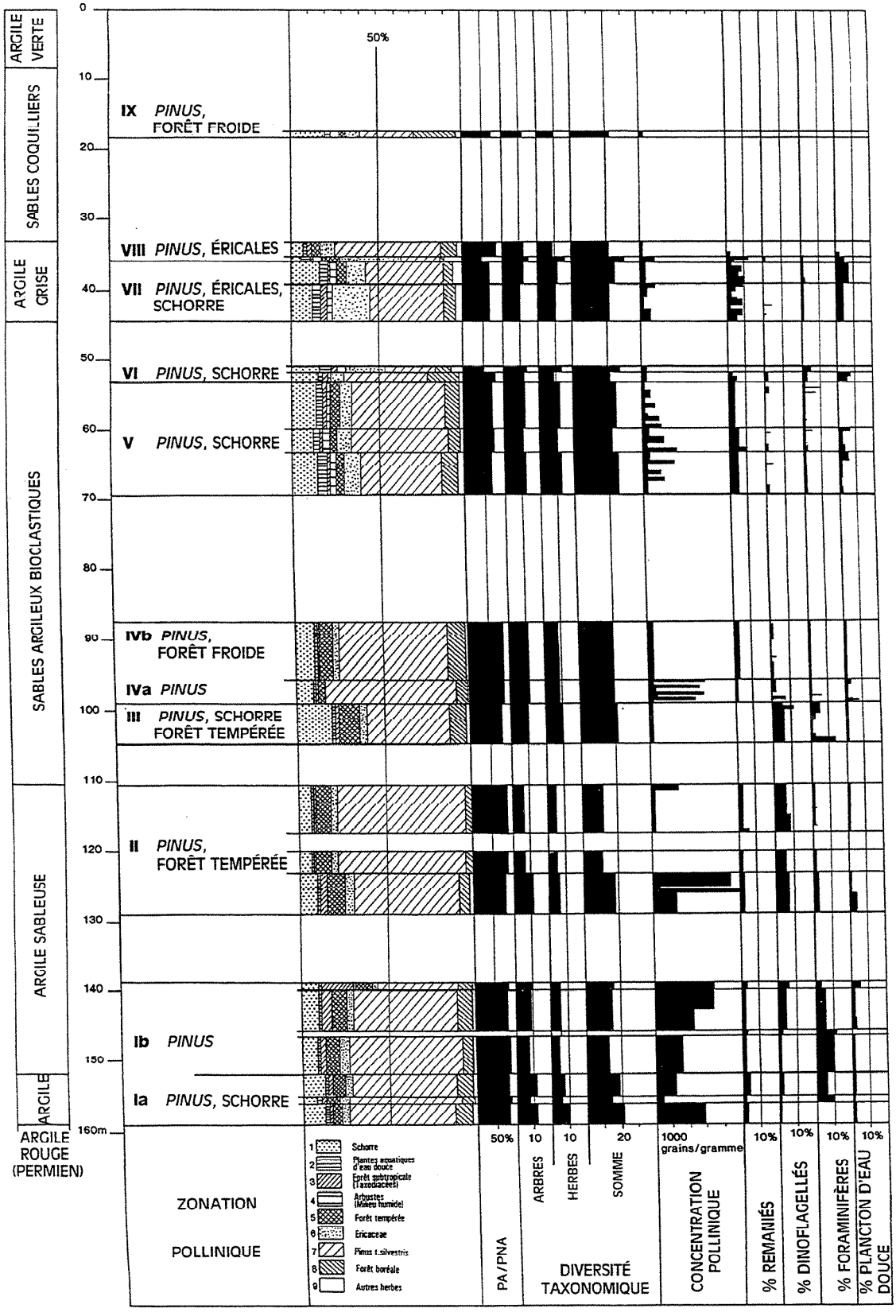
Concentration et diversité spécifique polliniques (M.Clet-Pellerin)

La concentration absolue, calculée en nombre de grains par gramme de sédiment, est relativement faible tout au long de la séquence. Elle varie entre 50 et 5500 grains/gramme, avec une moyenne de 850 grains/gramme. Elle est plus élevée dans les niveaux à granulométrie fine de la base (fig. 18). Dans la zone I, les plus fortes concentrations sont liées à une bonne représentation soit du schorre (entre 158,8 et 156 mètres) soit de la forêt à taxodiacées (entre 140 et 139 mètres). Dans la zone II, deux niveaux à forte concentration se trouvent entre 123 et 126 mètres alors qu'il n'y a aucun changement important dans la composition de la végétation et qu'en particulier le schorre et la forêt à taxodiacées régressent. Le sommet de la zone II qui est suivie par une zone aphytique, est marqué par une très faible concentration. Il en est de même pour la zone III, cependant caractérisée par une baisse de la fréquence des pollens de *Pinus* et une bonne représentation des plantes du schorre. Dans la zone IV, les oscillations répétées affectant les concentrations traduisent l'irrégularité de la sédimentation et d'éventuels remaniements sur les bords de la fosse. Dans la zone V, les diverses oscillations de la concentration varient dans le même sens que celles des éricacées. Jusqu'au sommet de la séquence, la concentration reste faible bien que l'on semble s'orienter vers un rapprochement des zones de végétation. Des changements dans la direction des courants pourraient être responsables de cette faible concentration pollinique.

La connaissance de la diversité taxonomique, associée à celle de la concentration pollinique, permet d'apprécier la distance relative par rapport à la source émettrice de pollens ; les pollens étant transportés par le vent ou par l'eau. Actuellement dans les régions tempérées, les spectres polliniques comptant au moins 20 taxons, sont représentatifs de la végétation environnante. Cependant J. Bernard et A. Pons (1985) ont démontré que les relations entre spectres polliniques marins et végétation continentale sont incertaines. En l'absence de grands paléofleuves dans le secteur du seuil du Cotentin, la plus grande partie de la dispersion pollinique est aérienne et a été ensuite homogénéisée par les courants marins. La moyenne des taxons répertoriés dans le sondage est de 21, se répartissant en douze taxons d'arbres et neuf taxons d'herbacées. L'examen de la courbe de diversité pollinique portant sur l'ensemble des taxons révèle deux ensembles distincts ; l'un de 158,80 à 87,00 mètres, l'autre de 68,80 mètres au sommet. Dans le premier ensemble, la diversité des arbres comme des plantes herbacées est le plus souvent inférieure aux moyennes et n'est pas liée aux concentrations polliniques. La sur-représentation des pollens de *Pinus* en milieu marin masque la représentation des espèces moins facilement dispersées. Entre 68,80 et 51,00 mètres, la diversité

Fig. 18.- Zonation pollinique, diversité taxonomique, concentration et remaniement mésozoïque.
1 : Schorre *(salt-marsh)* ; 2 : Plantes aquatiques et de milieux humides *(aquatic and humid environment plants)* ; 3 : Forêt marécageuse *(swampy subtropical forest)* ; 4 : Arbustes de milieu humide *(humid environment shrubs)* ; 5 : Forêt tempéré d'arrière-pays *(hinterland temperate forest)* ; 6 : Ericales *(ericaceae)* ; 7 : *Pinus (pinus)* ; 8 : Forêt tempérée plus fraîche *(cooler temperate forest)* ; 9 : Autres herbacées *(other herbaceous plants)* ;
Diversité taxonomique *(taxonomic diversity)*.
Arbres *(Trees)* ; Herbacées *(herbaceous plants)* ; Total *(Sum)*
Concentration pollinique *(pollen concentration)*
Poucentages *(percentages)*
Remaniement mésozoïque *(Mesozoic reworking)* ; dinoflagellés *(Dinoflagellates)* ; foraminifères *(Foraminifera)* ; plancton d'eau douce *(fresh water plankton)*

Fig. 18.- Pollen zonation, taxonomic diversity, concentration and Mesozoic reworking.


MARCHESIEUX
ARGILE VERTE
SABLES COQUILLIERS
ARGILE GRISE
SABLES ARGILEUX BIOCLASTIQUES
ARGILE SABLEUSE
ARGILE
ARGILE ROUGE (PERMIEN)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
140
150
160m
50%
IX PINUS, FORÊT FROIDE
VIII PINUS, ÉRICALES
VII PINUS, ÉRICALES, SCHORRE
VI PINUS, SCHORRE
V PINUS, SCHORRE
IVb PINUS, FORÊT FROIDE
IVa PINUS
III PINUS, SCHORRE FORÊT TEMPÉRÉE
II PINUS, FORÊT TEMPÉRÉE
Ib PINUS
Ia PINUS, SCHORRE
ZONATION POLLINIQUE
1 Schorre
2 Plantes aquatiques d'eau douce
3 Forêt subtropicale (Taxodiacées)
4 Arbustes (Milieu humide)
5 Forêt tempérée
6 Ericaceae
7 Pinus t. silvestris
8 Forêt boréale
9 Autres herbes
50%
10
10
20
PA/PNA
ARBRES
HERBES
SOMME
DIVERSITÉ TAXONOMIQUE
1000 grains/gramme
CONCENTRATION POLLINIQUE
10%
% REMANIÉS
10%
% DINOFLAGELLÉS
10%
% FORAMINIFÈRES
10%
% PLANCTON D'EAU DOUCE

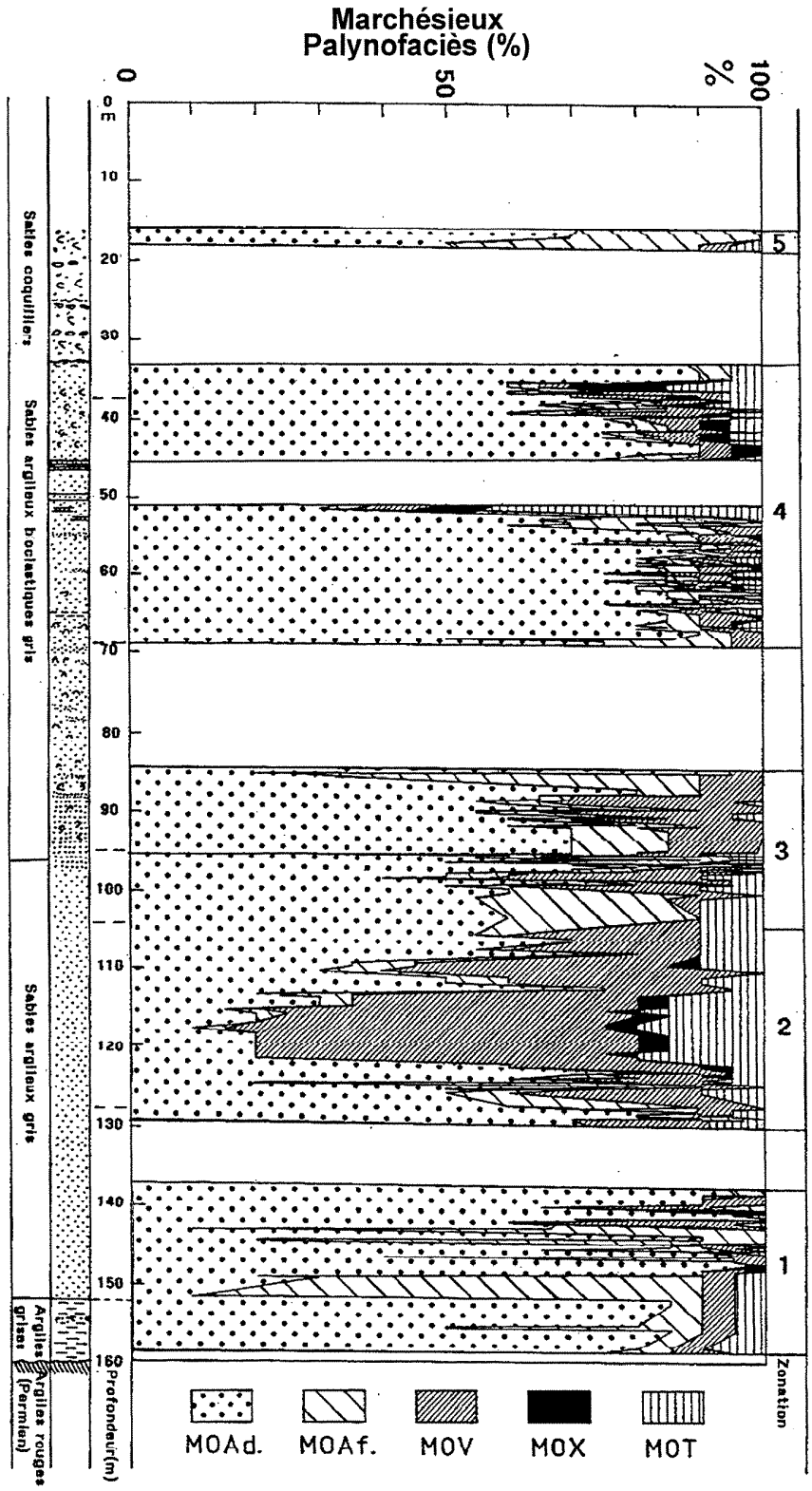


Fig. 19.- Palynofaciès.
MOAp : matière organique pulvérulente *(amorphous organic matter)*
MOAf : matière organique amorphe en flocons *(lumpy amorphous organic matter)*
MOV : matière organique cellulaire *(tissue fragments)*
MOX : matière organique charbonneuse *(coaly debris)*
MOT : matière organique ligneuse *(structured woody vessels).*
Fig. 19.- Palynofacies.

pollinique des arbres et des plantes herbacées est plus élevée mais la concentration plus faible que précédemment. Cet accroissement de la diversité, notamment au niveau des plantes herbacées, nettement accentué entre 45 et 39 mètres, peut être dû à un changement de la végétation en liaison avec une dégradation climatique.

Palynofaciès (G. Farjanel)

377 lames de palynofaciès ont été montées après attaques par HCl et HF qui ne détruisent, en principe ni la matière organique, ni la pyrite éliminée seulement par HNO_3.

Pour le comptage de la matière organique, cinq classes ont été retenues, MOAp, matière organique amorphe pulvérulente, MOAf, matière organique amorphe floconneuse, MOV, matière organique cellulaire, MOX, débris charbonneux, MOT, vaisseaux de bois. D'une façon générale, les modifications concernent surtout la matière organique amorphe (MOA) et la matière organique végétale (MOV). La taille des éléments figurés (fragments de bois, cuticules, fragments charbonneux) varie notablement d'un échantillon à l'autre et parfois dans un même échantillon.

Les grains de pyrite résultant généralement de l'activité bactérienne dans un milieu réducteur et qui sont particulièrement abondants dans la séquence, ont également été comptabilisés. Ils n'ont pas été pris en compte lors des calculs de fréquence des différentes classes de matière organique représentées sur le diagramme (fig. 19). La pyrite est toujours abondante, variant tout au long du sondage de 1 à 20 %. Elle se présente sous forme de petits éléments sphéroïdaux intimement mêlés à la matière organique amorphe. Certains niveaux, pratiquement dépourvus de matière organique, révèlent des valeurs élevées de pyrite : 50 % à 159,10 mètres, sous forme de petits cubes, 30 à 40 % entre 87,10 et 86,70 mètres et 25 % entre 51,50 et 51,40 mètres.

- De 158,80 à 138,20 mètres (1), la matière organique amorphe (MOA), pulvérulente, dispersée, de couleur jaune clair à jaune, est dominante (65 à 95 %). Dans de nombreux niveaux (151,70, 149,40, 149,20, 146,80, 144,60, 144,40, 143,10 mètres) la matière organique

amorphe en flocons est bien représentée. Les débris ligneux et les fragments végétaux varient de 0 à 10 %. A 142,20 et 142,30 mètres, ces derniers atteignent 30 %.

- De 129,10 à 105,80 mètres (2), la matière végétale, constituée de débris d'épidermes et de cuticules de grande taille, bien conservés, s'accroît de 30 à 60 %. Elle est associée à des débris charbonneux opaques variant de 10 à 20 %, il en ressort de très faibles valeurs pour la matière organique amorphe, dominée par la phase pulvérulente, à l'exception des niveaux 124,80 et 124,60 mètres.

- De 103,60 à 85,40 mètres (3), la matière organique pulvérulente retrouve de fortes valeurs. Dans certains niveaux, la matière organique amorphe en flocons atteint des pourcentages voisins de 30 % (103,60, 101,10, 100,60, 95,80, 91,90 mètres) voire 70 % (85,50 mètres) ou 75 % (95,70 mètres). La matière végétale atteint dans certains niveaux des pourcentages de 30 % mais les débris charbonneux ne dépassent jamais 10 %.

- Entre 68,80 et 36,80 mètres (4), le palynofaciès est relativement homogène, mais une passée stérile est intercalée entre 51,60 et 44,50 mètres. La matière organique amorphe pulvérulente redevient prédominante avec des valeurs variant de 65 à 90 %. La matière organique amorphe en flocons et les éléments figurés des autres classes, oscillent entre 0 et 20 %. Cependant à 51,60 mètres, les débris charbonneux opaques atteignent 45 %.

- Au sommet de la séquence, entre 17,80 et 17,70 mètres (5), les éléments figurés sont très peu représentés, la matière organique amorphe en flocons atteint 30 à 40 % et la phase pulvérulente 50 à 70 %.

Les palynofaciès montrent pour une grande partie de la séquence, une prédominance de la matière organique amorphe comme c'est habituellement le cas en milieu marin. L'abondance des restes tissulaires variés souligne l'importance des apports terrigènes, eux-mêmes accompagnés par la présence de remaniements mésozoïques. L'état des débris végétaux suggère qu'ils se sont déposés dans un milieu étroit et profond, dans des couches d'eau non brassées par le vent qui ont permis la conservation des débris libéro-ligneux.

Microfossiles marins à membrane organique (M.T. Morzadec-Kerfourn)

Les microfossiles marins sont représentés par des kystes de dinoflagellés (fig. 20), des enveloppes chitinoïdes de foraminifères et des scolécodontes (fig. 21). Le milieu de sédimentation semble avoir été défavorable aux thanatocénoses de microfossiles organiques. La faible diversité spécifique des kystes de dinoflagellés, cinq à six espèces en moyenne, s'accompagne d'une très faible fréquence et d'une mauvaise conservation. Ceci peut être dû à un taux de sédimentation élevé et à des apports détritiques importants. Certains niveaux, très grossiers et renfermant des graviers, sont dépourvus de microfossiles à membrane organique. La composition des assemblages est liée à la nature des sédiments. Ceux-ci sont dominés tout au long de la séquence par les foraminifères et les kystes de dinoflagellés péridinoïdes qui indiquent une influence néritique.

- De 158,50 à 153,50 mètres, dans l'argile grise, les foraminifères représentent de 85 à 42 % de l'ensemble des constituants organiques marins. Les kystes péridinoïdes sont dominés par *Multispinula quanta* Bradford, 1975. Les kystes gonyaulacoïdes n'atteignent pas 10 % du total des kystes. Parmi ces kystes, la majorité est à rapporter, malgré une mauvaise conservation à *Spiniferites ramosus* (Ehrenberg, 1838). Il faut noter la présence de *Spiniferites ? tripodes* (Morzadec-Kerfourn, 1966) et *Hystrichokolpoma rigaudae* Deflandre et Cookson, 1955.

- De 153,50 à 128,00 mètres, à la base des sables argileux, alors que la représentation des foraminifères tend à décroître et que les scolécodontes disparaissent, il se produit un changement dans la composition des assemblages de kystes de dinoflagellés, au sein du groupe péridinoïde. *Xandarodinium variabile* Bujak (1984) prend le relais de *Multispinula quanta*. Les kystes gonyaulacoïdes, comme précédemment, sont peu nombreux. Au-dessus de 150 mètres, les microfossiles organiques marins diminuent fortement puis disparaissent entre 139 et 128 mètres, dans des sédiments caractérisés par l'importance de la fraction grossière.

- De 128,00 à 104,00 mètres, la fréquence des microfossiles organiques marins est très irrégulière. Certains niveaux sont aphytiques, entre 119,90 et 117,60 mètres et entre 107,50 et 104,00 mètres, d'autres sont dépourvus de microfossiles organiques marins mais renferment cependant des pollens et notamment de forts pourcentages de pollens de *Pinus*. Dans les niveaux fossilifères, les foraminifères sont en nette régression par rapport à la zone précédente et ne dépassent jamais 25 % de l'ensemble des constituants organiques marins. *Xandarodinium variabile* demeure le kyste de dinoflagellés le plus fréquemment rencontré.

- De 104,00 à 95,00 mètres, les microfossiles organiques marins sont de moins en moins nombreux, sans que la composition des assemblages ne varie. Le taux des pollens de *Pinus* décroît alors que celui des chénopodiacées augmente. Le retrait de la ligne de rivage, l'extension des schorres peuvent expliquer la représentation de ces trois groupes de taxons dans les sédiments marins.

- Entre 68,50 et 35,00 mètres, foraminifères et kystes de dinoflagellés sont de nouveau présents de façon ponctuelle et toujours en nombre limité, sauf à 43 mètres, et comprennent des formes remaniées mésozoïques ; il n'est pas exclu que l'ensemble des microfossiles à membrane organique marins, présents dans cette fraction du sondage soit remanié. L'importance du remaniement, observé également parmi les pollens et les spores, suggère un maximum d'érosion qui pourrait être dû à une régression marine.

- Aucun microfossile organique marin n'est présent au-dessus de 35 mètres.

Les assemblages de kystes de dinoflagellés présents dans la séquence de Marchésieux, indiquent un milieu néritique-côtier, mais il faut noter l'absence complète de formes estuariennes et littorales comme *Lingulodinium machaerophorum* et *Operculodinium israelianum*. Ceci témoigne d'une sédimentation en dehors d'un système estuarien.

Apport stratigraphique

Les sables argileux et les faluns de la séquence de Marchésieux renferment des assemblages polliniques caractéristiques du Pliocène terminal tels qu'ils ont été décrits par W.H. Zagwijn (1960, 1963, 1974). Ils peuvent également être com-

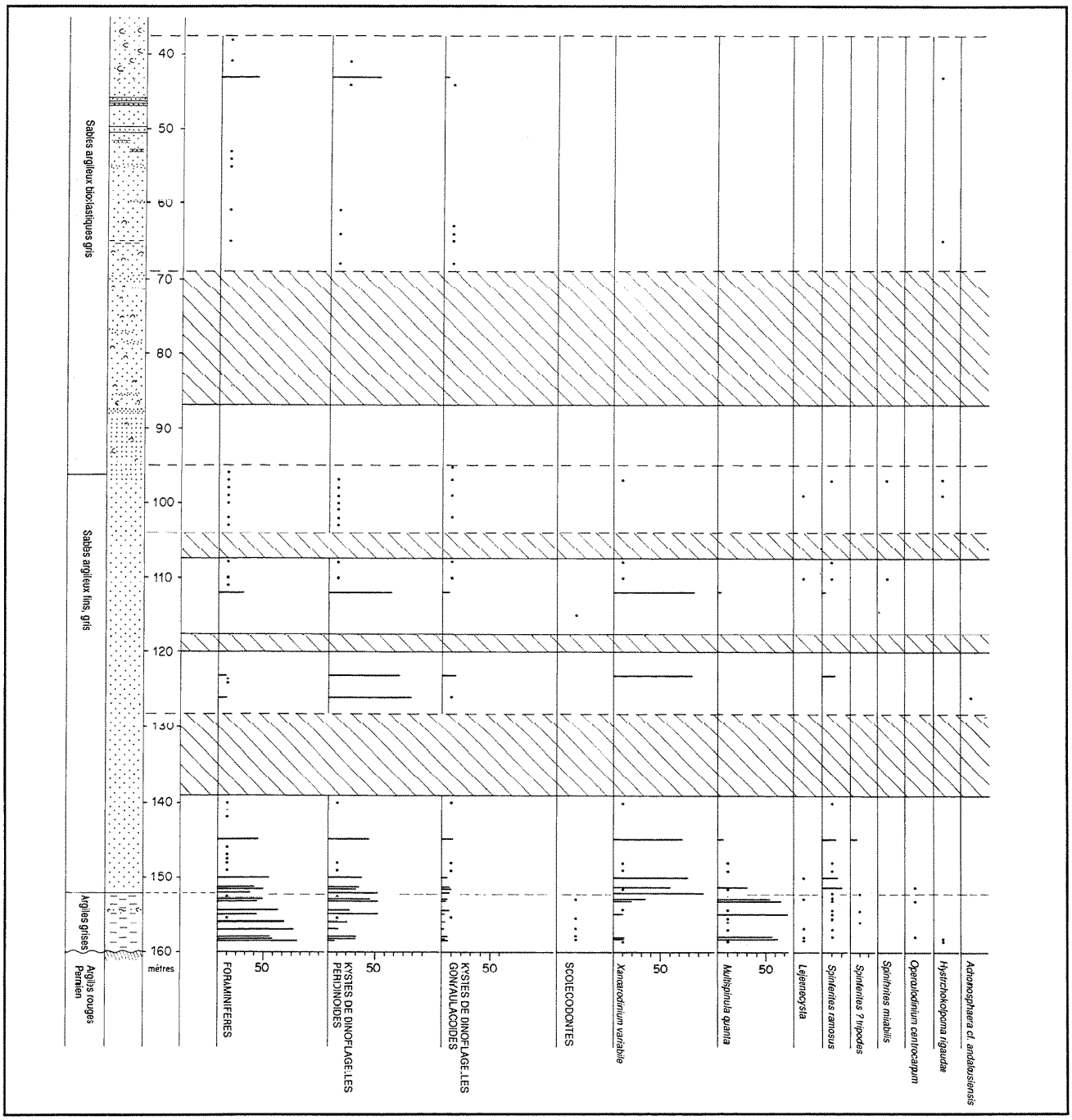


Fig. 20.- Répartition des microfossiles marins à membrane organique.

Fig. 20.- Distribution of marine microfossils with organic membrane.

parés à ceux obtenus dans des gisements du Nord de la France, notamment en Normandie et en Bretagne (Clet-Pellerin, 1983, 1984 ; Clet-Pellerin et Morzadec-Kerfourn, 1985 ; Morzadec-Kerfourn, 1983, 1989).

Les taxons "tertiaires", bien que masqués par l'abondance de *Pinus*, sont présents de façon constante tout au long de la séquence. *Sequoia* disparaît à la base du sondage. Les taxodiacées et *Tsuga* se maintiennent jusqu'au sommet et *Sciadopitys* a une représentation très irrégulière. Parmi les juglandacées, *Carya* et *Pterocarya* sont très mal représentés tandis qu'*Engelhardtia* enregistre des fréquences significatives au sommet du diagramme. *Liquidambar* et *Symplocos* sont présents ponctuellement à la base. Par référence à la chronologie du Nord-Ouest de l'Europe, un âge reuvérien peut être proposé pour les zones I à VII. L'absence de pollens de *Mastixia* (*Tricolporopollenites edmundii*, *in* Suc et Zagwijn, 1983 ; Zagwijn et Suc, 1984) et la faible représentation de *Sequoia* élimine la possiblité d'un âge plus ancien. Les zones VIII à IX, dominées par les pollens de plantes herbacées, éricacées et graminées essentiellement, peuvent être mises en corrélation avec le Prétiglien.

Deux espèces de kystes de dinoflagellés permettent de confirmer l'attribution de la séquence au Pliocène terminal, *Hystrichokolpoma rigaudae*, espèce connue dans le Tertiaire qui disparaît au Pléistocène inférieur, et *Xandarodinium variabile*, espèce rencontrée du Miocène au Pléistocène inférieur.

Apports climatique et environnemental

L'influence marine est toujours bien marquée dans le bassin de Carentan, tout au long de la séquence, au cours du passage Reuvérien-Prétiglien. La sédimentation a débuté au Reuvérien en domaine côtier mais déjà relativement profond (au moins 50 mètres de profondeur). La présence dans les sédiments de microfossiles à parois organiques, en majorité continentaux, est donc directement influencée par la proximité de la terre ferme. Le fait le plus marquant est la forte représentation des pollens de *Pinus* type *silvestris*. C'est une essence particulièrement développée au Pliocène terminal dans l'Ouest de la France (Clet-Pellerin, 1983). Le pollen de *Pinus* est toujours fortement représenté en milieu marin et son abondance peut être une indication de distance par rapport au littoral. Tout au long de la séquence de Marchésieux, la concentration des pollens de *Pinus* subit peu de variations ; elle est généralement supérieure à 75 % de la concentration totale. En particulier, il n'apparaît aucun changement au passage Reuvérien-Prétiglien ; son développement lors du refroidissement prétiglien étant compensé par rapport aux autres pollens moins anémophiles. Pour déceler les changements de l'environnement, il est nécessaire de s'appuyer sur des taxons qui peuvent apparaître faiblement représentés dans le milieu marin mais qui sont les témoins réels des changements climatiques.

La dégradation climatique s'annonce dès la base de la séquence, au Reuvérien, par une diminution progressive, jusqu'à 139 mètres, de la représentation de *Sequoia*. Celle-ci est précédée, entre 142 et 139 mètres, par un développement des taxodiacées. Le changement de végétation s'accompagne d'une diminution des foraminifères et des kystes de dinoflagellés. Cet épisode est suivi par une arrivée de sédiments grossiers, aphytiques.

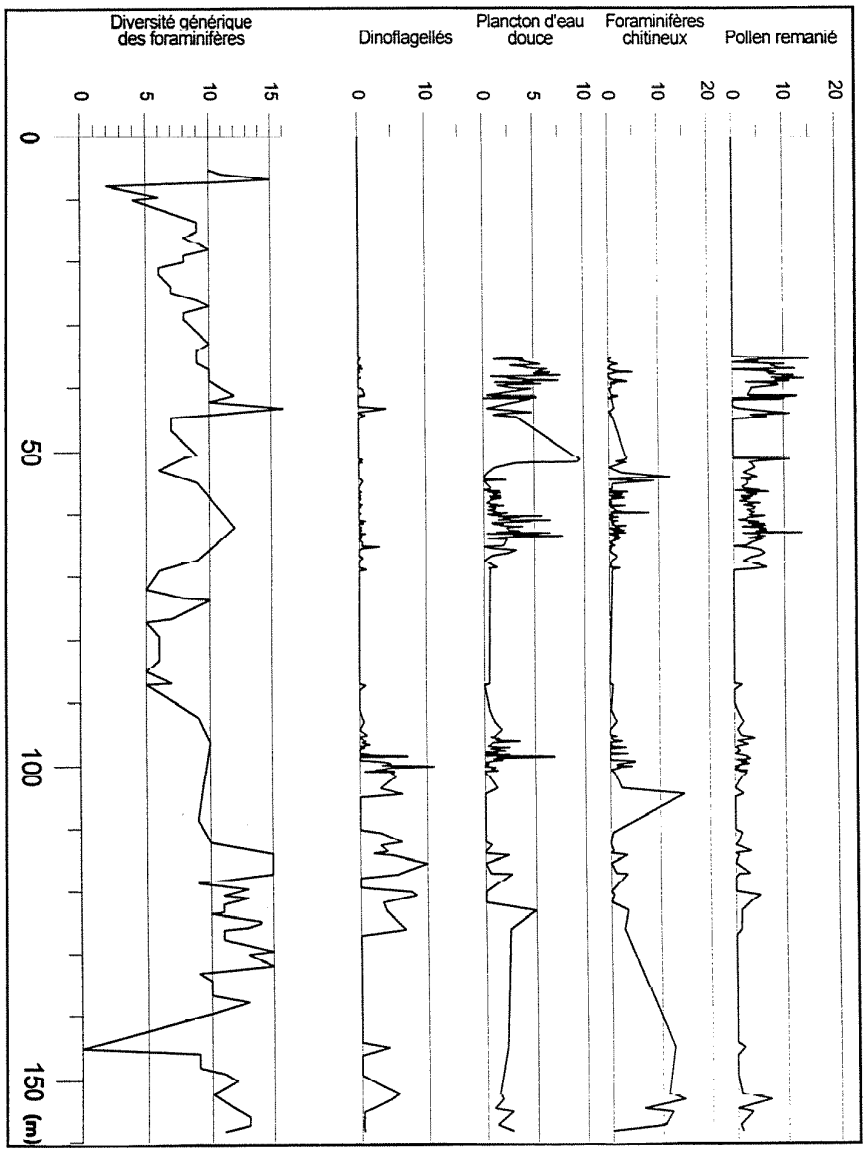


Fig. 21.- Groupes végétaux, pollens remaniés, foraminifères chitineux et diversité générique des foraminifères.

Fig. 21.- Groups of plants, reworked pollen, chitinous foraminifera and generic diversity of foraminifera.

Ensuite le milieu devient moins profond, le rapport foraminifères/kystes de dinoflagellés s'inverse au profit des kystes et de nombreux débris végétaux arrivent dans le bassin alors que l'on assiste entre 130 et 110 mètres à un développement de *Pinus* type *haploxylon*. La régression marine s'accentue, entre 104 et 99 mètres, avec l'extension des schorres et la disparition des microfossiles marins - foraminifères et kystes de dinoflagellés - tandis que des algues planctoniques d'eau douce (*Zygnema, Debarya, Mougeotia*) sont présentes avec des taux de plus en plus élevés (fig. 21).

La régression du niveau marin est liée à la dégradation climatique prétiglienne ; les cupressassées se développent à partir de 87 mètres. Le développement de l'aulne, des éricacées, des cypéracées, de *Sphagnum* et des fougères à spores monolètes à partir de 68 mètres puis la chute de *Quercus* et le nouvel essor des éricacées à 44 mètres, indiquent la poursuite de la dégradation climatique. Cette période est accompagnée par un important remaniement du matériel mésozoïque qui souligne la diminution de la végétation arborée sur le continent (fig. 21).

La sédimentation à Marchésieux s'est effectuée en dehors d'un système estuarien, il s'est donc produit une certaine

Profondeurs en mètres / Taxons	17,4	24,9	50,4	54,8	73,4	79,4	83,2	85,1	86,9	118,2	145,1
Nucula (N.) nucleus s.s. (L.)	1		5	5	3	5	5	3	4	3	3
Nucula (Lamellinucula) sulcata Bronn				1		5	1	2	2		
Nuculana (Saccella) fragilis (Chemn.)					1		1			1	
Barbatia (B.) barbata (L.)							25	24		14	
Barbatia (Acar) clathrata (Defr.)				1	6	10	8	5		1	1
Striarca lactea (L.)		3	1	5	19	36	23	22		11	2
Limopsis (Pectunculina) anomala coxi (Glib. & V. de P.)							4				
Limopsis (P.) recisa (Defr.)		6		1	1	16	4	11		29	1
Glycymeris (G.) cf. glycymeris variabilis (Sow.)						3	5	2		1	
Mytilus (M.) edulis L.								4			
Modiolus (M.) modiolus (L.)						1					
Mytilidae indét.	1		1	4		1	2	5		1	26
Chlamys (C.) pusio (L.)	2	10	5	17	TN	N	14	N	10	AN	1
Chlamys (C.) varia (L.)		1	4	11			AN	15	4		
Chlamys (Aequipecten) opercularis (L.)	1	3		4	N	TN	N	TN	AN	15	4
Chlamys sp. *(pusio + varia + opercularis)*					TN						
Anomia (A.) ephippium rugulosostriata Brocc.			1								
Pododesmus (Heteranomia) squamulus (L.)	3				5	7	3	2		1	11
Pododesmus (Monia) patelliformis L.						3	3				
Lima (L.) lima (L.)						12	22	7			
Ostrea (O.) edulis L.			4	1	7	2		1	10	1	3
Ctena (C.) cf. decussata decorata (Wood)					1	1		2			
Lucinoma borealis (L.)					1			1	1	1	
Cardita (C.) calyculata (L.)	2	2	2	3	4	19	16	6		11	5
Glans (Centrocardita) cf. aculeata ampla (Chev. & Coat.)		1	4		2		4	8		6	1
Pteromeris (Coripia) corbis (Phil.)				1		1	2	8			
Megacardita striatissima (Caill.)			1	1	2			2	2		1
Carditidae indét. *(calyculata + aculeata + striatissima)*								14			
Astarte (A.) omalii s.s. Jonk.			1				2	2	1	1	
Astarte (A.) cf. fusca incrassata (Brocc.)	1	1	1	2				1	1		
Astarte (A.) sulcata redonensis Lauriat-Rage					2	2	3	1			
Astarte (Digitariopsis) excurrens s.s. Wood							14	10			
Acanthocardia (A.) echinata (L.)		1	2								
Plagiocardium (Papillicardium) papillosum (Poli)	4					2	1			2	
Spisula (S.) subtruncata triangula (Ren.)										1	
Venus (V.) casina L.			7					6			
Dosinia (Asa) lupinus (L.)									1		
Tapetinae indét.										3	
Irus (I.) irus (L.)							1				
Clausinella cf. imbricata (Sow.)						1	3				
Timoclea (T.) ovata (Penn.)				1							
Corbula (Varicorbula) gibba s.s. (Ol.)			3	7	1				4		15
Hiatella (H.) arctica (L.)	1	1				3	1		3		

Fig. 22.- Répartition des bivalves (soumis à comptage) du Pliocène : TN = très nombreux ; N = nombreux ; AN = assez nombreux.

Fig. 22.- Distribution of Pliocene bivalves: TN = very numerous ; N = numerous ; AN = fairly numerous.

homogénéisation des pollens et des spores par les courants. Cependant la sédimentation dans ce système de bassin étroit n'exclut pas la possiblité de remaniements comme le montre la courbe en dents de scie des concentrations polliniques, mais ils n'ont pas faussé l'enregistrement pollinique ni la représentation des microfossiles marins à membrane organique. Ceux-ci ont permis de reconnaître à la fois les changements climatiques et les déplacements de ligne de rivage qui se sont produits à la fin du Reuvérien et au Prétiglien dans le seuil du Cotentin. La sédimentation en milieu marin entraîne, par rapport au domaine continental, une extension verticale plus importante du passage Reuvérien-Prétiglien.

Lamellibranches (A. Lauriat-Rage)

Contenu spécifique et éléments stratigraphiques

La "Longue séquence" de Marchésieux, examinée sur toute sa hauteur, a livré de nombreux bivalves (de 7,90 à 145,10 m). Ceux-ci représentent la plus grande partie de la biomasse.

Une analyse à la fois qualitative (41 taxons) et quantitative de 11 échantillons du sondage (fig. 22) réparties de 17,40 à 145,10 m, a été réalisée en vue d'une reconstitution paléoécologique (voir les données de D. Merle, Paléobionomie benthique). Par ailleurs, l'étude d'une quarantaine de prélèvements complémentaires allant de 7,90 à 113,00 m, a permis de compléter cette première liste (voir ci-après).

La faune est essentiellement composée d'espèces de petite taille (plusieurs taxodontes, *Limatula*, *Ctena*, des petites Astartidae, *Parvicardium*...), de stades plus ou moins jeunes de ces mêmes espèces ou appartenant à d'autres espèces (*Glycymeris*, tous les *Chlamys*, *Pododesmus squamulus*, *Cardita calyculata*, *Acanthocardia*, *Hiatella*...), de formes juvéniles (quelques prodissoconques). On relève plus rarement des fragments d'espèces adultes de taille moyenne à grande (*Ostrea edulis, Barbatia barbata, Astarte omalii* s.s., ...). Les taxons les mieux représentés dans le plus grand nombre de niveaux sont, en premier lieu, les *Chlamys* et *Pododesmus squamulus*, puis viennent dans l'ordre systématique *Barbatia barbata, Striarca lactea, Limopsis recisa, Cardita calyculata, Plagiocardium papillosum* ...).

Liste de tous les taxons répartis entre 7,90 et 145,10 m :

Nucula (N.) nucleus s.s. (L.) : 13,50 ---> 145,10
Nucula (Lamellinucula) sulcata Bronn : 13,50 ---> 86,90
Nuculana (Lembulus) pella (L.) : 41,00
Nuculana (Saccella) fragilis (Chemn.) : 13,50 ---> 118,20
Yoldia (Y.) oblongoides (Wood) : 41,00 ---> 61,00
Barbatia (B.) barbata (L.) : 13,50 ---> 118,20
Barbatia (Acar) clathrata (Defr.) : 51,00 ---> 145,10
Striarca lactea (L.) : 13,50 ---> 145,10
Limopsis (Pectunculina) anomala coxi (Glib. et V. de Poel) : 18,00/18,20 ---> 83,20
Limopsis (P.) recisa (Defr.) : 18,00/18,20 ---> 145,10
Glycymeris (G.) glycymeris cf. *variabilis* (Sow.) : 78,00 ---> 118,20
Mytilus (M.) edulis L. : 17,40 ---> 85,10
Modiolus (M.) modiolus (L.) : 13,50 ---> 79,40
Mytilidae indét. : 17,40 ---> 145,10
Chlamys (C.) pusio (L.) : 9,60---> 145,10
Chlamys (C.) varia (L.) : 10,00 ---> 86,90
Chlamys (Aequipecten) opercularis (L.) : 9,60 ---> 145,10
Chlamys (A.) radians (Nyst) : 82,00
Chlamys sp. : 7,90 ---> 145,10
Anomia (A.) ephippium rugulosostriata Brocc. : 42,00 ---> 51,80
Pododesmus (Heteranomia) squamulus L. : 10,90/11,10 ---> 145,10
Pododesmus (Monia) patelliformis (L.) : 79,40 ---> 83,20
Lima (L.) lima (L.) : 78,00 ---> 85,10
Limatula subauriculata (Mtg.) : 51,00 ---> 78,00
Ostrea (O.) edulis L. : 7,90 ---> 145,10
Ctena (C.) cf. *decussata decorata* (Wood) : 73,40 ---> 85,10
Lucinoma borealis (L.) : 73,40 ---> 118,20

Cardita (C.) calyculata (L.) : 11,80/12,00 ---> 145,10
Glans (Centrocardita) cf. *aculeata ampla* (Chav. et Coat.) : 24,90 ---> 145,10
Pteromeris (Coripia) corbis (Phil.) : 54,80 ---> 85,10
Megacardita striatissima (Caill.) : 50,40 ---> 145,10
Carditidae indét. : 85,10
Astarte (A.) omalii s.s. Jonk. : 50,40 ---> 118,20
Astarte (A.) cf. *fusca incrassata* (Brocc.) : 54,80
Astarte (A.) sulcata redonensis Lauriat-Rage : 13,50 ---> 83,20
Astarte (Digitariopsis) excurrens s.s. Wood : 41,00 ---> 85,10
Digitaria digitaria (L.) (f. *lanceolata*) : 13,50 ---> 76,60
Goodallia parvula (Wood) : 9,60---> 53,00
Goodallia triangularis (Mtg.) : 51,00 ---> 80,90
Acanthocardia (A.) echinata (L.) : 24,90 ---> 50,40
Acanthocardia (A.) erinacea (Lmk) : 41,00 ---> 53,00
Parvicardium (Papillicardium) papillosum (Poli) : 10,00 ---> 118,20
Spisula (S.) solida s.l. (L.) : 18,20
Spisula (S.) subtruncata triangula (Ren.) : 41,00 ---> 118,20
Venus (V.) casina L. : 50,40---> 85,10
Venus (Ventricoloidea) multilamella Lmk : 80,00
Gouldia cf. *minima* (Mtg.) : 63,00
Dosinia (Asa) lupinus (L.) : 86,90
Tapetinae indét. : 118,20
Irus (I.) irus (L.) : 86,90
Clausinella cf. *imbricata* (Sow.) : 79,40 ---> 83,20
Timoclea (T.) ovata (Penn.) : 54,80
Corbula (Varicorbula) gibba s.s. (Ol.) : 50,40 ---> 145,10
Hiatella (H.) arctica (L.) : 17,40 ---> 86,90
Poromya (P.) granulata (Nyst et West.) : 18,00/18,20

Apport stratigraphique, climatique et écologique

Age et climat

Ces aspects étant étroitement liés, ils seront traités simultanément. En effet, c'est au cours du Pliocène que la bioprovince atlanto-méditerranéenne, qui comprend la façade atlantique française, bascule progressivement vers le domaine nordique (Lauriat-Rage *et al.*, 1993). La présence d'indicateurs paléobiogéographiques est déterminante pour l'interprétation de l'évolution du climat dans le secteur de la Manche au Pliocène. De nombreux gisements de même âge (sondages et forages) ont déjà été étudiés dans les bassins de Carentan et de Saint-Sauveur-le-Vicomte (Lauriat-Rage, 1986), mais aucun n'a été analysé en détail comme le sondage de Marchésieux (prélèvements très rapprochés). D'après les bivalves, le sondage de Marchésieux doit être rapporté au Pliocène moyen à supérieur. Examinons d'abord l'ensemble de cette faune en sériant les espèces les plus significatives.

1) Taxons connus seulement au Pliocène :
Ctena cf. *decussata decorata* (origine nordique) ;
Megacardita striatissima (origine atlantique) ;
Astarte sulcata redonensis (caractéristique du Redonien) ;
Astarte excurrens s.s. (origine nordique) ;
Goudallia parvula (origine nordique) ;
Digitaria digitaria forma *lanceolata* (caractéristique du Redonien).

Ces indicateurs stratigraphiques montrent de très nettes affinités entre le Pliocène de Normandie et celui du domaine nordique (East Anglia, Belgique, Pays-Bas) (Lauriat-Rage, 1981 et 1982).

2) Taxons connus à partir du Pliocène, s'éteignant au Quaternaire, ou encore actuels :
Yoldia oblongoides : s'éteint au Quaternaire (origine nordique) ;
Glycymeris cf. *glycymeris variabilis* : s'éteint au Quaternaire (origine nordique) ;
Mytilus edulis (origine nordique) ;
Modiolus modiolus (origine nordique) ;
Acanthocardia echinata (origine méditerranéenne) ;
Acanthocardia erinacea (origine méditerranéenne) ;
Spisula solida s.l. (origine nordique) ;
Clausinella cf. *imbricata* : s'éteint au Quaternaire (origine nordique).

La majorité de ces indicateurs stratigraphiques, témoins du renouvellement de la faune après le Miocène, proviennent du domaine nordique comme précédemment, et confirment le rattachement des gisements de Normandie à ce domaine.

3) Taxons déjà connus au Miocène, plus au nord ou plus au sud que la façade atlantique française, généralement peu fréquents à cette époque et atteignant cette région au Pliocène, constituant indirectement un apport stratigraphique :
Nucula nucleus s.s. (origine nordique) ;
Nuculana pella (origine méditerranéenne) ;
Chlamys varia (origine méditerranéenne) ;
Pododesmus patelliformis (origine nordique) ;
Pododesmus squamulus (origine nordique) ;
Cardita calyculata (origine méditerranéenne) ;
Astarte omalii s.s. (origine nordique) ;
Dosinia lupinus (origine méditerranéenne) ;
Poromya granulata (origine nordique).

On constate que ces espèces, apparues avant le Pliocène, présentent ici des affinités biogéographiques à peu près équivalentes entre les domaines nordique et méditerranéen.

4) Taxons mio-pliocènes :

Limopsis recisa ;
Anomia ephippium rugulosostriata ;
Spisula subtruncata triangula ;
Hiatella cf. *rugosa* s.s.

Ces quelques taxons mettent en évidence un très faible archaïsme de la faune, au regard des nombreux indicateurs pliocènes-actuels.

5) Si tant est que l'on puisse retenir un caractère négatif, l'absence de la Nuculidae, *Acila* (*Truncacila*) *cobboldiae* (Sow.), caractéristique des gisements du Pléistocène du domaine nordique et de Normandie (Brébion *et al.*, 1975 ; Lauriat-Rage, 1986), exclut un âge pléistocène de la malacofaune du sondage de Marchésieux.

6) Par ailleurs, rappelons qu'au Miocène moyen les bassins d'Aquitaine et de la Loire comportaient nombre d'espèces également connues dans les domaines méditerranéen et nordique, c'est-à-dire relativement ubiquistes dans le nord-est Atlantique soumis alors à un climat tropical à tempéré. Ces espèces bien adaptables d'un point de vue climatique ont perduré jusqu'à nos jours, dans les mêmes régions ; il est donc normal de les récolter dans les gisements du Pliocène atlantique de France

(Redonien). En revanche, un autre stock d'espèces également issues du Miocène atlanto-méditerranéen, mais à fortes exigences climatiques, quittera la façade atlantique française qui se refroidit progressivement, pour une partie après le Miocène (*Linga* (*L.*) *columbella* (Lmk), *Pholas* (*Monothyra*) *dujardini* Mayer), pour une autre partie pendant le Pliocène et à la fin du Pliocène (*Barbatia clathrata*, *Venus multilamella* ...), selon un échelonnement stratigraphique des gisements redoniens (Lauriat-Rage et Vergnaud Grazzini, 1977), et pour une plus faible part pendant le Quaternaire (*Nuculana pella*, *Cardita calyculata*). Ces taxons se cantonnent aujourd'hui à des latitudes plus basses (des côtes sud de Lisbonne au Maroc et en Méditerranée).

En outre, on peut constater une certaine évolution des bivalves, et cela tout au long du sondage. Retenons principalement un appauvrissement de la faune entre 30,00 et 40,00 m, correspondant d'après les études palynologiques au Prétiglien. Cette limite correspond à la disparition tout au moins locale, de plusieurs espèces à caractère chaud dont *Barbatia clathrata*, *Lima lima*, *Acanthocardia erinacea*, *Venus multilamella* et à l'apparition (dans la Formation de l'Abbaye des Bohons) de deux espèces nordiques actuelles, *Spisula solida* s.l. et *Poromya granulata*. Toutefois, les conditions climatiques du Pliocène supérieur ne sont pas encore suffisamment drastiques pour éliminer (au-dessus de cette limite) toutes les espèces méridionales, telles *Cardita calyculata* ou *Glans aculeata* ; en particulier *C. calyculata* est encore très abondante dans le Quaternaire ancien de Basse-Normandie. En outre, on doit rester prudent sur ces interprétations, sachant que la sédimentation a varié durant le dépôt de la "Longue séquence" et, par conséquent, que les biotopes ont été modifiés. La richesse en bivalves (nombre d'espèces et d'individus par espèce) est variable dans le sondage. Les intervalles considérés comme les plus chauds (paléotempératures...) sont généralement les plus riches en organismes : on retiendra en particulier la zone des 80 mètres (73,40 - 86,90). Si l'on compare la Longue séquence de Marchésieux (qui s'inscrit bien dans le cadre chronologique et biogéographique des gisements, sondages et forages du Pliocène supérieur du seuil du Cotentin) avec les gisements du golfe ligérien de même âge (Redonien récent), une différence climatique apparaît entre ces deux ensembles de latitudes légèrement différentes. En effet, certaines espèces à caractère méridional *Anadara* (*A.*) *turonica* (Duj.), *Hinnites crispus* (Brocc.), *Plagiocardium* (*P.*) *hirsutum* (Bronn), *Venus* (*Ventricoloidea*) *subrotunda* Defr., provenant du domaine atlanto-méditerranéen, n'ont jamais atteint la Manche au Pliocène. Inversement, des taxons d'origine nordique, appartenant aux Leptonacea (*Lasaea*, *Mysella*), signalés dans le Pliocène supérieur de la Manche, n'ont pas atteint le golfe ligérien. Comme aujourd'hui, la Manche constitue en quelque sorte une sous-unité biogéographique.

Remarques taphonomiques

L'état de conservation des bivalves est variable ; les coquilles toutes dissociées peuvent être classées en quatre catégories : valves entières, brisées, roulées, bio-érodées, qui témoignent d'apports divers provenant de biotopes différents. Ces éléments de thanatocénoses ont donc été transportés, accumulés (coulées gravitaires) et vraisemblablement usés sur place. On ne note pas de remaniement d'espèces d'âge plus ancien. Toutes les espèces sont franchement marines, comprenant des épibiontes (Mytilidae, *Chlamys*, *Pododesmus squamulus*...) en abondantes populations, ainsi que des endobiontes assez bien diversifiés, l'ensemble provenant du milieu infralittoral profond à circalittoral.

Gastéropodes (P. Brébion)

Contenu spécifique

Les gastéropodes sont représentés par des coquilles de petites tailles ou fragmentaires. 53 formes ont été déterminées, certaines demeurent en nomenclature ouverte (fig. 23). Les néogastéropodes, qui constituent à cette époque le groupe le plus significatif, sont moins abondants qu'ils ne devraient. Deux niveaux sont bien fossilifères, l'un vers 80-85 m, l'autre beaucoup moins riche, vers 20 m.

Apport stratigraphique

Deux ensembles sont à distinguer, le premier de 145 m à 79,4 m et le second de 78 à 13,5 m. En ce qui concerne le premier, on doit tout de suite exclure le Pliocène supérieur (Cricqueville, Hâvre de Blainville, niveau de la Brumannerie). En effet, on ne retrouve aucune des cinq espèces boréales qui apparaissent dans ces gisements. En revanche il y a davantage de coquilles méridionales *Cerithiopsis bilineata*, *Fossarus costatus*, *Murtcopsis cristatus*, *Cantharus exsculptus*, *Ancillaria glandiformis*, *Clathromangelia quadrillum fenestrata*. De plus, *Bittium reticulatum* ne montre pas la dominance des exemplaires à quatre cordons qui caractérise les dépôts du Pliocène supérieur et du début du Pléistocène (Pierrepont).

Il y a des affinités avec la faune de Gourbesville (Pliocène inférieur) où l'on retrouve les espèces méridionales citées ci-dessus qui sont jusqu'ici inconnues dans les gisements plus récents.

Toutefois, on ne doit pas conclure à une datation aussi ancienne. En effet, la survivance de ces coquilles "chaudes" au Pliocène moyen n'est pas impossible, ce niveau ne nous était connu, jusqu'ici, que par la formation de Selsouef très pauvre et par les marnes du Bosq-d'Aubigny d'un faciès très particulier. Deux faits s'opposent à l'attribution au Pliocène inférieur : la trop faible importance des formes tropicales, et la présence de l'espèce méridionale *Hinia reticulata* totalement inconnue à Gourbesville dont la faune est cependant très riche en Nassidae.

Ces conclusions sont essentiellement basées sur l'examen des niveaux de 80-85 m qui ont livré 42 espèces.

A partir de 78 m, les faunes sont plus pauvres et la plupart des marqueurs du Pliocène inférieur ont disparu. On ne peut que signaler *Fossarus costatus* à 18 m. En revanche, on note l'apparition au même niveau d'une forme boréale *Trophonopsis* (*Boreotrophon*) sp. Malgré la faible diversité des espèces (26 espèces), il semble que nous sommes dans le Pliocène supérieur marqué ici par un net refroidissement des eaux.

Les niveaux supérieurs du sondage sont à mettre en relation avec les gisements du Hâvre de Blainville et de Cricqueville, géographiquement proche de Marchésieux.

Apport climatique et biogéographique

On remarque beaucoup de formes "chaudes" : *Clanculus, Petaloconchus, Natica* s.str., *Fossarus, Muricopsis, Mitrella, Vexillum, Mitraria, Clathromangelia* de cachet méditerranéen, ainsi que *Seila, Cirsotrema, Aspella, Cantharus, Ancilla* de cachet tropical mais très peu répandus. Notons l'absence de certaines espèces méditerranéennes classiques, comme *Sphaeronassa mutabilis* (L.) et *Arcularia gibbosula* (L.), récoltées cependant dans les dépôts sub-contemporains du Bosq d'Aubigny et de St Erth. Cette absence pourrait être mise en relation avec un environnement de dépôt différent entre ces localités.

De nombreuses coquilles sont inconnues à la même époque dans la mer du Nord : *Clanculus, Fossarus, Muricopsis, Aspella, Cantharus, Ancillaria, Mitraria, Clathromangelia* et au niveau des espèces : *Cerithiopsis bilineata, Alvania cancellata, Natica pseudoepiglottina.* Toutefois d'autres coquilles méridionales se maintiennent dans la mer du Nord jusqu'au "Red Crag" : *Seila, Petaloconchus, Cirsotrema, Natica, Mitrella, Vexillum* ; ajoutons *Mitraria* dans le Quaternaire froid de la mer d'Irlande. Leur signification doit donc être relativisée. Les influences boréales sont inexistantes mais il y a des coquilles nordiques de caractère non froid connues dès le "Coralline Crag" de cachet méditerranéen et peut-être même avant. On les signale dans la Manche au début du Pliocène à Gourbesville : *Calliostoma simila, Bittium, rubanocinctum, Euspira exvarians, Hinia reticosa, Hinia* nov. sp. (*limata in* Harmer).

Le Pliocène marin de la Manche est de mieux en mieux connu (Normandie et Cornouailles anglaises). Il se caractérise par une dégradation continue des conditions climatiques tout en demeurant plus "chaud" qu'aujourd'hui. La faune appartient en majorité, tout au long de la séquence, à l'ensemble atlanto-méditerranéen. Le décalage entre le domaine nordique, où les influences boréales sont nettement plus sensibles, et la Manche persistera jusqu'au Quaternaire (*s.s*). Ce n'est qu'à cette époque que ce contraste s'estompera pour constituer l'actuelle province celtique.

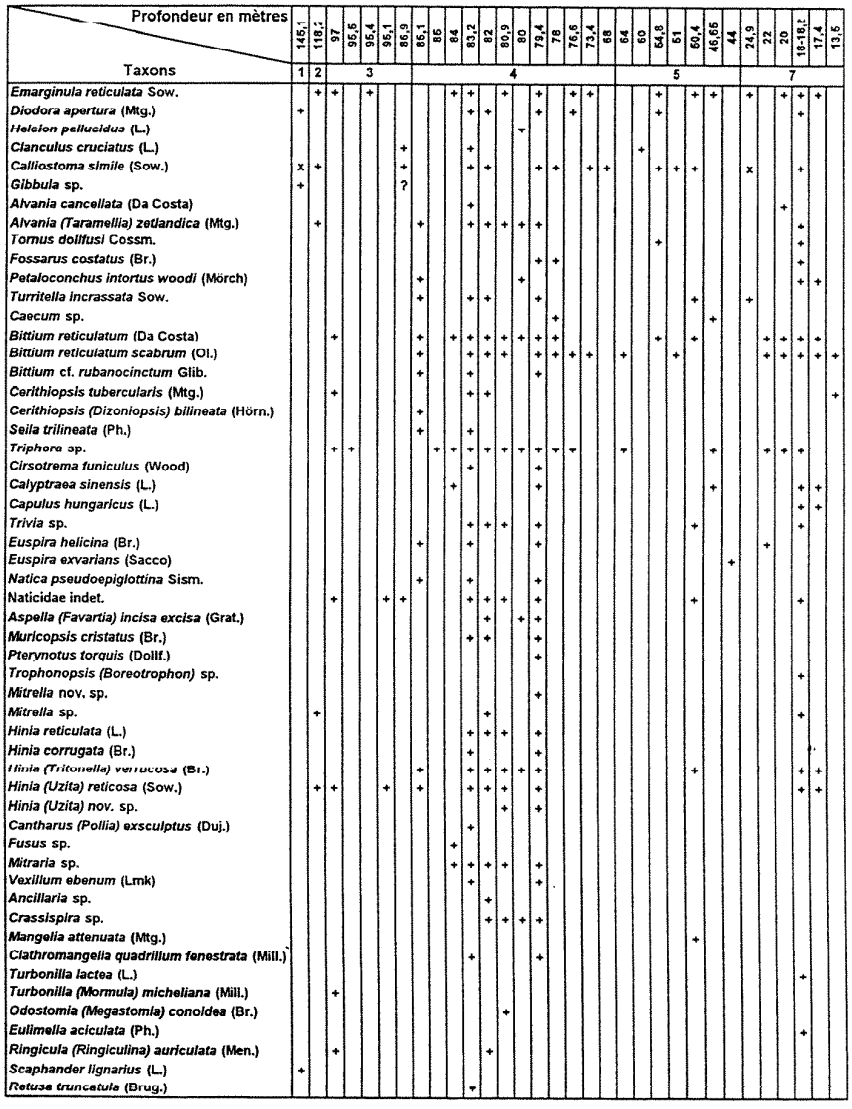


Fig. 23.- Répartition des gastéropodes (soumis à comptage) du Pliocène : x = forme affine.

Fig. 23.- Distribution of Pliocene gastropods: x = refined form.

Cirripèdes (R.P. Carriol)

Contenu spécifique

La séquence de Marchésieux contient une faune de cirripèdes polyspécifique dont les affinités avec la faune actuelle sont marquées par la présence de *Balanus perforatus, B. crenatus, B. spongicola* et *Verruca stroemia.* La faune de Marchésieux s'en distingue néanmoins par la présence de *Megabalanus dollfusi* et de *Tessepora sulcata* (deux espèces éteintes), d'un *Tetraclita* et d'un *Archaeobalanidae* (absents des eaux européennes). Les cirripèdes de Marchésieux sont en majorité des habitants habituels de la zone infralittorale et fréquemment de la zone médiolittorale (Carriol, 1996).

Apport stratigraphique

Les niveaux traversés par le forage appartiennent tous au Pliocène comme le révèle la présence de *M. dollfusi* une espèce endémique du Mio-Pliocène du Nord-Ouest et de l'Ouest de la France et l'absence de *B. balanus* qui, dans le Cotentin, caractérise le passage au Pléistocène.

Apport climatique

Les niveaux situés entre 85,10 et 7,90 m ont livré suffisamment de cirripèdes connus pour qu'il soit possible de formuler quelques remarques paléoclimatiques. La faune de cirripèdes indique des eaux plutôt chaudes et en particulier entre 68 et 54,80 m comme le souligne la présence

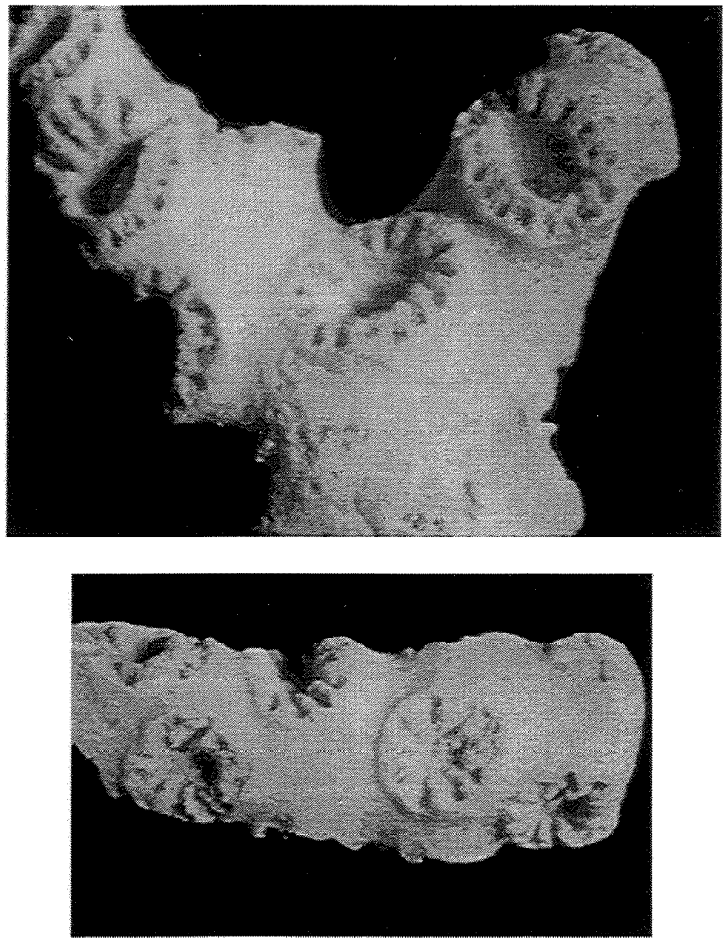


Fig. 24.- Stylallasteridae (genre *Stylaster* probable) du Pliocène supérieur de Marchésieux.

Fig. 24.- Late Pliocene Stylallasteridae (probably Stylaster *genus) in the Marchésieux core.*

de *Tesseropora sulcata*, une espèce appartenant à un genre ayant gagné l'Atlantique depuis la Méditerranée et qui, de nos jours, est essentiellement indo-pacifique (Carriol, 1993). Néanmoins un passage assez froid s'est produit au maximum entre 51,80 et 18,20 m et au minimum entre 42,00 et 24,90 m. Ce refroidissement est indiqué par la disparition d'espèces : *B. perforatus* (espèce des eaux les plus chaudes de l'Atlantique Est) entre 51,80 et 18,20 m ; *M. dollfusi* entre 42,00 et 24,90 m ; *B. spongicola* après 46,65 m.

Coraux

Le mauvais état de conservation des coraux (débris) a néanmoins permis de reconnaître plusieurs genres de scléractiniaires solitaires *Sphenotrochus* sp., au moins deux espèces de *Dendrophyliidae* dont un *Balanophyllia*, des *Caryophyliidae* et *Astrangiidae* (détermination *H. Zibrowius*). Elle a aussi permis de découvrir, pour la première fois dans des sédiments du Pliocène français, des coraux appartenant à la famille des stylallastéridés (genre *Stylaster* probable, fig. 24). S'il s'agit bien du genre *Stylaster*, le milieu doit être relativement profond (peut-être 80 à 100 m).

Annélides

Plusieurs fragments de polychètes serpulidés ont été rencontrés. Leur détermination spécifique s'est avérée difficile.

Bryozoaires (A. Rosso)

Généralités

Le nombre de débris par échantillon varie beaucoup surtout à la base du sondage - de 400 (145,1 m) à 900 (118,2 m) - mais où tous les fragments sont de très petite taille. Par contre d'autres échantillons présentent des fragments de dimension supérieure mais en nombre inférieur ; il varie d'une centaine (24,9 m) jusqu'à environ 400 (83,2 m). L'échantillon 73,4 m fait exception, il s'agit d'un sable argileux gris bioclastique plus grossier qui a fourni environ 1200 débris.

L'état de conservation des échantillons n'est pas bon, dans la majeure partie des cas les fragments sont fortement abrasés ; les ornementations ont disparu (raison pour laquelle la majeure partie des celleporiformes sont indéterminables) ; de plus, les fragments peuvent être entièrement polis et d'aspect vitreux. On peut donc émettre l'hypothèse qu'il y a eu soit transport, soit brassage prolongé dans le temps des bryozoaires sur leur lieu de vie.

En outre, quelques exemplaires sont en partie décalcifiés (c'est le cas en particulier de l'échantillon 118,2 m ; l'abondance des fragments très petits est très probablement due à cet état de conservation très particulier) ou parfois fortement recristallisés (surtout les espèces de petites tailles telles que *Cellaria* spp.).

Contenu spécifique

En ce qui concerne la diversité, près de cinquante espèces ont été observées mais peu apparaissent comme dominantes.

La moitié environ des espèces dominantes est présente seulement dans quelques échantillons étudiés et très souvent seulement pour un ou quelques exemplaires (mais souvent il s'agit d'une espèce intéressante du point de vue stratigraphique).

Deux espèces sont toujours présentes en grande abondance (*Hornera frondiculata* et *Metrarabdotos moniliferus*) ; elles varient de 10 % près du sommet à 50 % dans l'échantillon 118,2 m. D'autres espèces sont toujours présentes de bas en haut de la coupe : *Cellaria sinuosa, C. fistulosa, Omalosecosa ramulosa, Hippopleurifera sedgwicki, Melicerita charlesworhtii* et *Cellaria crassa.*

Toutes ces espèces sont généralement présentes en peu d'exemplaires, généralement inférieur à 10 et donc à dominance faible. Les deux dernières espèces citées font exception car elles sont en nombre respectif de 40 à 90 exemplaires et atteignent un pourcentage de 5 % et 10 % dans l'échantillon 118,2 m.

Les sertellidés sont dans un groupe bien représenté (ils ne sont pas encore déterminés au niveau des espèces). Ils sont abondants vers le milieu de la carotte (de 86,9 m à 54,40 m) où ils représentent 40 à 50 % de la population. Par contre, ils sont moins abondants (2 à 16 %) à la base et au sommet, mis à part l'échantillon 17,4 m.

Les échantillons du milieu du sondage sont les seuls dans lesquels sont présents, avec une forte proportion les *Celleporidae* et les *Cellaridae* qui peuvent dans certains cas atteindre 10 %.

En conclusion, on peut dire que les échantillons du milieu de la coupe offrent des bryozoaires plus diversifiés et un nombre d'espèces plus élevées.

Apport environnemental

En ce qui concerne le milieu de vie, les informations ne sont pas très nombreuses parce que nombre d'espèces présentes dans les échantillons sont éteintes. Par contre en ce qui concerne, les espèces actuelles des informations intéressantes sont à noter.

Toutes les espèces sont compatibles avec un milieu circalittoral supérieur (profondeur de 30-40 mètres jusqu'à 80 mètres) qui correspond à la limite de l'optimum de distribution d'*Hornera frondiculata*. Dans cette tranche bathymétrique, vivent normalement *Reptadeonella violacea* et *Omalosecosa ramulosa*, ainsi que *Cellaria sinuosa* et *C. fistulosa*.

Dans le détail, les premières espèces citées vivent sur fond corraligène mais aussi sur fond meuble sur lequel s'installe une biocenose du détritique côtier alors que les deux dernières espèces (*Cellaria sinuosa* et *C. fistulosa*) préfèrent les fonds meubles relativement riches en fraction fine. En ce qui concerne l'hydrodynamisme, l'association des types zoariaux fait penser à un hydrodynamisme de type unidirectionnel faible et parfois faible à modéré. En effet les types érigés rigides (vincullariformes, adeoniformes et reteporiformes) constituent presque toujours 90 à 95 % de l'association ; par contre les membraniporiformes, les celleporiformes et les cellariformes sont nettement sous représentés.

Par contre, au milieu de la coupe, l'hydrodynamisme est plus fort comme l'indique l'augmentation des celleporiformes et des cellariformes.

Apport climatique

Même si des espèces à affinités tropicales sont présentes jusqu'au sommet (*Metrarabdotos moniliferus* et aussi *Steginoporella* spp.), on peut dire que des détériorations climatiques sont déjà très sensibles comme l'indique la présence d'un nombre élevé d'espèces à affinités nordiques même si elles sont présentes en nombre très faible dans les échantillons et pas dans tous les échantillons.

Apport stratigraphique

En ce qui concerne l'aspect stratigraphique, il s'agit probablement du Redonien (*sensu* Buge, 1957) comme l'indique la présence de quelques espèces considérées, par cet auteur, comme typique de l'étage : *Mesenteripora meandrina, Meandropora aurantium, Alveolaria semiovata, Melicerita charlesworthii* et *Cellaria tridenticulata*.

Il est possible d'attribuer l'ensemble des échantillons à la partie supérieure du Pliocène inférieur (des espèces typiques du "crag" Anglais et des Pays Bas sont présentes de la base au sommet telles que *Melicerita charlesworthii*, signalée par Buge et *Cellaria crassa*). Un âge pliocène supérieur basal n'est pas non plus exclu à cause de la présence de quelques espèces (parfois en exemplaire unique) typiques du "Scaldisien" des Pays Bas (Pliocène supérieur de Lagaaij, 1952).

Marqueurs biologiques divers
(M.C. Janin)

Les restes biogènes identifiés dans les frottis (autres que les nannofossiles calcaires) sont indiqués ci-après, par ordre d'abondance décroissante.

Spicules d'ascidies

Des spicules calcaires en rosette du type *Micrascidites* sont présents dans presque tous les échantillons, de la base à 33,10 m (et traces à 20, 17,40 et 16 m) ; ils sont particulièrement abondants à 152,15 ; 148,80 ; 140,60 ; 129,50 et 108 m. D'après les informations fournies par F. Monniot (Laboratoire de Malacologie du MNHN), ces formes ressemblent aux spicules des ascidies de la famille des didemnidae (tuniciers aplousobranches). Certains polycitoridae tropicaux actuels contiennent des spicules comparables, mais de telles espèces ont peu de chance d'avoir vécu près de Carentan au Pliocène. Malheureusement, ces spicules isolés ont une valeur systématique faible, car il ne s'agit pas d'éléments squelettiques sécrétés sous contrôle génétique par les cellules des organismes, mais simplement de précipitations aragonitiques dans le micromilieu particulier constitué par la tunique : des objets comparables peuvent être obtenus *in vitro* par action de chlorure de calcium sur du bicarbonate de sodium en gélose solide. On pourrait donc envisager une origine purement minérale pour ces spicules. Dans le cas présent, il semble toutefois qu'il s'agisse bien de restes de didemnidae, car :

a) des spicules de taille et de forme identiques se retrouvent sur la plus grande partie de la colonne, alors que le microfaciès, reflet des conditions physico-chimiques de la sédimentation, se modifie ;

b) le niveau 119,5 m a livré un exemplaire de spicule discoïdal du type *Neanthozoites*, attribuable d'après F. Monniot, à une forme jeune d'ascidie du genre *Cystodytes* (famille des polycytoridae). Les spicules de ces tuniciers sont des sécrétions internes, et donc de morphologie caractéristique. Les polycytoridae vivent actuellement dans les mêmes milieux que les didemnidae, et leurs spicules se déposent d'ordinaire en association dans les sédiments. Ces spicules d'ascidies sont souvent bien conservés malgré leur fragilité, ce qui exclut un transport sur de longues distances. Leur présence à Carentan suggère un milieu marin franc, à salinité normale (35 ‰), de faible profondeur (0-40 m) et sans turbidité excessive (didemnidae et *Cystodites* sont des animaux fixés de milieux rocheux, craignant les eaux dessalées et trop chargées en particules, où les branchies risquent l'envasement (Monniot et Buge, 1971).

Spicules d'éponges

Nous renvoyons le lecteur au paragraphe "Sédiments meubles" dans lequel une analyse semi-quantitative des spicules d'éponges siliceuses a été effectuée.

Diatomées

Des traces de diatomées sont signalées à 119,50 m ainsi qu'une pennale marine (*Nitzschia*) à 124,70 m.

Radiolaires

Un débris de radiolaire a été trouvé à 126,10 m.

Holothuries

Un sclérite d'holothurie a été observé à 90,90 m.

Interprétation

Dans l'ensemble, le milieu de vie indiqué par ces microfossiles (spicules d'ascidies surtout) est relativement côtier, ce qui explique probablement la rareté des nannofossiles calcaires (profondeur d'eau insuffisante pour le déroulement du cycle biologique complet ?). Les rares coccolithes observés seraient des individus accidentellement apportés du large.

Données de paléobionomie (D. Merle)

Généralités

La malacofaune représente la partie la plus importante de la macrofaune. Elle semble avoir vécu soit à la transition des étages infra et circalittoral (30-40 m), soit dans la partie haute de l'étage circalittoral supérieur (40-60 m). L'usure des coquilles dans de nombreux niveaux est l'indice de transports, donc d'un mélange de plusieurs biocénoses.

De 159.3 à 101.8 m (transition infra-circalittoral)

Le peuplement est dominé par *Chlamys pusio, Chl. varia, Chl. opercularis, Striarca lactea, Barbatia (Acar) clathrata* et *Nucula nucleus*.

Chl. varia, Chl. opercularis et l'endobionte *Nucula nucleus* se retrouvent dans les Sables hétérogènes envasés du golfe de Gascogne (Glémarec, 1978). *Chl. pusio* est considéré par P. Barrier *et al.* (1987) comme caractéristique des fonds détritiques côtiers (circalittoral) du Plio-Pléistocène de Calabre. L'ensemble évoque la transition infra-circalittorale. L'épifaune sessile est abondamment représentée par *Striarca lactea* et *Barbatia (Acar) clathrata* qui vivent sur des fonds consolidés de l'infralittoral et du circalittoral côtier.

Les gastéropodes brouteurs, indicateurs de végétation, sont rares. Le mélange d'espèces mixticoles telles que *Nucula nucleus*, de sabulicoles strictes telles que *Spisula subtruncata* et d'espèces sessiles montre un transport à partir de plusieurs biocénoses.

De 100 à 66 m (circalittoral)

Cette tranche est la plus riche en malacofaune. *Nucula sulcata, Astarte sulcata* et *Pododesmus squamulus* apparaissent et indiquent l'étage circalittoral. Ces espèces sont mélangées à des espèces de l'infralittoral. Parmi celles-ci de nombreux gastéropodes brouteurs (*Bittium reticulatum, Diodora apertura, Emarginula reticulata, Rissoidae*) suggèrent une végétation marine et certains bivalves des fonds graveleux (*Pteromeris corbis* et *Venus casina*).

De 65 à 30 m (transition infra-circalittoral)

On assiste à la disparition de *Nucula sulcata, Astarte sulcata* et *Pododesmus squamulus*.

La composition de ce peuplement indique un retour à des conditions d'environnements voisines de la tranche 159 à 101,80 m. Les gastéropodes brouteurs restent abondants mais moins diversifiés que précédemment. La présence de sabulicoles strictes (*Dosinia lupinus, Acanthocardia echinatum*) indique un mélange avec le peuplement des "Sables fins".

De 29 à 7,9 m (transition infra-circalittoral)

Le peuplement est très appauvri et ne subsistent en abondance que les pectinidae (*Chlamys pusio, C. varia, C. opercularis*). Les brouteurs sont rares et évoquent une nette régression de la végétation marine.

Les marqueurs géochimiques

Géochimie isotopique (^{18}O et ^{13}C) (J. Casanova)

Méthodologie

Les sédiments du sondage de Marchésieux sont constitués dans leur grande majorité de sables coquillers et d'argiles. Compte tenu de la paléobathymétrie du site (< 100 m), et de l'absence des foraminifères planctoniques, la solution retenue a été d'analyser la fraction carbonatée totale (bulk-carbonates). A partir d'un échantillonnage métrique, l'analyse a été conduite suivant un pas de 2 m, dans un premier temps, puis suivant un pas de 1 m afin d'affiner certaines zones de la courbe isotopique. Sur 100 échantillons analysés, seuls les trois premiers (0-5 m) se sont avérés impropres à l'analyse (aucune trace de gaz CO_2 après huit jours d'attaque acide).

Interprétation

Les morphologies des courbes ^{18}O et ^{13}C (fig. 25) sont cohérentes et montrent une tendance à la covariance, classiquement attendue dans un tel milieu épicontinental. L'appauvrissement en ^{18}O intègre à la fois un réchauffement et une amélioration du budget hydrologique. L'appauvrissement synchrone en ^{13}C correspond à la fois aux apports d'eaux continentales et à l'augmentation de la productivité primaire des eaux de surface.

Indépendamment d'éventuelles discontinuités sédimentaires qui pourront être vérifiées par les conclusions des autres disciplines (sédimentologie, palynologie, microfaunes...), la carotte de Marchésieux se divise en deux grandes parties. De zéro à la côte 96 m, la courbe ^{18}O montre une succession de périodes froides puis plus chaudes dont la chronologie reste à préciser. De 96 à 160 m, la courbe ^{18}O ne montre que de faibles variations, elle correspond vraisemblablement à une augmentation considérable du taux de sédimentation.

La méthode d'analyse choisie permet d'identifier clairement une série de cycles de refroidissement et de réchauffement.

Calcimétrie (A. Sanogo, M. Garcin)

Méthodologie

Pour chaque échantillon, le traitement peut être scindé en cinq phases :

1) séchage de l'échantillon à l'étuve pendant 24 heures à 105°C ;
2) broyage de 10 grammes de l'échantillon ;
3) tamisage à 125µm ;

4) prélèvement de 0,25 grammes ;

5) mesure de la calcimétrie sur calcimètre Bernard (deux mesures).

La résolution de l'échantillonnage est de 10 cm ce qui représente environ 1400 échantillons.

Résultats

Six grandes entités ressortent de la courbe calcimétrique (fig. 25) :

1) la première entité concerne les profondeurs de 159,3 m à 126 m, les valeurs y sont relativement stables et décroissent régulièrement de 30 à 40 %. Bien que la tendance à la baisse du taux de CO_3Ca soit très bien marquée, on note la présence de haute fréquence dont l'amplitude est de quelques pour cent conjointement à des variations à moyenne fréquence dont les amplitudes atteignent 30 % ;

2) la seconde comprend l'intervalle 126 m à 89 m, elle s'individualise par rapport à l'ensemble précédent par une brusque remontée du taux de calcium de 10 à 30 %. L'ensemble de l'intervalle lui aussi très stable est compris entre 30 et 20 % avec une tendance à la baisse plus on monte dans la série. Les variations de moyenne fréquence signalée précédemment n'apparaissent plus dans cette unité, par contre, les variations à haute fréquence ont une amplitude plus forte de l'ordre de 5 à 10 % et paraissent assez bien réglées ;

3) la troisième qui va de 89 m à 42 m environ est délimitée à sa base par une brusque remontée de la calcimétrie de 22 % à 70 %. Cette entité a des valeurs comprises entre 40 % et 90 % ; elle se singularise des précédentes par une forte instabilité où les pics sont nombreux. Les variations à haute fréquence y sont beaucoup plus amples que dans les deux entités précédentes. Cinq sous-ensembles y sont aisément discernables. Ils dessinent généralement des cycles croissance-décroissance ou décroissance-croissance dont la fréquence est comprise entre 10 m et 7 m, l'amplitude des courbes ainsi formées est de l'ordre de 10 à 20 % de taux de CO_3Ca. La limite supérieure de cette entité est marquée par une brusque chute de la calcimétrie de 70 % à 20 % environ ;

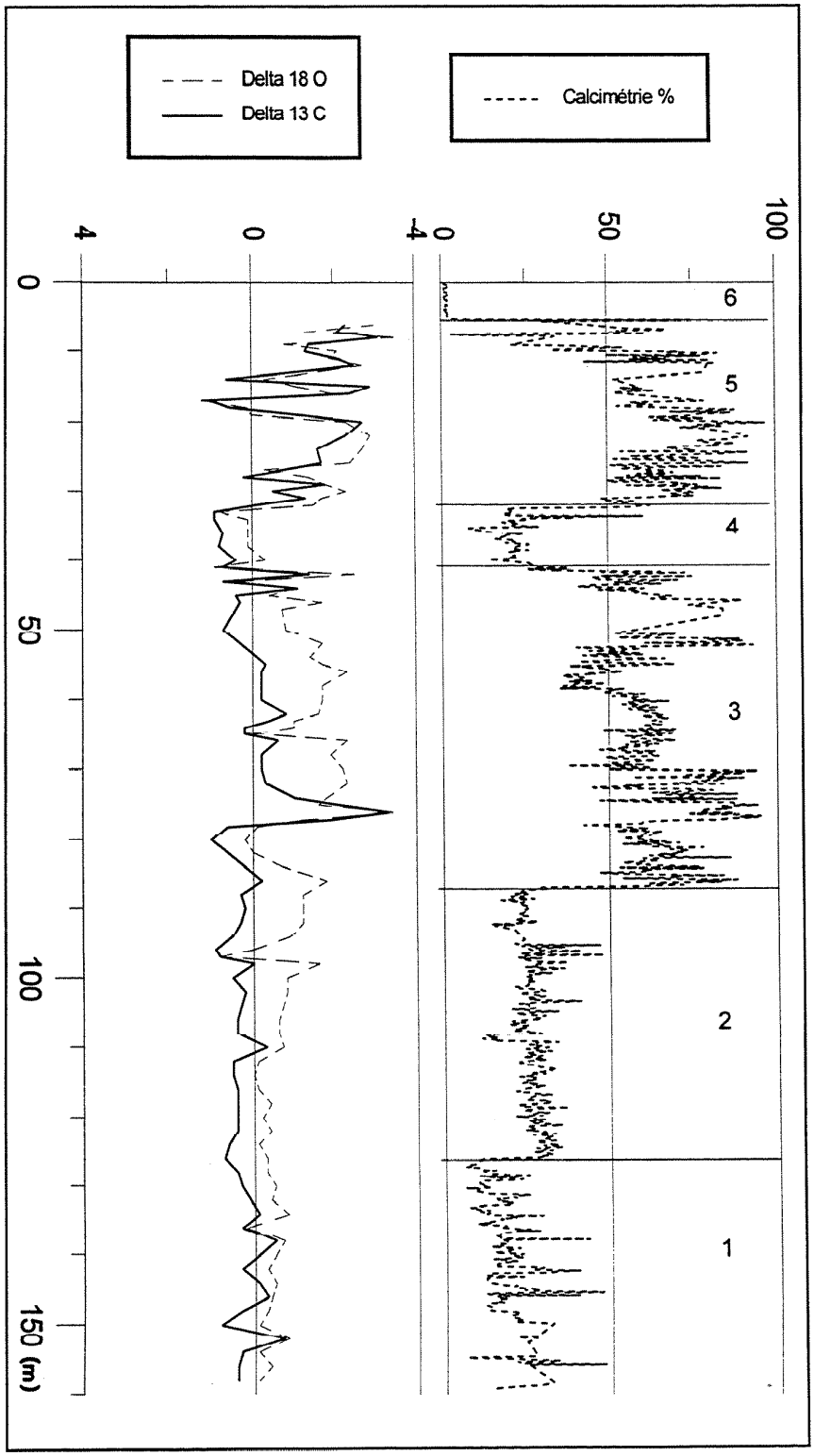


Fig. 25.- Courbes isotopiques ^{18}O,^{13}C et courbe calcimétrique haute résolution (‰ vs PDB).
Fig. 25.- ^{18}O, ^{13}C isotopic curves and high-resolution calcimetric curve (‰ vs PDB).

4) la quatrième entité correspond à l'intervalle 42 m à 32,4 m. Dans cet intervalle, les valeurs sont faibles et oscillent autour de 20 %. La limite supérieure de cet ensemble est dessinée par une brutale remontée du taux à 50 % de CO_3Ca ;

5) le cinquième ensemble de 32,4 à 5 m est caractérisé par des taux élevés de CO_3Ca (généralement bien supérieurs à 60 %). La tendance générale de cette section montre une croissance des taux de 32,4 m à 22,5 m environ puis une décroissance des taux de CO_3Ca.

Les oscillations à haute fréquence sont d'amplitudes fortes et irrégulières surtout dans la partie inférieure de cette unité. Comme dans la troisième entité, des cycles croissance-décroissance de moyenne fréquence sont à noter. La partie terminale est fortement perturbée et montre une très brusque variation du taux de CO_3Ca ;

6) le sixième ensemble de 5,2 m au sommet est caractérisé par de très faibles valeurs en CO_3Ca comprises entre 1 % et 2 %.

Conclusions

De l'étude de ces six unités, deux grands ensembles s'individualisent :

- le premier comprend les unités 1 et 2 de 159,3 à 89 m et correspond dans l'ensemble à des valeurs relativement faibles de CO_3Ca ;

- le second ensemble se différencie par une coupure très nette, les valeurs de CO_3Ca y sont nettement plus fortes et offrent des variabilités beaucoup plus élevées. Des variations de moyennes fréquences (environ 10 m) de l'ordre de 20 % s'y dessinent très nettement.

Une coupure très tranchée s'observe entre 30 et 32,4 m et correspond à une chute brutale de CO_3Ca ; les taux redeviennent ensuite identiques aux précédents.

Une liaison très étroite semble exister entre le paléoenvironnement marin et cette courbe calcimétrique, des tentatives d'extraction de cyclicité au moyen d'analyses spectrales seront tentées une fois qu'une échelle chronostratigraphique aura été constituée pour l'ensemble de la séquence.

Marqueurs physiques

Paléomagnétisme (D. Williamson)

Méthodologie

Environ 500 échantillons, répartis assez inégalement le long de la séquence, en raison de l'état de conservation variable du sédiment, ont été prélevés pour analyse.

Deux types d'analyses ont été effectuées :

- d'une part, la caractérisation des variations de concentration de la fraction de grains magnétiques dans le sédiment ;

- d'autre part, la mesure de l'aimantation rémanente naturelle, afin de tenter d'établir une magnétostratigraphie de la carotte.

La susceptibilité magnétique en champ faible a été mesurée à l'aide d'un susceptibilimètre Bartington MS-2 (la fiabilité de l'appareil est de l'ordre de 10^{-6} unités SI).

Les Aimantations Rémanantes Isothermes (ARI) ont été induites dans un électro-aimant produisant un champ continu de 0,25 Tesla. La désaimantation en champs alternatifs de l'Aimantation Rémanente Naturelle (ARN) a été effectuée à l'aide d'un Schonstedt GSD-1. Les aimantations rémanentes (naturelle et isotherme) ont été mesurées à l'aide d'un rémanomètre rotatif DIGICO, interfacé à un micro-ordinateur Apple. Avant la mesure de l'ARN, tous les échantillons ont été stockés pendant deux semaines dans un bouclier magnétique (champ ambiant inférieur à 0,01 µT). Après mesure, les différents paramètres ont été normalisés par la masse des échantillons.

Susceptibilité magnétique (X, ARI et ARI/X)

Alors que la susceptibilité magnétique dépend surtout des effets conjugués de la concentration des particules magnétiques, l'ARI présente également une forte dépendance inverse vis-à-vis de la taille des grains. Le rapport ARI/X reflète ainsi principalement les fluctuations relatives de taille des grains aimantés (fortes valeurs pour petites tailles).

Les profils de X, ARI et ARI/X présentés sur la figure 26 peuvent être discutés en termes d'environnements sédimentaires. Entre 160 et 130 mètres de profondeur, le milieu de dépôt présente trois pics à forte susceptibilité de ARIs, et à faible ARIs/X Ces niveaux reflètent probablement des épisodes de détritisme accru et une forte énergie de dépôt au sein d'une période de sédimentation calme : les faibles concentrations en grains magnétiques de petite taille (ARIs/X élevés) observées entre 160 et 100 m de profondeur peuvent alors marquer une période de détritisme réduit, éventuellement accompagnée d'une dissolution des grains magnétiques en environnement réducteur (la présence de sulfures de fer dans ces niveaux doit alors être prouvée).

Un changement majeur est observé entre 100 et 90 mètres de profondeur : la susceptibilité de l'ARIs augmente brusquement, alors que le rapport ARIs/X diminue d'un facteur 4 (en présentant toutefois une forte variabilité). Ceci suggère l'apparition de périodes à détritisme accru, accompagnées de l'augmentation de l'énergie du dépôt. Cette déstabilisation du régime de sédimentation se poursuit jusqu'au sommet de la séquence : alternance de niveaux à fortes valeurs de X, ARIs et faibles valeurs de ARIs/X (forte énergie) avec des zones à faibles susceptibilités et ARIs et forts ARIs/X (faible énergie).

Aimantation Rémanente Naturelle (ARN)

Des mesures d'ARN ont été effectuées sur les échantillons présentant le meilleur état de conservation, partiellement débarrassés de leur aimantation parasite visqueuse lors d'un séjour de deux semaines en champ nul. L'intensité de l'ARN est généralement faible, le plus souvent inférieure à la limite de fiabilité du magnétomètre DIGICO (0,5 mA/m). Les échantillons présentant des intensités d'ARN supérieures à 1 mA/m ont été désaimantés dans un champ alternatif de 15 millitesla (mT), de façon à détruire l'aimantation visqueuse non-éliminée lors du traînage en champ nul. L'azimuth des différentes sections n'étant pas conservé au cours du carottage, les résultats présentés sur la figure 27 ne portent que sur l'inclinaison. Les fortes dispersions observées tout le long de la séquence écartent toute magnétostratigraphie définitive de la séquence étudiée. La tentative d'interprétation magnétostratigraphique proposée sur la figure 27 est basée sur la densité des polarités observées : tout en restant hypothétique, cette interprétation ferait correspondre le changement hydroclimatique majeur de la séquence de Marchésieux ainsi que le

sommet de la séquence à deux périodes de polarité inverse.

Discussion

Cette discussion s'appuie, compte tenu de la médiocrité des enregistrements de l'ARN, sur l'ensemble des arguments stratigraphiques issus des autres disciplines et notamment la palynologie.

De la base de la série jusqu'à 47 m, la séquence se situerait dans la période Gauss et de 47 m au sommet dans celle de Matuyama.

Dans le détail, la série montre :

- de 159,3 m à 147, une polarité normale dont le sommet correspondrait à -3,15 Ma (base du Reuvérien) ;

- de 147 m à 118 m, polarité inverse correspondant à -3,05 Ma (Reuvérien) ;

- de 118 m à 103 m, environ polarité normale dont le sommet serait daté à -3 Ma (Reuvérien) ;

- de 103 m à 90 m, polarité inverse (âge de -2,92 Ma) ;

- de 90 m à 47 m environ, période normale dont le sommet serait daté de -2,48 Ma soit la limite Reuvérien-Prétiglien et le passage dans la période Matuyama ;

- de 47 m à 25 m, période inverse dont une partie est probablement manquante du fait de l'existence d'un arrêt de sédimentation, voire d'un ravinement à -32,4 m. Cet épisode correspondrait au Prétiglien et à la base de Matuyama ;

- de 25 m au sommet, polarité normale (Réunion 1) dont la base est datée à -2,14 Ma, la séquence se situerait alors à la base du Tiglien.

Conclusion

La séquence plio-pléistocène du bassin de Marchésieux permet de distinguer trois périodes majeures dans l'histoire du bassin. Les trois épisodes à fort détritisme observés entre 160 et 130 m de profondeur (et peut être antérieurs à 3 Ma) pourraient marquer des périodes de subsidence accélérée du bassin. Entre 130 et 90 m de profondeur, la remarquable homogénéité des paramètres magnétiques suggère un milieu de dépôt calme et un

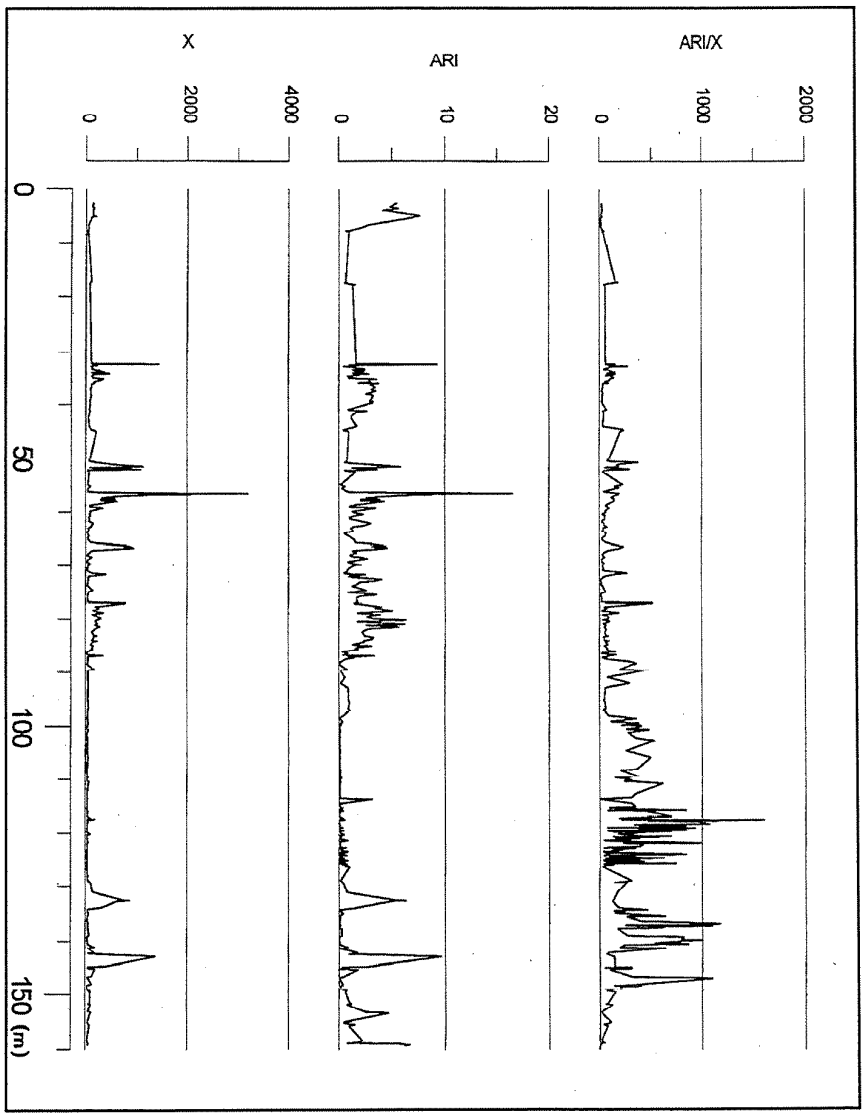


Fig. 26.- Susceptibilité magnétique.

Fig. 26.- Magnetic susceptibility.

détritisme faible. La reprise brutale des apports détritiques à partir de 100 mètres de profondeur ainsi que les fortes variations observées marquent un changement hydro-climatique majeur dans l'histoire du bassin, que nous attribuons *a priori* aux effets d'un glacio-eustatisme dominant globalement à partir d'environ - 2,4 Ma. Compte tenu des hypothèses magnétostratigraphiques les résultats devront obligatoirement être discutés à la lumière des résultats fournis par les autres disciplines ; l'apparition des cycles glaciaires de forte amplitude postérieurs à -0,7 Ma ne serait pas enregistrée dans la séquence de Marchésieux, celle-ci s'interrompant antérieurement à la limite Bruhnes-Matuyama.

Conclusion

Devant la multiplicité des disciplines et de leurs apports dans l'étude du sondage de Marchésieux, nous avons dans un premier temps regroupé les résultats par domaines d'appartenance.

Les résultats sont interprétés sous les aspects stratigraphiques, paléoenvironnementaux (marins et continentaux), paléoclimatologiques ; ils sont synthétisés dans la figure 28. Ces distinctions par domaine vont permettre d'évaluer la réponse, l'impact et les décalages des sollicitations globales sur l'environnement de cette région.

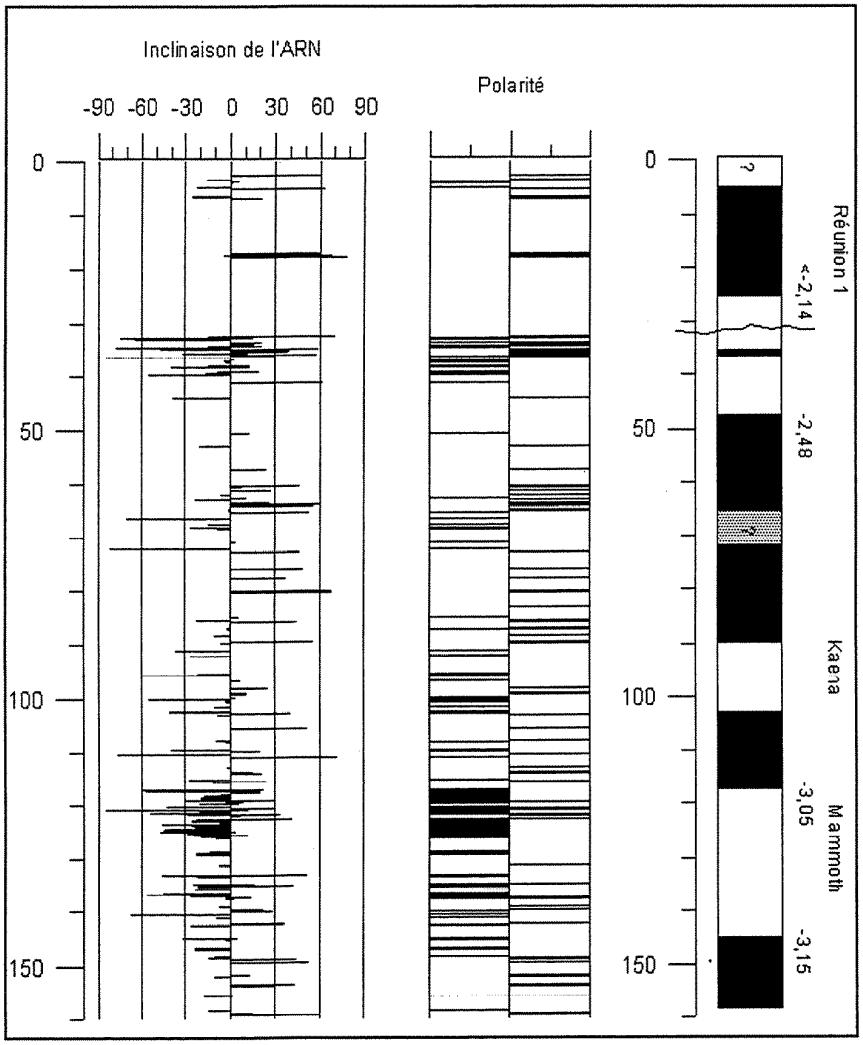


Fig. 27.- Inclinaison de l'Aimantation Rémanente Naturelle (ARN) et interprétation.

Fig. 27.- Inclination of the Natural Remanent Magnetization and interpretation.

Stratigraphie

Nous allons brièvement présenter, dans ce chapitre, les différentes hypothèses stratigraphiques émises par chaque discipline ; pour de plus amples informations concernant l'argumentaire de chaque hypothèse, le lecteur se réfèrera au chapitre correspondant.

Les études biostratigraphiques concernant les foraminifères benthiques ont permis, au travers des critères de répartition et d'associations fauniques, d'attribuer un âge pliocène à l'ensemble de la "Longue séquence" de Marchésieux. Il semblerait que la partie basale du sondage corresponde au Pliocène moyen tandis que la partie supérieure n'atteint pas la limite plio-pléistocène *sensu stricto*.

L'étude de l'ostracofaune fait apparaître une coupure aux environs de 80 m marquant des changements hydrologiques importants induits soit par un cycle transgressif soit par une modification climatique majeure conduisant à l'accentuation des contrastes saisonniers. La première hypothèse, en regard des évaluations de la paléobathymétrie paraît peu probable (*cf.* Paléoenvironnements marins). La seconde hypothèse indiquerait les prémices de dégradations climatiques qui pourraient correspondre à l'initiation de la crise climatique du Prétiglien.

La palynologie, dont la résolution d'étude est la plus fine sur l'ensemble de la carotte, nous propose les attributions stratigraphiques suivantes :

- un âge **reuvérien** du contact avec le Permien (159,3 m) à 35,8 m ;

- un âge **prétiglien** de 35,8 m à 33,00 m.

L'étude des lamellibranches permet d'envisager un âge pliocène moyen à supérieur pour l'ensemble de la série notamment par la présence de formes exclusivement pliocènes à caractères nordiques. Seule, l'analyse des populations des gastéropodes s'oppose à une datation pliocène supérieur en vertu de l'absence de certaines espèces boréales. Un âge pliocène moyen est proposé pour la tranche 80-85 m.

La faune de bryozoaires quant à elle permet d'envisager un âge pliocène inférieur terminal à pliocène supérieur basal/pliocène supérieur comme l'indiquent quelques espèces typiques du Pliocène supérieur des Pays-Bas.

Quant aux données isotopiques, elles montrent clairement un changement de comportement aux environs de 100 m, la variabilité des rapports isotopiques y devenant beaucoup plus forte. Si l'on se réfère à l'enveloppe de cette même courbe (compte tenu de la méthode utilisée qui ne permet pas de raisonner en terme de valeurs absolues) on observe de la base à 80 m environ une tendance au réchauffement, puis de 80 m à 32,4 m une tendance nette vers le refroidissement ; plus haut, de brusques variations des rapports isotopiques sont à noter. Cette forte tendance vers le refroidissement entre 80 et 32,4 m pourrait être rattachée à la dégradation climatique du Prétiglien.

Les données du paléomagnétisme ont permis d'émettre l'hypothèse du passage Reuvérien-Prétiglien dans la zone 80-90 m.

La courbe calcimétrique haute résolution marquerait le passage Reuvérien-Prétiglien à 89 m au travers d'une très brutale remontée du taux de CO_3Ca qui résulte du fait de la précipitation de carbonate de calcium dans les tests des organismes. La partie supérieure du sondage attribuée par ailleurs au Prétiglien montrerait au travers des variations à moyennes et hautes fréquences d'éventuelles cyclicités d'ordre climatique à fortes incidences sur les précipitations de carbonates biogéniques.

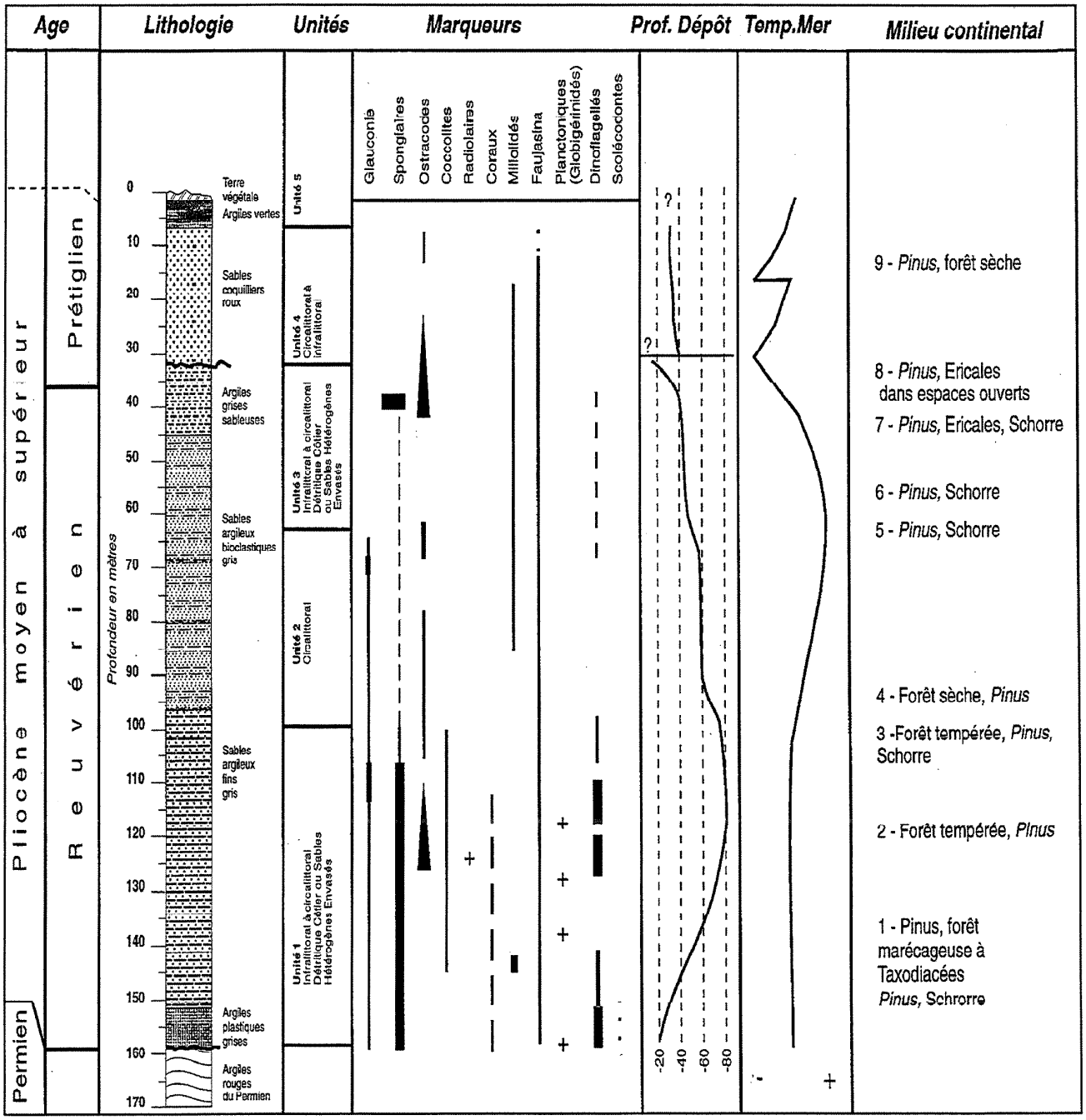


Fig. 28.- Synthèse des résultats de la "Longue séquence" de Marchésieux.

Fig. 28.- Summary of the results from the Marchésieux "Long Sequence".

Sous forme de conclusion, nous pouvons considérer que l'ensemble des disciplines s'accordent à donner **un âge pliocène moyen à supérieur (p.p.) à l'ensemble de la "Longue séquence"**. En reprenant les interprétations issues des études palynologiques, on peut considérer que les profondeurs comprises entre 159,3 m et 35,8 m sont d'âge **reuvérien** tandis que la partie sommitale est attribuable au **Prétiglien**. Les âges absolus correspondants s'échelonneraient entre 3,35 Ma et 2,1 Ma (fig. 29).

Paléoenvironnements marins

D'une façon générale, les sédiments traversés par le sondage, du contact avec le Permien jusqu'au sommet sont caractéristiques des dépôts marins de milieu circalittoral supérieur à infralittoral inférieur c'est-à-dire correspondant à des bathymétries comprises entre au moins 80 et 30 m. Nous avons toutefois signalé le contact ravinant (32,4 m) entre les sables calcaires bioclastiques du sommet (Faluns de l'Abbaye des Bohons) et les sables argileux gris de la Formation du Bosq-d'Aubigny. Ce ravinement, dont l'importance est capitale dans l'interprétation de la "Longue séquence" de

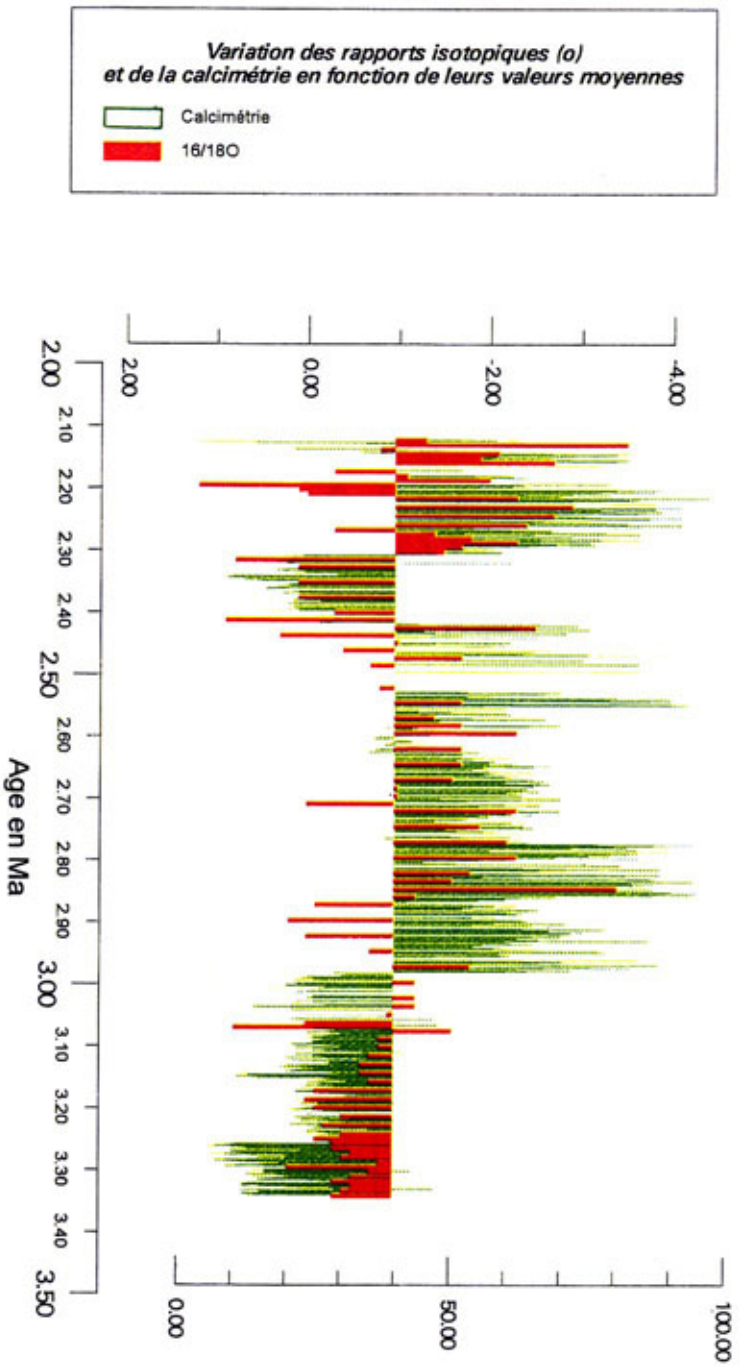


Fig. 29.- Variation des rapports isotopiques (O) et de la calcimétrie en fonction de leurs valeurs moyennes.

Fig. 29.- Variation in oxygen isotopic ratios (O) and calcimetry relative to their mean values.

Marchésieux indique une période d'érosion des sédiments réalisée, toutefois sans émersion, par l'action des courants dans une logique régressive.

La "Longue séquence" de Marchésieux peut être divisée en cinq grandes entités ayant des caractéristiques sédimentologiques et biologiques bien tranchées.

Première entité

Elle est comprise entre le contact avec le Permien et 100 m environ. Elle est constituée de sables argileux, homogènes, pauvres en bioclastes. Les argiles du sédiment situé à proximité du contact socle-remplissage ont une composition minéralogique à nette prédominance d'illite et à fort pourcentage de chlorites. L'origine probablement détritique de ces argiles évoque la présence, à proximité, d'un socle cristallin, qui a subi une altération atmosphérique et dont les produits ont été faiblement transportés puis redéposés lors de la mise en eau du bassin. Le milieu de dépôt de cette entité correspond d'abord à la limite circalittoral-infralittoral inférieure puis circalittoral supérieur, c'est-à-dire à des bathymétries de l'ordre de 30 à 40 m puis comprise entre 40 et 80 m. L'environnement est caractéristique du "Détritique côtier" ou des "Sables hétérogènes envasés" à hydrodynamisme plutôt faible et courant unidirectionnel ; le détritisme y semble réduit. La végétation aquatique y est peu développée bien que les ostracodes livrent des formes phythales dominantes. Les fonds à spongiaires (90,90 m), et les bioturbations évoquent un milieu bien oxygéné à salinité normale. La partie supérieure de cette entité (140 à 100 m environ) présente le maximum de richesse en nannofossiles calcaires, au demeurant très peu développés au sein de la coupe, indiquant des échanges plus aisés avec l'océan que dans l'ensemble de la "Longue séquence" qui demeure à très faible océanicité. Du point de vue de la température des eaux, les organismes présents dans cet intervalle indiquent des eaux plutôt fraîches. On notera tout particulièrement le développement des fonds à spongiaires siliceux évoquant les fonds nordiques actuels. Cette observation est confirmée par la courbe isotopique $0^{16}/0^{18}$ qui montre, sur cet intervalle, des valeurs stables à faible variabilité et à tendance plutôt froide.

Deuxième entité (de 100 m à 65 m)

Elle est constituée par un sable argileux hétérogène richement bioclastique et fournissant de nombreux lithoclastes de socle. L'aspect de la faune dans cette entité montre plusieurs familles distinctes : roulées, brisées, bio-érodées et intactes indiquant des transports d'organismes sur le fond. Les spicules d'éponges siliceux ont disparu tandis que les grains de glauconie se font de plus en plus rares. Des débris de bois flottés provenant du continent sont signalés dans les études microfaciologiques et dans les palynofaciès. Cette entité correspond à un milieu circalittoral supérieur probablement moins profond que le pic enregistré dans l'unité précédente mais dont l'énergie de dépôt

est dans l'ensemble nettement plus élevée que celle de la première entité. Cet hydrodynamisme correspondant à des sables vaseux bioclastiques en mouvement sur un fond gravelcux, s'accompagne d'une augmentation des apports détritiques du continent. Les fonds semblent plus riches en végétaux aquatiques comme l'indique la présence d'organismes brouteurs. Ils sont bien oxygénés et des courants riches en apports nutritifs sont probablement présents. La température de l'eau semble augmenter de bas en haut de l'unité ; cette observation est confirmée par la courbe isotopique O^{16}/O^{18} qui montre une tendance générale vers le réchauffement en dépit d'une variabilité beaucoup plus forte que précédemment. En effet, on notera deux pics tendant à indiquer un refroidissement aux profondeurs 97/98 m et surtout autour de 80 m. Les deux pics s'inscrivent toutefois, comme nous l'avons écrit précédemment, dans une tendance vers le réchauffement.

Troisième entité

Cet ensemble s'inscrit entre les profondeurs 65 m à 32,4 m, la limite supérieure de celui-ci correspond au contact ravinant des Faluns de l'Abbaye des Bohons sur la Formation du Bosq-d'Aubigny. Les sédiments de cette unité sont constitués par des sables argileux hétérogènes bioclastiques ; le rapport bio/litho montre une nette tendance à la baisse dans la partie supérieure parallèlement à l'apparition puis à l'augmentation du nombre de spicules d'éponges. Les cortèges argileux se caractérisent à partir de 62 m par l'apparition de minéraux interstratifiés irréguliers non gonflants. La composition de ces cortèges correspondrait essentiellement à un héritage de minéraux détritiques accompagnés par leurs produits de dégradation lors d'altération atmosphérique. Le milieu de dépôt est dans l'ensemble caractéristique du passage circalittoral supérieur à infralittoral inférieur (40/50 m), c'est-à-dire un peu moins profond que dans l'entité précédente. Le type de sédiment caractérise soit le "Détritique côtier" soit les "Sables hétérogènes envasés". Des indices de fonds euxiniques de 65 à 44 m sont à noter ; au-dessus, l'oxygénation du fond ne semble pas présenter de déficience et on constate l'instauration de fonds riches en spongiaires indiquant de surcroît l'existence de courants nutritifs. Ces courants sont vraisemblablement responsables des indices de transport et de mélange de faune. La végétation sous-marine est plus rare que dans l'unité 2 comme l'indique la raréfaction des organismes brouteurs.

D'un point de vue climatique, de nombreux indices d'une dégradation à tendance froide sont indiqués par les organismes (foraminifères, ostracodes, cirripèdes, bryozoaires etc...) et s'accompagne vraisemblablement d'une baisse du niveau marin préfigurant l'arrêt de sédimentation de 32,4 m. L'enveloppe de la courbe isotopique de l'oxygène confirme les indices de refroidissement climatique et montre parallèlement de très fortes variabilités. Il existe donc de bonnes corrélations entre les données naturalistes et isotopiques.

Quatrième entité

Cet ensemble compris entre 32,4 m et 7,2 m est constitué de calcarénites sableuses, hétérogènes et fortement bioclastiques (Formation de l'abbaye des Bohons). Les faciès caractérisent des sables bioclastiques en mouvement sur le fond ; quelques horizons évoquent des fonds plus vaseux. La bathymétrie de cet ensemble peut aussi être rattachée à la transition circalittoral-infralittoral mais probablement un peu moins profond que dans l'entité précédente. On notera la présence de lithoclastes de roches permiennes sur les deux premiers tiers de l'ensemble. Bien que traduisant un milieu de dépôt à énergie forte, des indices de fonds réducteurs ont été notés. La malacofaune, quoique constituant une grande proportion de la roche, est très faiblement diversifiée et essentiellement représentée par des Pectinidae ; l'absence d'organismes brouteurs laisse supposer une végétation sous-marine assez pauvre.

Du point de vue climatique, cet ensemble peut être scindé d'après les courbes isotopiques en deux parties :

- de 32,4 m à 18 m environ où l'on observe une très nette tendance au réchauffement qui est brusquement interrompu aux alentours de 18 m ;

- de 18 m à 7,2 m qui marque une tendance vers le réchauffement bien que la variabilité des valeurs soit très forte.

Cinquième entité

Le dernier ensemble de 7,2 m au sommet est constitué d'argiles verdâtres pour lequel il est bien difficile d'établir un environnement de dépôt. Des foraminifères sont signalés à la base (jusqu'à 5,30 m). La grande abondance de *Pseudo-eponides pseudotepidus* (remaniés ?) pourrait être considérée comme indicative d'une régression (J.P. Margerel, comm. écrite).

Paléoenvironnements continentaux

La diversité des assemblages polliniques rencontrés dans la "Longue séquence" de Marchésieux permet de reconstituer l'environnement végétal, de part et d'autre du Seuil du Cotentin, compte tenu de la répartition actuelle des différents groupements édaphiques et de suivre son évolution (fig. 18). Depuis la mer, se succèdent ainsi les chénopodiacées, caractéristiques du schorre (Gpe 1), puis les plantes herbacées de milieu humide ou aquatiques se développant sur le haut du schorre ou dans les marais côtiers et comprenant principalement les cypéracées (Gpe 2), les taxodiacées de la forêt marécageuse subtropicale, sans doute *Taxodium*, accompagné de quelques *Myrica* et *Symplocos*, (Gpe 3). En contexte tempéré, plus frais, les arbustes caractéristiques de milieu humide, *Alnus*, *Salix* (Gpe 4), font une transition avec la forêt tempérée de milieu drainé, constituée d'éléments subtropicaux : *Liquidambar*, *Pinus* type *haploxylon*, *Engelhardtia*, *Carya*, *Pterocarya* et d'éléments mésothermes de la chênaie mixte : *Quercus*, *Tilia*, *Ulmus*, *Corylus* (Gpe 5). Les éricacées (Gpe 6) occupent les espaces ouverts en période plus froide. Dans l'arrière-pays, se développent les conifères, essentiellement *Pinus* (Gpe 7), et des arbres de stations plus sèches comme *Sciadopitys*, *Tsuga*, *Picea*, *Abies*, *Cedrus* ou plus froides, cupressacées et *Betula* (Gpe 8).

Outre l'arrière-pays à végétation constante, représentée essentiellement par *Pinus silvestris*, l'évolution des paysages de la base au sommet de la séquence est globalement la suivante :

- entre 158,50 et 139,10 m : installation des arbres de la forêt de milieu sec (Gpe 8) et de la forêt tempérée (Gpe 5) avec une phase d'extension de la forêt marécageuse à taxodiacées (Gpe 3 entre 142 et 139 m). Durant cette même période, quelques indices de transport de sable éolien se marquent dans les sédiments par la présence assez fréquente de quartz "ronds-mats" ;

- les taxodiacées régressent et le relai est pris par *Pinus haploxylon* (entre 130 et 110 m) ;

- de 104 à 99 m : extension du schorre (Gpe 1) près du littoral et développement des plantes aquatiques d'eau douce ;

- à partir de 87 m, les taxodiacées régressent ainsi que *Pinus haploxylon* exposant ainsi l'arrière-pays à une érosion plus active qui est responsable de l'arrivée massive de lithoclastes de socle dans le bassin ;

- à partir de 68 m, la végétation arborée diminue sur le continent : progression de la lande à éricacées, développement de l'aulne, des cypéracées, des spores de bryophytes (*Sphagnum*) et de ptéridophytes (fougères). Les feuillus tels *Quercus* régressent. Entre 44 et 35,80 m, la lande à éricacées est à son maximum, aucun indice de transport de sable éolien n'est à noter. Par contre, de 32,4 m à 20 m, on note la très forte reprise des transports de sables par les vents. Cette fréquence peut s'interpréter comme la remobilisation d'un stock important de grains éoliens (dunes ?) accumulés durant l'épisode froid antérieur démontré par la palynologie. Celui-ci en effet conduit à une baisse du niveau marin occasionnant l'émersion de la région (*cf.* la rupture sédimentaire à 32,40 m), exposant ainsi de plus grandes surfaces, par ailleurs moins protégées du fait de la régression de la végétation arborée, à la déflation éolienne.

Les faluns et argiles vertes du sommet de la séquence n'ont pas livré d'assemblages polliniques sauf deux niveaux (17,70 et 17,90 m) qui révèlent une végétation arborée dominée par les gymnospermes (*Pinus silvestris, Sciadopytis* et *Cupressacées*) et restent donc peu interprétables en terme de paléoenvironnement continental.

Références

Barrier P., Casale V., Costa B., Di Geronimo I., Oliveri O., Rosso A. (1987) - La sezione Plio-Pleistocenica di pavigliana (Reggio Calabria). *Boll. Soc. Pal. Ital.*, **25**, n° 2, 107-144.

Beaulieu de J.L., Goeury C. (1987) - Zonation automatique appliquée à l'analyse pollinique : exemple de la Narse d'Ampoix (Puy de Dôme, France). *Bull. Assoc.Etude Quaternaire*, 1, 49-61.

Bernard J., Pons A. (1985) - Contribution à la connaissance de la dispersion pollinique en mer : une étude au large du delta du Rhône. *Sci. Géol.*, **38**-1, 91-98.

Braccini E., Carbonel G., Courbouleix S. (1992) - Ostracodes ; withnesses to the Plio-Quaternary boundary in the North Eastern Atlantic. Abstract, colloque Atlantic General evants during Neogene, 12-15 octobre 1992, Lisbonne, Portugal.

Brébion P., Buge E., Fily G., Lauriat A., Margerel J.P., Pareyn C. (1975) - Le Quaternaire ancien de Saint-Nicolas-de-Pierrepont et Saint-Sauveur-de-Pierrepont (Manche). *Bull. Soc. linn. Normandie*, **104**, 70-106.

Buge E. (1957) - Les Bryozoaires du Néogène de l'Ouest de la France et leur signification stratigraphique et paléobiologique. *Mém. Mus. Hist. Nat.*, **6**, 1-435.

Carriol R.P. (1993) - *Tesseropora* (Cirripedia, Thoracica) du Néogène de la France. *Geobios*, **26**, n° 6, 709-713.

Carriol R.P. (1996) - Les cirripèdes du nord-ouest de la France : marqueurs paléobiologiques du Néogène du domaine atlantique. *Géologie de la France*, n° 3, 56-59.

Chaline J. (1984) - Le Quaternaire : échelles biostratigraphiques, *in* : Debrand-Passard S. *et al.* Synthèse géologique du Sud-Est de la France, Mém. BRGM Fr., n° 125, 523.

Clet-Pellerin M. (1983) - Le Plio-Pléistocène en Normandie. Apports de la palynologie. Thèse 3ème cycle, Géologie, Université de Caen, 135 p.

Clet-Pellerin M. (1984) - Le Pléistocène inférieur en Normandie. Description d'un sondage : le Bosq-d'Aubigny. *Rev. Paléobiol.*, Genève, Volume spécial, 41-53.

Clet-Pellerin M., Morzadec-Kerfourn M.T. (1985) - Palynologie et paléogéographie des sédiments marins reuvériens à tigliens de Bretagne et de Normandie : un essai de synthèse. *Sci. Géol.*, **38**, 73-78.

Courbouleix S., Garcin M., Farjanel G. (1992) - La "Longue séquence" de Marchésieux (Manche) : analyse de la première glaciation plio-quaternaire, 14ème R.A.S.T. Toulouse, résumé, p. 43.

Courbouleix S., Garcin M., Farjanel G., Barrier P., Braccini E., Brébion P., Carbonel G., Carriol R.P., Casanova J., Clet-Pellerin M., Janin M.C., Jolly M.C., Lauriat-Rage A., Merle D., Morzadec-Kerfourn M.T., Rosso A., San Fillipo R., Toumarkine M., Williamson D., Zibrowius H. (1994) - La transition climatique du Plio-Quaternaire : apport de la "Longue séquence" de Marchésieux, résumé, colloque Q1-INQUA/AFEQ, Montpellier, p. 19.

Demeuter F.J., Laga P.G. (1976) - Lithostratigraphy and biostratigraphy based on benthonic foraminifera of the Neogene deposits of northern Belgium. *Bull. Soc. belge Géologie*, **85**, 4, 133-152.

Garcin M., Courbouleix S., Farjanel G. (1991) - La "Longue Séquence" de Carentan. Rapport de fin de sondage. Rapport BRGM, R 32113, GEO SGN 91, 22 p.

Garcin M., Barrier P., Courbouleix S., Farjanel G., Braccini E., Brebion P., Carbonel G., Carriol R.P., Casanova J., Clet-Pellerin M., Janin M.C., Jolly M.C., Lauriat-Rage A., Merle D., Morzadec-Kerfourn M.T., Rosso A., San Fillipo R., Toumarkine M., Williamson D., Zibrowius H. (1993) - La "Longue Séquence" de Marchésieux : reconstitution de paléoenvironnements marins durant le premier cycle glaciaire de l'hémisphère nord. Congrès Français de Sédimentologie. Résumé, Publication ASF, Paris, n° 19, p. 163.

Glèmarec M. (1978) - Distribution bathymétrique et latitudinale des bivalves du Golfe de Gascogne. *Haliotis*, **9**, 23-32.

Jenkins D.G., Houghton S.D. (1987) - Age, Correlation and Paleoecology of the Erth Beds and Coralline Crag of England. *Meded. Wergr. Kwart. Geol.*, **24**, 1-2, 147-156.

Lagaaij R. (1952) - The Pliocene Bryozoa of the Low Countries and their bearing on the marine stratigraphy of the North Sea region. *Med. geol. Stricht.*, (C), 5, 1-233.

Lauriat-Rage A. (1981) - Les Bivalves du Redonien (Pliocène atlantique de France). Signification stratigraphique et paléobiogéographique. *Mém. Mus. nat. Hist. nat.* n.s., (C), Sci. Terre, **45**, 173 p.

Lauriat-Rage A. (1982) - Les Astartidae (Bivalvia) du Redonien (Pliocène atlantique de France). Systématique, Biostratigraphie, Biogéographie. *Mém. Mus. nat. Hist. nat.*, n. s., (C), Sci. Terre, **48**, 118 p.

Lauriat-Rage A. (1986) - Les bivalves du Pliocène de Normandie. *Bull. Mus. nat. Hist. nat.* Paris, (4), **8**, (C), 3-51.

Lauriat-Rage A., Vergnaud-Grazzini C. (1977) - Signification climatologique des Bivalves du Pliocène de l'ouest de la France (Redonien) d'après leur étude biogéographique et isotopique. *C. R. Acad. Sci. Fr.*, Paris, (D), **284**, 2475-2478.

Lauriat-Rage A., Brébion P., Cahuzac B., Chaix C., Ducasse O., Ginsburg L., Pouyet S., Roman J. (1993) - Paleontological data about the climatic trends from Chattian to present along the Northern Atlantic frontage. *Proc. Irst Congr. R. C.A. N.S., Lisboa, Ciencias da Terra (UNL)*, **12**, 167-179.

Le Calvez Y. (1987) - Les Foraminifères du Pliocène de Normandie. *Bull. Mus. nat. Hist. nat.*, Paris, (4), **9**, (C), 123-150.

Margerel J.P. (1968) - Les Foraminifères du Redonien. Systématique, répartition géographique, Paléoécologie. Thèse, Nantes, 207 p.

Margerel J.P. (1970) - Les Foraminifères des marnes à "*Nassa prismatica*" du Bosq- d'Aubigny. *Bull. Soc. Belge Géol., Paleontol. Hydrol.*, Bruxelles, **79**, 2, 133-156.

Margerel J.P. (1971) - L'extension des dépôts redoniens à l'Est de Nantes, dans la région du Louroux-Bottereau. *C.R. Somm. Soc. Géol. Fr.*, n° 6, 323-325.

Monniot F., Buge E. (1971) - Les spicules d'ascidies fossiles et actuelles. *Ann. Pal. (Invertébrés)*, **47**, n° 2, 93-113.

Morzadec-Kerfourn M.T. (1983) - Datation pollinique et conditions de sédimentation de l'argile plio-pléistocène de Lanrinou en Landerneau (Finistère, France). *Bull. Assoc. fr. Et. Quaternaire*, Paris, 1982, 4, 179-184.

Morzadec-Kerfourn M.T. (1989) - Microplancton organique, pollen et spores des argiles pliocènes de Saint-Jean-la-Poterie (Morbihan). *Géologie de la France*, n° 1-2, 55-78.

Pareyn C. (1984) - Les découvertes récentes sur les séries marines néogènes et pléistocènes ouvrent la voie à une conception nouvelle de l'évolution structurale et morphologique de la Basse-Normandie. *In* : "Mélanges A. Journaux", Université de Caen, 215-232.

Pareyn C. (1987) - Sédiments marins néogènes et pléistocènes de Normandie. *In* : Actes du colloque "Paléontologie et formations quaternaires dans le domaine Normandie-Manche" Rouen, 1986. *Bull. Centre Géomorphologie CNRS*, **32**, 127-159.

Peypouquet J.P., Carbonel P., Ducasse O., Farmer M., Lete C., Mourguiart P. (1988) - Le polymorphisme induit par l'environnement chez les ostracodes ; son intérêt pour l'évolution. *Strata, Fr.*, **4**, 13-19.

Raymo M.E., Ruddiman W.F., Backman J., Clement B.M., Martinson D.G. (1989) - Late Pliocene variation in Northern hemisphere ice sheets and north atlantic deep Water circulation. *Paleoceanography*, **4**, n°4, 413-446.

Ruddiman W.F., Raymo M.E., Martinson D.G., Clement B.M., Backman J. (1989) - Pleistocene evolution of northern hemisphere climate, *Paleoceanography*, **4**, n°4.

Shackleton N.J., Backman J., Zimmerman H., Kent D.V., Hall M.A., Roberts D.G., Schnitker D.R., Baldauf J.G., Desprairies A., Homrighausen R., Huddlestum P., Keene J.B., Kaltenback A.J., Krumsiek K.A.O., Morion A.C., Murray J.W., Westberg-Smith J. (1984) - Oxygen isotope calibration of the onset of ice rafting and history of glaciation in the North Atlantic région, *Nature*, Londres, **307**, 620-623.

Shackleton N.J., Hall M.A. (1984) - Oxygen and carbon isotope stratigraphy of Deep Sea Drilling Project hole 552 A : Plio-Pleistocene glacial history, *Initial. Rep. Deep Sea Drill Proj.* **81**, 599-610.

Suc J.P., Zagwijn W.H. (1983) - Plio-Pleistocene correlations between the northwestern Mediterranean region and northwestern Europe according to recent biostratigraphic and paleoclimatic data. *Boreas*, Oslo, 12, 153-166.

Zagwijn W.H. (1960) - Aspects of the Pliocene and early Pleistocene vegetation in the Netherlands. *Mededel. Geol. Sticht.*, C III-1,5, p. 78.

Zagwijn W.H. (1963) - Pollen analytic investigations in the Tiglian of the Netherlands. *Mededel. Geol. St., N.S.*, 16, 49-71.

Zagwijn W.H. (1974) - The Plio-Pleistocene boundary in western and southern Europe. *Boreas*, Oslo, 3, 75-97.

Zagwijn W.H., Suc J.P. - (1984) - Palynostratigraphie du Plio-Pléistocène d'Europe et de Méditerranée nord-occidentales : Corrélations chronostratigraphiques, histoire de la végétation et du climat. *Paléobiologie continentale*, Montpellier, 14 (2), 475-483.

RECOMMENDATIONS TO AUTHORS

Geology of France is a journal aiming at researchers, teachers, those to whom the knowledge of geology is essential to their work and the general interested public in France and elsewhere. It is devoted to the publication of results of projects related to all disciplines of the Earth Sciences, both in France and in the surrounding regions.

Papers may cover fundamental geological knowledge, or be related to specific research or applied geology programmes.

The aim is to cover all aspects of both subsurface and surface geology. By taking into account surrounding regions, studies need not be restricted by national boundaries, but can take into account entire geological entities.

The journal welcomes publications from both French and other authors, both full-length papers and short notes.

MANUSCRIPTS

Three copies of typed manuscript (accompanied by a 3.5'' diskette [PC or Macintosh] in Microsoft Word or revisable format such as RTF) and of the illustrations should be addressed to the Chief Editor. These will be sent to two referees for review. On acceptance, authors will be invited to return the final corrected manuscript (accompanied by a 3.5'' diskette) and the original of the figures.

LANGUAGES

Both French and English are accepted languages for *Geology of France*.

PAPERS

Length

Articles should not exceed 15 printed pages, including illustrations and references.

As an indication, 80 typed lines of 80 characters of spaces correspond approximately to one printed page.

Layout

The Layout of the article should be as follows:

– *Title.*

– *Running title:* maximum of 60 characters, including spaces, when the full title exceeds this length.

– *Author(s):* provide the name, given name (in full), and address (in full) of each author.

– *List of contents.*

– *Abstract* in the language of the text (maximum 2,000 characters, including spaces).

– *Extended Abstract* of between on and two printed pages (about 6,000 to 12,000 characters, including spaces). The Extended Abstract, which will be published in the second language of *Geology of France* (i.e. French or English) should be accompanied, if possible, by a translation into this second language. The Chief Editor will arrange for the translation to be verified or for the original to be translated.

– *Text* of the article.

– *Acknowledgements.*

– *References* for all authors cited in the text and figure/table captions.

– *List of illustrations* (figures, tables and photo plates) with their titles and captions (if possible in both French and English)

– *The illustrations*, each on a separate page.

Technical data

Manuscripts should be typed double-spaced in 12 pt characters on one side only of size A4 paper (21 × 29.7 cm), with approximately 3 cm margins to either side.

The text, including *title* and *author names* should be in lowercase letters, with uppercase being used only where required by normal practice, such as for the first letter of sentences and of proper names.

Standard abbreviations should be used (cm, m, Ma, t, °C, NW-SE, Pb, etc.), and units of measurement should comply with international standards.

Citations

References in the text to other articles should merely indicate the name of the author (or both authors when there are two) followed in parenthesis by the publication date of the article; if the article in question has more than two authors, the expression "*et al.*" should be used (in italics) after the first author; if the citation does not form an integral part of the sentence then the whole reference should be parenthesis – e.g. "according to Köppel (1983), Robert and Kelly (1987a) and Bastos Neto *et al.* (1991) this approach is perfectly valid..." or "... such an approach has been used successfully in other fields (Köppel, 1983; Robert and Kelly, 1987a; Bastos Neto *et al.*, 1991)".

List of References

The References should include all the citations quoted in the text and only those citations. It should list the authors alphabetically and then chronologically when several references by a same author are given. If references are made to different articles by a same author for a given year, these should be distinguished by appending a, b, c etc., to the year (e.g. 1990a). References with more than two authors beginning with the same author (the rest may be different) in the course of a single year, should also be distinguished by adding a, b, c, and so on, to that year.

Citations should be listed as follows and as shown in the examples below: *the name(s)* of the *author(s)*, (each) followed by the author's initial(s) or name; the *date of publication* (in parentheses); then:

for articles in a journal: the full title of the article; the full name of the journal (in italics); the volume number (in bold), and the first and last page numbers.

for books: the full title of the book; the name of the publisher; the number of pages in the book.

for articles in a book or volume of collected papers: the name(s) of the editor(s); the title of the book or volume; the name of the publisher; the first and last page numbers of the article in question.

References should be typed complete with accents in lower case, and should follow the punctuation given in the examples below:

Bastos Neto A., Charvet J., Touray J.-C., Dardenne M. (1991) – Evolution tectonique du district à fluorine de Santa Catarina (Brésil) en relation avec l'ouverture de l'Atlantique. *Bull. Soc. géol. Fr.*, **162**, 503-513.

Deroin J.P., Girault F., Rouzeau O., Scanvic J.Y. (1993) – Cartographie géologique en Velay : aspects méthodologiques de l'étude par télédétection et présentation des résultats. *Géologie de la France*, n° 1, 3-13.

Illustrations (figures, tables, photographic plates)

The original illustrations should only be submitted with the final manuscript. They should each be on a separate sheet and numbered according to the order in which they are cited in the text.

Authors must ensure that all the place names mentioned in the text are shown on the corresponding figures, or that they are cited with reference to another location shown on one of the figures (e.g. "10 km northeast of Paris").

All figures must be submitted on a medium that allows quality reproduction (tracings or black and whited prints). Lines, patterns and lettering must be of a suitable weight and size that they can (if necessary) be reduced to fit one or more columns of a *Geology of France* page; for this reason only graphic scales are acceptable on maps and diagrams.

Tables should, where possible, be prepared so that they can be reproduced directly onto one or more columns of a *Geology of France* page.

Photo plates, in black and white, should be of high quality and no larger than the *Geology of France* effective page size (18 × 25 cm).

Colour reproductions of figures and photo plates are possible at the specific reques (and also at the expense) of the author(s).

Copyright

It is entirely the author's responsibility to obtain permission to use previously published material and the *Geology of France* will request a relevant release form from the author that this has been done.

SHORT NOTES

Scientific and technical communications should not exceed 5 printed pages in length including the text, references and illustrations. The presentation should be outlined above for scientific articles, except that the *abstracts* in French and English should be of the same length and should not exceed 1500 characters (including spaces). The text will be reviewed by a single referee.

CORRECTION OF PROOFS

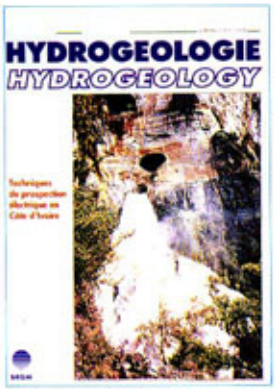
Only one set of proofs will be sent to authors for proof-reading. If a paper has several authors, the proofs will be sent to the author who originally submitted the paper.

Corrected proofs should be returned to the editor within two weeks.

The editor reserves the right to make any necessary corrections, without incurring liability, should the author fail to return proofs within the specified time, thereby jeopardising the publication deadline. Corrections must be limited to typographical errors only.

Offprints

Twenty five offprints will be provided free of charge. If additional offprints are required, these, these will be charged at the rates quoted on the order form send with the proofs.







Revue scientifique et technique, Hydrogéologie est destinée aux spécialistes de l'eau souterraine : chercheurs conduisant des travaux sur les processus hydrodynamiques et géochimistes, modélisateurs, ingénieurs et praticiens de la prospection, de l'exploitation et de la gestion des nappes. Dédiée à un seul objet, l'eau souterraine et ses interfaces, Hydrogéologie publie des travaux concernant aussi bien les milieux de climat tempéré que les zones tropicales et arides.

Les articles peuvent porter sur des avancées dans la connaissance fondamentale et son application, des présentations de nouveaux outils, des études de cas ou encore des synthèses thématiques ou régionales. Régulièrement, la revue publie des numéros thématiques. Elle procède également à des analyses d'ouvrages et à des présentations de séminaires et colloques.

Hydrogéologie is a scientific and technical journal aiming at ground-water specialists, including researchers studying hydrodynamic processes, and geochemists, modellers, engineers and technicians prospecting for, exploiting or managing ground-water. Entirely devoted to ground water and related subjects, Hydrogéologie publishes papers on topics in temperate as well as in tropical and arid zones.

Papers may cover advances made in fundamental knowledge and their applications, introduce new tools, discuss case histories or review particular themes or regions. The journal publishes entire issues devoted to specific themes on a regular basis. It also presents book reviews and covers seminars and conferences.

Prix de vente au numéro :

Année en cours et année précédente : 190 F

Année antérieure (réduction de 50 %) : 95 F

Règlement par chèque bancaire libellé au nom des Éditions BRGM - BP 6009 45060 Orléans Cedex 2

La Chronique de la recherche minière s'adresse aussi bien aux scientifiques qui font progresser les connaissances fondamentales sur la géologie des gîtes minéraux qu'aux géologues d'exploration.

Les contributions proposées à la revue doivent être inédites et traiter de sujets relatifs aux gisements de métaux et de minéraux industriels (descriptions de gisements, synthèses régionales ou thématiques, case histories de découvertes) et à leur prospection (méthodes et outils d'exploration) ; elles peuvent également concerner les méthodes de traitement et l'économie minière.

A côté des articles scientifiques, les communications scientifiques et techniques sont destinées à favoriser la publication rapide de résultats nouveaux sur des sujets qui n'ont pas encore fait l'objet d'études scientifiques détaillées (par exemple une découverte de gisement), ou pour présenter de courtes contributions sur des sujets techniques d'intérêt général.

Chronique de la Recherche Minière is a journal aiming at both researchers studying the fundamental geology of mineral deposits and exploration geologists.

Contributions to the journal must not have been previously published and should cover topics relating to metalliferous and industrial mineral deposits (descriptions of deposits, regional and thematic reviews, case histories of discoveries) and their prospection (methods and tools used); contributions will also be welcome on methods of processing and on mining economics.

Apart from scientific papers, the scientific and technical communications are aimed at enabling rapid publication of new results relating to work which has not yet been the subject of detailed scientific study (for example, the discovery of a deposit), or at providing short contributions on technical subjects of general interest.

Destiné aux chercheurs, enseignants, praticiens, tout public français ou étranger, Géologie de la France a pour vocation de diffuser les résultats de travaux relevant de toutes les disciplines des Sciences de la Terre et concernant le territoire français et les régions voisines.

Ces travaux peuvent relever de la connaissance géologique de base, correspondre à des actions de recherche ou être liés à des opérations de géologie appliquée.

L'objectif est d'appréhender tous les aspects de la géologie du substrat comme ceux de la surface. La prise en compte des régions voisines traduit le souci de ne pas être lié à des limites administratives mais de favoriser la compréhension d'ensembles géologiques cohérents.

Géologie de la France est ouvert à tous, auteurs français et étrangers. La revue accueille tout à la fois des articles importants et des notes brèves.

Géologie de la France is a journal aiming at researchers, teachers, those to whom the knowledge of geology is essential to their work and the general interested public in France and elsewhere. It is devoted to the publication of results of projects related to all disciplines of the Earth Sciences, both in France and in the surrounding regions.

Papers may cover fundamental geological knowledge, or be related to specific research or applied geology programmes.

The aim is to cover all aspects of both subsurface and surface geology. By taking into account surrounding regions, studies need not be restricted by national boundaries, but can take into account entire geological entities.

The journal welcomes publications from both French and other authors, both full-length papers and short notes.

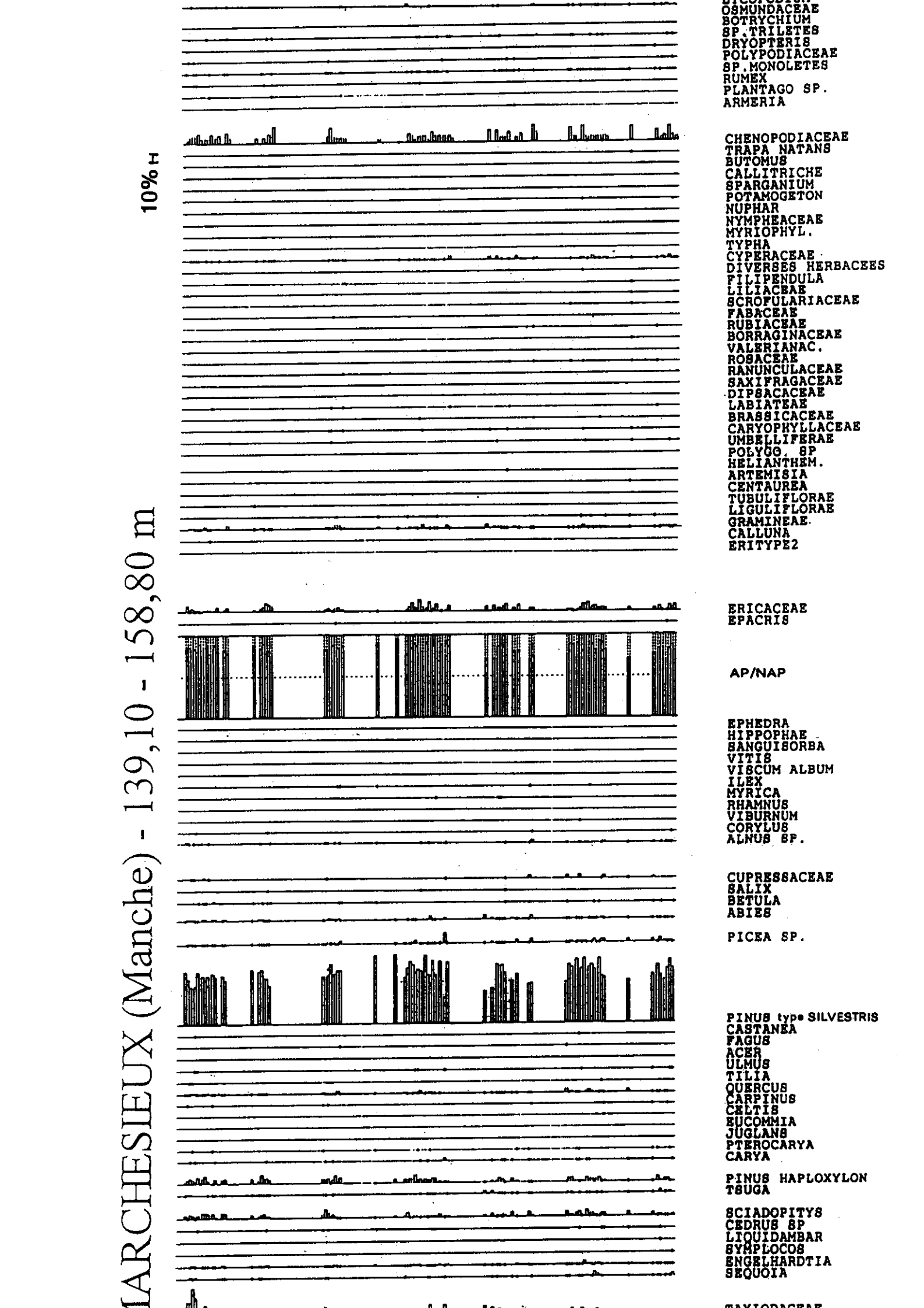

MARCHESIEUX (Manche) - 139,10 - 158,80 m
10% H
OSMUNDACEAE
BOTRYCHIUM
SP.TRILETES
DRYOPTERIS
POLYPODIACEAE
SP.MONOLETES
RUMEX
PLANTAGO SP.
ARMERIA
CHENOPODIACEAE
TRAPA NATANS
BUTOMUS
CALLITRICHE
SPARGANIUM
POTAMOGETON
NUPHAR
NYMPHEACEAE
MYRIOPHYL.
TYPHA
CYPERACEAE
DIVERSES HERBACEES
FILIPENDULA
LILIACEAE
SCROFULARIACEAE
FABACEAE
RUBIACEAE
BORRAGINACEAE
VALERIANAC.
ROSACEAE
RANUNCULACEAE
SAXIFRAGACEAE
DIPSACACEAE
LABIATEAE
BRASSICACEAE
CARYOPHYLLACEAE
UMBELLIFERAE
POLYGO. SP
HELIANTHEM.
ARTEMISIA
CENTAUREA
TUBULIFLORAE
LIGULIFLORAE
GRAMINEAE
CALLUNA
ERITYPE2
ERICACEAE
EPACRIS
AP/NAP
EPHEDRA
HIPPOPHAE
SANGUISORBA
VITIS
VISCUM ALBUM
ILEX
MYRICA
RHAMNUS
VIBURNUM
CORYLUS
ALNUS SP.
CUPRESSACEAE
SALIX
BETULA
ABIES
PICEA SP.
PINUS type SILVESTRIS
CASTANEA
FAGUS
ACER
ULMUS
TILIA
QUERCUS
CARPINUS
CELTIS
EUCOMMIA
JUGLANS
PTEROCARYA
CARYA
PINUS HAPLOXYLON
TSUGA
SCIADOPITYS
CEDRUS SP
LIQUIDAMBAR
SYMPLOCOS
ENGELHARDTIA
SEQUOIA
TAXODACEAE

Fig. 16.- MARCHESIEUX (Manche) - 87,00 - 128,90 m

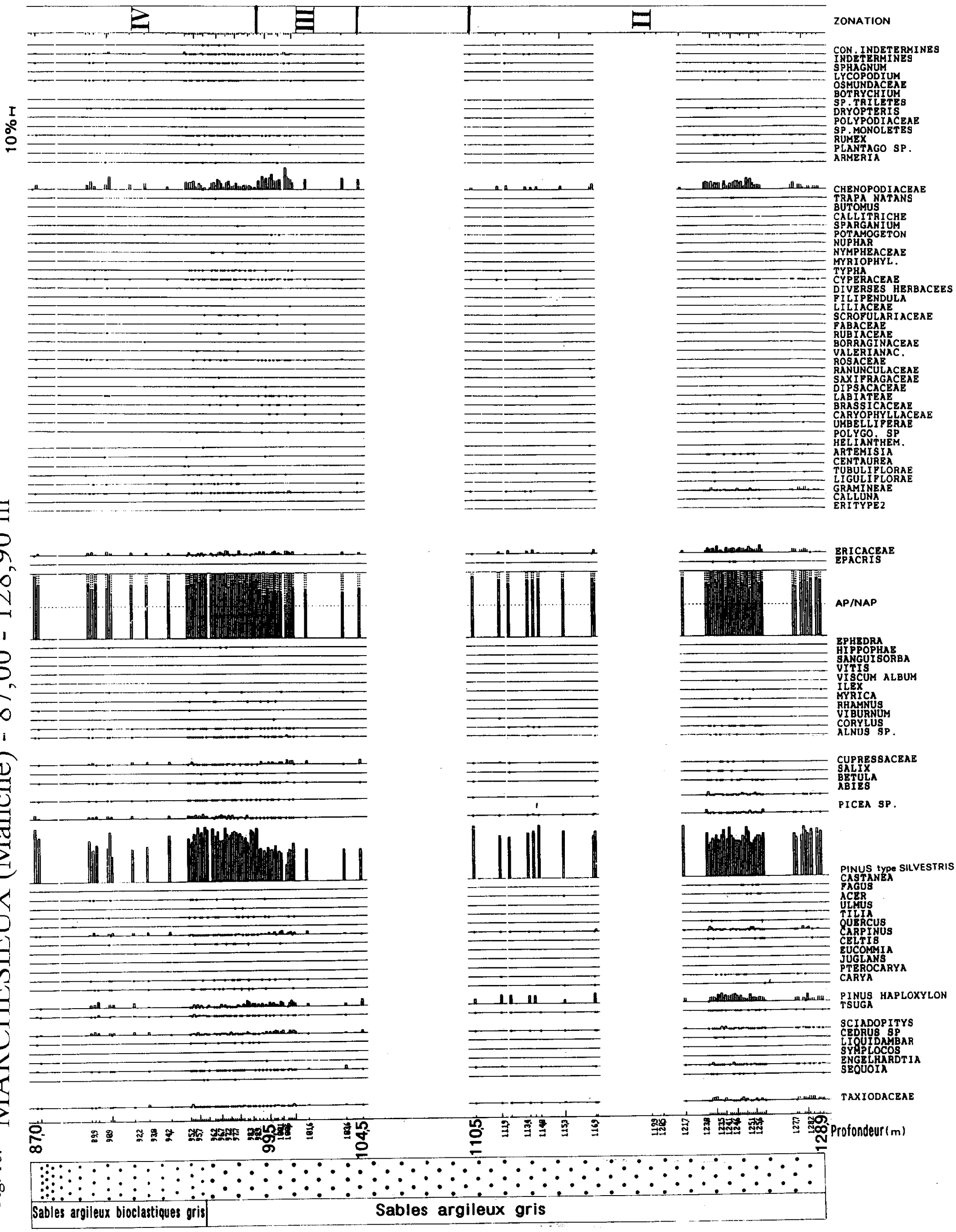


Fig. 17.- MARCHESIEUX (Manche) - 17,50 - 68,50 m

