

Incursions marines dans l'environnement lacustre du rift oligocène de Limagne (Massif central, France) : apport des organismes halophiles et des isotopes du strontium ; datation par les mammifères

ANNE-MARIE BODERGAT¹, DANIELLE BRIOT², MARGUERITE HUGUENEY¹, JEAN-LOUIS POIDEVIN², LAURENT PICOT³, FABIENNE GIRAUD¹, JEAN-PIERRE BERGER³, ALAIN LEVY⁴ et ARMELLE POIGNANT⁴

Mots clés. – Massif central français, Oligocène (Rupélien-Chattien), Marqueurs biologiques, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, Incursions marines.

Résumé. – Une étude pluridisciplinaire de la coupe de Ste-Marguerite (Puy-St-Romain, Limagne de Clermont, Puy-de-Dôme) a permis de localiser précisément dans la série les organismes rencontrés (nanofossiles calcaires, charophytes, foraminifères, gastéropodes, ostracodes, mammifères) – les mammifères signalés pour la première fois fournissent un âge à la limite Rupélien-Chattien –. Une meilleure analyse lithostratigraphique de la coupe et une connaissance plus approfondie des paléoenvironnements mettent en évidence une fluctuation du chimisme des eaux allant de conditions d'eaux douces à saumâtres. La présence simultanée de divers organismes halophiles (foraminifères, coccolithes, dinokystes, *Potamides lamarckii*), jointe aux résultats d'une étude des isotopes du Sr sur ces niveaux – étude qui a montré des chutes des rapports $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ vers la valeur du pôle marin oligocène – vient renforcer l'idée de brèves communications avec la mer, venant d'un des bassins marins, distants de moins de 200 km, à la faveur de transgressions en relation ou non avec des mouvements tectoniques.

Marine ingressions in the Oligocene lacustrine environment of the Limagne rift (French Massif central) : halophilous organisms and strontium isotopes ; dating by mammals

Key words. – French Massif central, Oligocene, Bio- and geochemical data, Marine ingressions.

Abstract. – In the Oligocene lacustrine deposits of the French Massif central (Sainte-Marguerite section), newly discovered fossils afford more accurately defined biostratigraphy and palaeoenvironmental conditions. Previously known palynological and dinocysts frame and new results on calcareous nanofossils, Charophyta, Foraminifera, Gastropoda, Ostracoda, mammals and geochemical results lead to a more precise calibration of the section, and to a better understanding of the palaeoenvironment and palaeogeography. The water chemistry fluctuated from freshwater to brackish conditions but direct relationships with the open sea were certainly difficult ; however levels where *Potamides lamarckii* coincide with foraminifera, coccoliths and dinocysts, and simultaneous drops of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios of chalky laminites toward Oligocene marine values were recognized ; the palaeogeographic interpretation for these concentrations, based on bio- and geochemical data, leads to the reinforced assumption of seaways between the different neighbouring marine basins and the Clermont basin due to tectonic and/or transgressive events.

ABRIDGED ENGLISH VERSION

The Limagne basins – Limagne de Loire and Limagne d'Allier – are located in the French Massif central. They cut roughly North-South parallel furrows in the Hercynian basement; the modern Loire River, to the east, and the modern Allier River, to the west, run through these basins, which underwent more or less parallel evolution. Geological studies and boreholes demonstrate that, from the Eocene to the beginning of the Miocene, a series of small sedimentary basins, more or less isolated from each other, opened from North to South in a plateau area and contained lakes of various sizes. Rapid subsidence led to the deposition of sequences of clastic and carbonate sediments of varying thicknesses. Recent palaeontological discoveries clearly demonstrate that the Lower Oligocene continental strata of Le Puy basin (Limagne de Loire, French Massif Central) which are dated by mammals (Ronzon locality, mammalian standard level MP 21; $\pm 33,5$ Ma) underwent a marine ingression [Turland *et al.*, 1994]. A similar palaeoenvironmental evolution may also be valid for the more recent strata of the Limagne d'Allier.

In the Limagne d'Allier, the Ste-Marguerite cliffs are situated on the Puy-St-Romain, approximately 15 kilometres south-west of Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme); 170 m high, well-bedded deposits outcropping near the Allier River are referred to the Oligocene due to their gastropods and palynological content. These monotonous and generally carbonated layers are interpreted as deposited in a lake. As soon as 1932, Dangeard described coccoliths and miliolids in this section, but without any stratigraphical information. Palynological analysis evidenced several marine dinocysts levels [Gorin, 1974]. In order to solve this problem extensive and pluridisciplinary investigations have been carried out on this section, in order to better understand the palaeoenvironmental conditions: precise stratigraphy, sedimentology, fossil content and geochemical analysis ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$).

The following results are now available:

1) *Palaeoenvironments* : stratigraphy and sedimentology indicate a shallow environment with periodical dessiccations (mud-cracks) and repetitive seismic levels.

2) *Datations* : for the first time, micromammals were found in two layers of the section. In the lower part, a rodent skull attributed to *Issiodoromys* aff. *minor* documents mammalian standard level MP 24 ($\pm 28-30$ Ma) and is considered as Upper Rupelian; this level can be correlated with the mammals of the upper sand levels of the Paris basin (Pierrefitte

¹ ERS 2042 du CNRS, Université Claude Bernard, Lyon I, 69622 Villeurbanne cedex, France.

² UMR 6524 du CNRS, Université Blaise Pascal, 63038 Clermont-Ferrand cedex, France.

³ Institut de géologie, Université de Fribourg, Pérolles, 1700 Fribourg, Suisse.

⁴ URA 1761 du CNRS, Université Pierre et Marie Curie (Paris VI), 75252 Paris cedex 05, France.

Manuscrit déposé le 10 février 1998 ; accepté après modifications le 1^{er} février 1999.

to Ormoys sands). In the uppermost part, *Plesiosorex*, an insectivore whose first occurrence is Chattian, indicates a level at least equivalent of mammalian standard level MP 27.

3) In about ten metres of the lower part of the section, a cluster of halophilous floras and faunas was noticed : several mass-occurrences of monospecific calcareous nannoplankton, monospecific levels with dinocysts or foraminifera (*Haynesina germanica*), and a bed with abundant *Potamides lamarckii* are flanked by seismites. These faunas point to a marine origin as they require saline waters but they may also be interpreted as transported by birds to saline (brackish) lakes. Another explanation could be that they may have become tolerant to very variable saline concentrations in residual environments of remote marine origin.

4) Isotope investigations on coccolithic lamines, however, document several strong decreases in $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ toward Oligocene marine values, precisely at the same time. These low values could be explained by synsedimentary volcanism, but the concomitant cluster of "marine" organisms rather favours the influence of Rupelian marine waters.

This interpretation requires a sudden marine inundation which may be related to the Limagnes rifting and/or to sea-level fluctuations. But as monospecific faunal associations indicate restricted marine conditions, it seems to be likely that these marine connections were not of long duration. The aptitude of these organisms to accommodate very variable saline concentrations can explain their ability to survive in residual environments.

INTRODUCTION

Dans le Massif central, des fossés d'effondrement se forment dès l'Eocène [Blès *et al.*, 1989], les Limagnes : Limagne de Loire et Limagne d'Allier; ils appartiennent au vaste système de rifts intra-continentaux, de direction sub-méridienne, de l'Europe de l'Ouest, contemporain d'une période de déformation en compression dans les Alpes [Bergerat, 1987]. Au sein de ces fossés d'effondrement, la réactivation de fractures fini-hercyniennes NE-SW individualise des grabens de tailles différentes séparés par des seuils : dans la Limagne d'Allier, le seuil de Saint-Pourçain sépare la Limagne bourbonnaise au nord, de la Grande Limagne au sud, qui correspond principalement au bassin de Clermont, lui-même séparé de la Limagne d'Issoire par le seuil granitique de Saint-Yvoine; cette dernière est séparée de la Limagne de Brioude par le seuil de Brassac encore actif au Plio-Pléistocène (fig. 1). Dans ces Limagnes, la subsidence oligocène va permettre le dépôt d'importantes quantités de sédiments (environ 3000 m dans la fosse de Riom), jusqu'au comblement du début du Miocène [Donsimoni et Giot, 1977].

Les affleurements de Ste-Marguerite, situés sur le versant ouest du Puy-St-Romain ($x = 669,35$; $y = 74,225$), permettent de reconstituer la coupe la plus complète de l'Oligocène dans la Limagne de Clermont.

A partir des mollusques, Giraud [1902], dans son travail fondamental sur la Limagne, attribue cette coupe à son Stampien inférieur et moyen à lagunes saumâtres, suivi du Stampien supérieur lacustre. Ultérieurement Rey [1971, 1977] soutient l'écologie marine de *Potamides lamarckii* et l'utilise pour tracer l'origine des venues marines en Limagne.

Dangeard [1931, 1932] signale, sans précision stratigraphique, la présence de coccolithes dans la série de Ste-Marguerite; ceci implique pour lui l'existence d'incursions marines en Limagne, incursions qui lui semblent confirmées par la découverte ultérieure de miliolites [1933]. Cependant Noël *et al.* [1993a, 1993b, 1994] dans une revue consacrée aux dépôts monospécifiques de coccolithes d'âges variés – dont ceux de Ste-Marguerite – émettent l'hypothèse de l'adaptation de ces organismes à des milieux lagunaires. D'autres exemples attestant l'existence d'organismes à caractère thalassoïde dans des environnements continentaux actuels et subactuels [Gasse *et al.*, 1987; Plaziat, 1991; Lévy *et al.*, 1995], l'hypothèse continentale a prévalu dans l'interprétation du milieu des dépôts oligocènes du Massif central ayant livré des organismes euryhalins [Cavelier *et al.*, 1984].

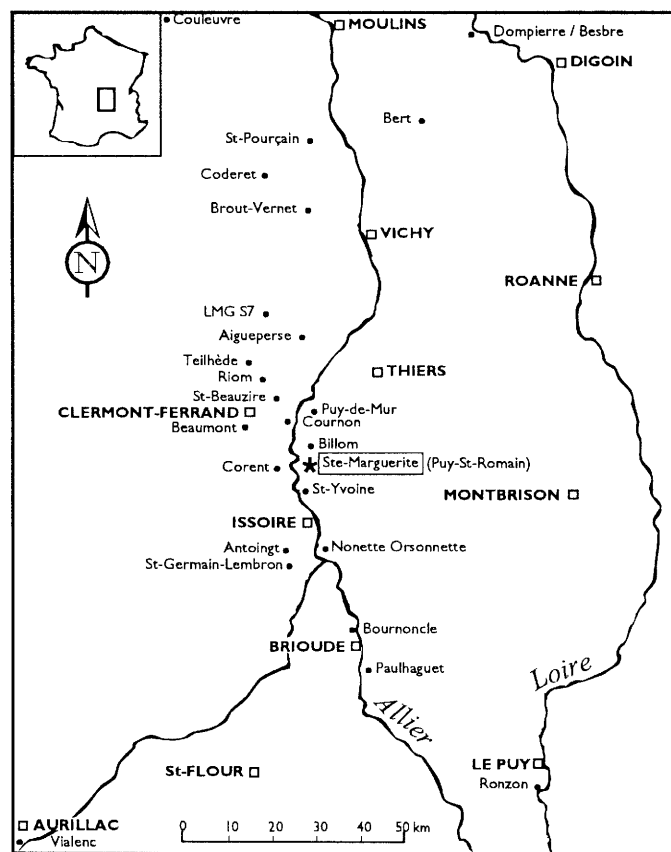


FIG. 1. – Plan de localisation.

FIG. 1. – Location map.

La découverte de débris de radiolaires, d'échinodermes (animaux strictement marins) associés à une faune de foraminifères variés dans la série du bassin du Puy [Turland *et al.*, 1994] plaide, cependant, en faveur d'une incursion marine à la base de l'Oligocène en Limagne de Loire et réactive le débat pour l'ensemble des Limagnes. C'est pourquoi une étude pluridisciplinaire de la coupe de Ste-Marguerite a été entreprise; elle nous semble étayer l'hypothèse de la venue de la mer.

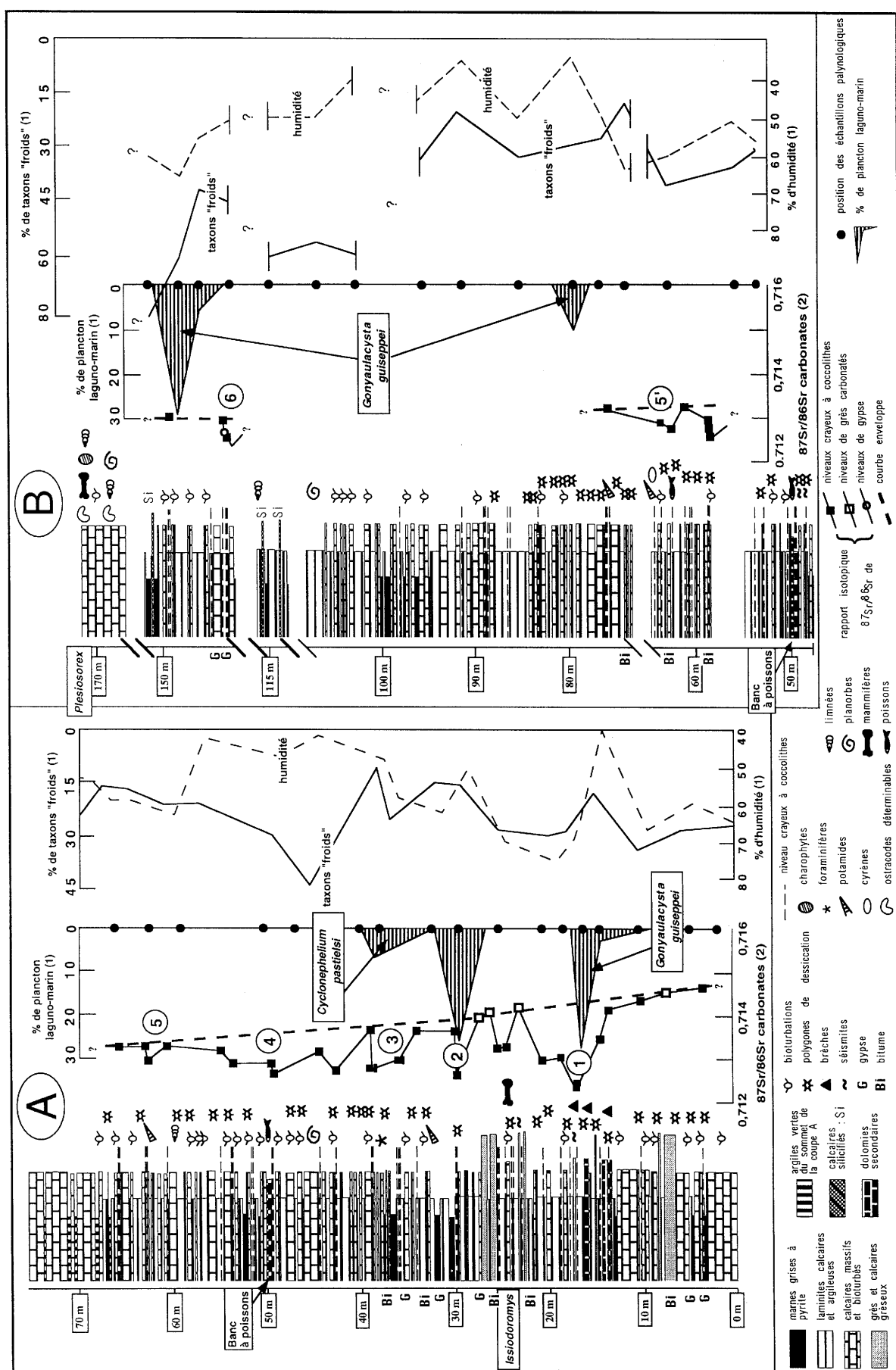


FIG. 2. — Coupe de Ste-Marguerite (Puy-de-Dôme). A : coupe de la route, B : coupe des carrières, corréllée grâce au banc à poissons ; la coupe débute 15 m au-dessus de l'Allier. — colonne lithologique ; organismes ; pourcentages de plancton laguno-marin et de taxons polliniques respectivement « froids » et « humides », d'après Gorin [1974] = (1) ; courbe des rapports $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ d'après Briot et Poidevin [1998], complétée = (2).

FIG. 2. — Ste-Marguerite (Puy-de-Dôme) section. A : road section, B : quarries section, correlated by the fish level, the section begins 15 m above the Allier river. — lithologic log ; organisms ; percentages of brackish dinocysts and of "cold" and "humid" pollinic taxa, after Gorin [1974] = (1) ; $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios values, after Briot and Poidevin [1998] and additional data = (2).

DESCRIPTION ET DATATION DES UNITÉS DE STE-MARGUERITE (fig. 2-3)

Deux portions de coupes distantes de 300 m ont été levées et synthétisées sur la figure 2. La coupe de la route (fig. 2A) est continue et révèle les niveaux inférieurs. La coupe des carrières, plus au nord, (fig. 2B) est discontinue et montre les affleurements des niveaux supérieurs. La mise en correspondance des deux parties est rendue possible par la présence d'un banc à poissons, très caractéristique, visible en haut de la coupe de la route et à la base des carrières (fig. 2A et B). Ces coupes permettent de reconnaître sur plus de 170 m de hauteur des faciès répétitifs de nature généralement carbonatée.

Différents faciès récurrents peuvent être distingués dans cette coupe :

- des calcaires en bancs massifs, souvent bitumineux : calcaires bréchiques ou gréseux, avec parfois des oïdes – à la base de la coupe – et calcaires bioturbés tout au long de la série ;
- des laminites calcaires, réparties également tout au long de la coupe, dans lesquelles on rencontre des associations monospécifiques de coccolithes, ou d'ostracodes, ou de foraminifères ;
- des calcaires marneux, grossièrement lités, s'intercalent toujours entre calcaires bioturbés ou gréseux et laminites ;
- des laminites argileuses à fossiles rares – larves d'insectes, ... – surtout à la base de la coupe ;
- des argiles de couleur gris-vert, tout au long de la coupe, avec rares ostracodes à carapaces épigénisées, difficilement déterminables.

Par ailleurs, l'existence de mouvements tectoniques est enregistrée par deux ensembles de séismites (+ 24 m et + 49 m) caractérisées par des fentes ouvertes en coins verticaux de 50 cm et l'ondulation des sédiments non indurés, moulés et préservés par le sédiment sus-jacent ; ces séismites se suivent latéralement sur plusieurs centaines de mètres ; plusieurs autres niveaux de séismites, plus discrets, sont visibles dans la coupe. Ces séismes dénotent d'une part l'activité tectonique importante du rift de Limagne à l'Oligocène et d'autre part le caractère répétitif de ces événements.

Palynologie

Gorin [1974, 1975] admet en Limagne d'Allier, 4 séquences sédimentaires (A, B, C, D). La séquence A, essentiellement éocène, est datée à sa partie supérieure, dans la Limagne de Brioude, par une faune de mammifères du niveau oligocène de Ronzon (gisement de Bournoncle-St-Pierre, niveau-repère mammalien MP 21, fig. 3).

Dans ces séquences, il distingue 6 zones palynologiques, zone I à zone VI, à partir des variations quantitatives des espèces botaniques rencontrées et des présence/absence d'espèces stratigraphiquement importantes. Sa zone III – plus ou moins équivalente à la séquence C – est définie par l'apparition du genre *Boehlenipollis* et de *Slowakipollis hippophæoides* ; l'espèce *Boehlenipollis hohli* semble apparaître au sommet du Stampien inférieur de façon pratiquement synchrone dans tous les bassins nord-européens. La présence de *Boehlenipollis hohli* et de *Slowakipollis hippophæoides* dès le bas de la coupe de Ste-Marguerite permet donc de la faire débiter dans la zone III et peut-être même pas tout à fait à la base de cette zone. La disparition de ces deux taxons et le développement des pinacées permet d'attribuer le sommet de la coupe à la zone palynologique

IV qui correspond à la séquence D et se trouve corrélée avec le niveau mammalogique de Cournon (MP 28).

B. hohli se trouve également dans toute la série des Marnes à foraminifères et des Schistes à poissons de Bremelbach (Bas-Rhin) [Doebli *et al.*, 1976] et permet une corrélation de la majeure partie de la coupe avec le Rupélien du fossé rhénan. Cette espèce est également connue dans la Molasse marine inférieure (UMM) de Suisse [Hochuli, 1982] ; elle a aussi été décrite par Konzalova et Berger [1992] à la base de la Molasse d'eau douce de Lovagny, gisement daté par les mammifères de MP 23 et par les charophytes de la zone à Major. En Provence méridionale, l'association *Boehlenipollis hohli-Slowakipollis hippophæoides* s'étend sur la durée des niveaux corrélés avec les niveaux-repères à mammifères MP 22 à MP 24 [Cha-teauneuf et Nury, 1994].

Charophytes

Seuls les derniers niveaux – isolés une vingtaine de mètres au-dessus du reste de la coupe – ont livré des charophytes ; à côté d'espèces sans signification biostratigraphique – *Nitellopsis (Tectochara)* groupe *meriani*, *Sphaerochara* gr. *hirmeri* – la présence conjointe de *Lychnothamnus (Rhabdochara)* gr. *praelangeri-major* et de *Chara* gr. *microceranotata* permet d'attribuer ces derniers niveaux soit à la zone à Microcera, soit à la zone à Unger, ce qui correspond aux niveaux à mammifères situés entre MP 24 et MP 28 [Riveline *et al.*, 1996 ; Berger, 1996] (fig. 3).

Gastéropodes

Le gastéropode *Potamides lamarckii* – signalé tout d'abord par Julien [1881] – n'est connu que dans quatre niveaux de la coupe (fig. 2). Dollfus [1923] précise que *P. lamarckii* n'a jamais été rencontré dans les couches les plus basses de l'Oligocène et que son apparition stratigraphique ne se situe pas avant le milieu du Stampien. Il note que, dans le bassin de Paris, on rencontre quelques rares échantillons dans les sables de Fontainebleau inférieurs, à Morigny mais qu'ils sont abondants dès le falun de Vauroux et surtout dans le niveau d'Ormoy (Stampien supérieur) ; les derniers spécimens sont contemporains des premiers « *Helix* » *ramondi* de petite taille à la base des calcaires d'Etampes et de Beauce [Dollfus, 1923 ; Rey, 1966]. Dans le bassin de Mayence, on trouve quelques exemplaires de *P. lamarckii* dans les couches marines de Weinheim-Alzey (où se trouve le gisement-repère de mammifères d'Heimersheim, MP 24 – fig. 3), puis il se développe dans les couches à « *Helix* » *ramondi* mais s'éteint avant d'atteindre l'Aquitainien. En Provence, Nury [1988] signale qu'il a toujours été trouvé au-dessus des couches à Striatelles et souligne son abondance dans un niveau ayant fourni des mammifères du niveau de Coderet (gisement de Venelles, MP 30) ; il a donc persisté ici jusqu'à la fin de l'Oligocène.

Bien qu'il faille considérer *P. lamarckii* plutôt comme un fossile de faciès que comme un réel marqueur stratigraphique, sa présence dans les couches inférieures de la coupe de Ste-Marguerite confirmerait qu'il s'agit d'un niveau plus élevé que l'Oligocène basal. En Limagne, comme dans le bassin de Paris, il est signalé avec les premiers « *Helix* » *ramondi* de petite taille et disparaît ensuite [Giraud, 1902 ; Rey, 1966].

Mammifères (fig. 3)

Jusqu'à présent aucun mammifère n'avait été rencontré dans cette coupe, mais récemment deux restes de mammifères

Bassin de Paris		Bassin de Mayence	Ma	Molasse Suisse/Savoie	Bassins du Sud-Est	Coupe de Ste-Marguerite	Bassins du Massif central	Biozonation Mammifères / Charophytes			
STAMPNIEN SUPERIEUR	Calcaire d'Etampes	CHATTIEN	24,6	Molasse d'eau douce inférieure=USM	Fornant 6	St-Henri, St-André (bassin de Marseille)	cf. <i>Plesiosorex</i> (± 172 m)	Cournon (Allier)	MP 28	zone à Unger	
			25,4		Wynau I			MP 27			
			26,9		Oensingen			St-Menoux (Allier)	MP 26		
			27,8		Bumbach I			Antoingt, Orsonnette, St-Yvoine (Allier)	MP 25		zone à Microcera
			28,5					Vialenc (Aurillac)	MP 24		
STAMPNIEN INFÉRIEUR	S. de Vauroux S. d'Etrecy	RUPELIEN SUPERIEUR	Molasse marine inférieure=UMM	Schleichsand NP 23	St-Martin-Castillon (calc. de Vachères, Apt)	Issiodoromys cf. <i>minor</i> (± 25 m)		MP 23	zone à Major		
								MP 22			
					33,7		St-Pierre-les-Martigues (bassin de Marseille)	Bournoncle-St-Pierre (Al.) Ronzon (Loire)	MP 21	super-zone à Tuberculata	

FIG. 3. – Corrélations entre les gisements de mammifères de différents bassins oligocènes et relations avec les biozonations des mammifères (avec indication du calibrage magnétostratigraphique – Ma – d'après Schlunegger *et al.* [1996]) et des charophytes.

FIG. 3. – Correlations between mammal localities of different Oligocene basins and relationship with mammal and charophytes biozonations; – Ma = indication of the magnetostratigraphic calibration of Schlunegger *et al.* [1996].

fossiles identifiable ont été découverts et permettent de préciser les datations.

– Un crâne du rongeur théridomorphe *Issiodoromys* a été récolté au niveau + 25 m (fig. 2A). La face palatine montre les emplacements des racines des molaires et la moitié labiale de la M³. Cette dent est typique des *Issiodoromyinae*, avec l'interruption de la crête longitudinale [Hugueney et Mödden, 1996]; elle est de petite taille (L = 1,37 mm), ce qui exclut *Pseudoltinomys gaillardi* de Ronzon, qui est plus grand; elle entre dans la répartition des tailles dentaires d'*Elfomys medius* de La Plante 2 jusqu'à *Issiodoromys* aff. *minor* de St-Martin-de-Castillon, mais la comparaison directe avec le matériel de ces gisements montre que l'hypsodontie est déjà élevée et tout à fait comparable à celle de St-Martin-de-Castillon; nous attribuons donc ce crâne à *I.* aff. *minor*. St-Martin-de-Castillon est rapproché du niveau mammalien MP 24-mais un peu plus ancien que la localité-repère, Heimersheim, dans le bassin de Mayence. Ce dernier gisement est situé à la base des «Cyrenenmergel» (marnes à Cyrenes), elles-mêmes corrélées avec la base de la formation-type du Chattien qui contient du nanoplancton (NP 24); un âge de $\pm 28,5$ Ma est attribué à cette base du Chattien par Berggren *et al.* [1995]. La coupe de Ste-Marguerite commence donc dans le Rupélien et recouvre une partie du Chattien. Par rapport au Stampien du bassin de Paris, on peut dire que le niveau à *Issiodoromys* de Ste-Marguerite pourrait plus ou moins correspondre aux gisements de mammifères des sables supérieurs de Fontainebleau (Itteville, Maintenon, Gas) – eux-mêmes subcontemporains d'Heimersheim [Ginsburg et Hugueney, 1987] (fig. 3).

– À 172 m (fig. 2B), la dissolution par l'acide de blocs montrant de rares débris osseux a livré une incisive inférieure fragmentaire qui peut être rapprochée de *Plesiosorex*

soricinoides; cet insectivore de mœurs vraisemblablement aquatiques apparaît à St-Henri, près de Marseille (niveau mammalogique MP 27), gisement corrélié avec le gisement suisse de Wynau I, auquel les études magnétostratigraphiques récentes attribuent un âge de $\pm 25,4$ Ma [Schlunegger *et al.*, 1996].

SIGNIFICATION PALÉOÉCOLOGIQUE

Les faciès de Ste-Marguerite représentés par les calcaires en bancs massifs (souvent bioturbés) correspondent à un environnement oxygéné et de faible profondeur; la vie benthique y est riche, composée de gastéropodes et d'ostracodes. À l'opposé, les calcaires et argiles laminés pouvaient être attribués à une stratification des eaux du lac et correspondre à des faciès profonds disoxygènes à anoxiques, dépourvus de vie benthique mais la découverte de larves pélagiques de diptères dans plusieurs niveaux d'argiles laminées infirme cette hypothèse: les larves, retrouvées intactes, n'ont pu traverser une colonne d'eau pouvant atteindre plusieurs mètres de profondeur après leur mort sans perdre de nombreux éléments par prédation et dislocation; d'autre part, on observe parfois des fentes de dessiccation au sommet des calcaires laminés; il convient donc d'attribuer aussi une faible profondeur à cette sédimentation laminée.

Les variations de profondeur des milieux de dépôts, enregistrées dans les sédiments, doivent être mises en relation avec les changements de niveau de l'eau du lac. Les polygones de dessiccation impliquent une émergence, renforçant l'idée de la faible profondeur de ces dépôts. Des hausses de niveau sont également enregistrées dans la sédimentation: les calcaires bréchiques comportent de gros intraclastes dolomitiques très plats (jusqu'à 15 cm de long), dans

une matrice calcitique; ils peuvent être interprétés, d'après Freytet [1984] comme des restes de polygones de dessiccation remobilisés et résédimentés dans les calcaires massifs, lors d'une alternance baisse/remontée de niveau du lac.

La majorité des dépôts, de nature finement micritique, correspond à un milieu calme; cependant, dans le tiers inférieur de la coupe, des décharges détritiques en provenance de l'est (minéraux issus du socle du Livradois) traduisent des augmentations momentanées de l'énergie.

FLORES

Dinoflagellés

Gorin [1974] signale le long de la coupe plusieurs niveaux où le plancton laguno-marin est à l'état de populations monospécifiques – alternativement *Gonyaulacysta giuseppi* et *Cyclonephelium pastielsi* – qui peuvent atteindre jusqu'à 30 % du total des microfossiles végétaux (fig. 2). Ces formes marines s'adaptent très bien aux salinités anormales et prolifèrent dans les milieux confinés.

Coccolithes

Dangeard [1931, 1932] signale deux espèces dominantes de coccolithes dans la coupe de Ste-Marguerite; Noël *et al.* [1993a] les attribuent à *Coccolithus pelagicus* et *Reticulofenestra floridana*; on les trouve sur une bonne partie de la coupe, sous forme de lamines blanches millimétriques, monospécifiques, alternant le plus souvent avec des lamines argileuses sombres donnant un aspect varvé (d'où le terme souvent employé de «schistes papyracés»). Dans cette coupe, les lamines blanches sont nombreuses; certaines sont stériles, d'autres, très blanches et tendres, sont fossilifères et monospécifiques. L'état de conservation des coccolithes semble varier en fonction du degré d'induration des lamines, comme Dangeard [1932] le signalait déjà. L'étude au microscope optique et électronique des coccolithes montre que, dans les lamines très tendres, ils sont assez bien conservés, avec la présence de nombreuses coccosphères. Dans les niveaux un peu plus indurés, la préservation est moins bonne, les coccosphères sont absentes, les coccolithes sont souvent fragmentés et montrent des traces de dissolution; ils restent néanmoins bien reconnaissables. Enfin certaines lamines moins crayeuses, plus jaunâtres contiennent également des coccolithes, mais très altérés, présentant de nombreuses traces de dissolution, et difficilement identifiables. Noël *et al.* [1993b], arguant du fait que ces niveaux succèdent dans le temps à la sédimentation évaporitique particulièrement bien représentée dans la fosse de Riom (séquence B in Donsimoni et Giot [1977]), située quelques kilomètres plus au NW, émettent l'hypothèse de la «persistance dans le fond du bassin de lentilles d'eau salée ou bien de la réalimentation en saumures par dissolution du sel précédemment déposé, le changement rapide et total des populations étant imputable à une faible épaisseur du corps d'eau superficiel». Ils attribuent un mode de vie continental à ces formes, malgré leur absence totale des milieux intracontinentaux à salinité variable [Gasse *et al.*, 1987; Tiercelin et Vincens, 1987; Spencer et Patchett, 1997].

Briot et Poidevin [1998] ont réalisé une étude des rapports isotopiques du Sr sur les niveaux crayeux à coccolithes (fig. 2). Il apparaît que les rapports isotopiques $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ mesurés sur différentes lamines, dans un état de préservation variable d'un échantillon à l'autre, montrent d'importantes variations des rapports isotopiques; les lamines dans un bon état de conservation ont des rapports $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ nettement plus bas que les lamines où l'état de conservation est mauvais.

Charophytes

Les charophytes signalées sont dulçaquicoles. Par analogie avec les charophytes actuelles qui ne forment des fructifications calcifiées qu'à très faible profondeur (5-6 m au maximum) nous pouvons déduire que les niveaux où ont proliféré les charophytes ne devaient pas dépasser cette profondeur.

FAUNES

Foraminifères

Dangeard [1933] signale, sans précision de niveau, des Miliolies (*Quinqueloculina*) dans la coupe de Ste-Marguerite – elles n'ont pas été retrouvées –; sa conclusion est qu'«à certaines époques du Stampien, les foraminifères ont donc pullulé dans la région et leur présence témoigne d'influences marines très nettes». Dans les milieux actuels, les miliolidés sont essentiellement indicateurs d'environnements thalassiques littoraux mais également margino-littoraux euhalins [Lévy, 1989]. Cette microfaune est à rapprocher de celle de la formation El Molino, dans les Andes centrales, laquelle est interprétée par Gayet *et al.* [1993] comme un ensemble de dépôts mis en place dans un environnement continental communiquant périodiquement avec la mer. Coïncidant avec une passée de plancton laguno-marin (fig. 2A), une mince couche monospécifique d'*Haynesina germanica* (plus souvent désignée dans la littérature sous les noms de *Protelphidium anglicum*, *P. depressulum*, *Nonion paraliun*, *N. tisburyensis*) est constituée d'individus en excellent état et sans trace de remaniement. *Haynesina germanica*, foraminifère benthique, se rencontre dans les milieux dessalés, ayant été auparavant en contact avec la mer; il peut s'accommoder de fortes dessalures et sursalures lui permettant de coloniser de nombreux biotopes margino-littoraux où il est capable de subsister fort longtemps. Il est signalé actuellement dans les lagunes du golfe du Lion et les marais salants du delta du Rhône, dans les eaux presque douces du Rio de la Plata (Argentine) et dans les eaux fortement sursalées de l'estuaire de la Casamance (Sénégal) [Lévy, 1989; Lévy *et al.*, 1995]. Il est intéressant de signaler qu'*Haynesina germanica*, espèce connue d'abord dans l'Actuel, a été observée dans le Rupélien aquitain (carrrière de la Souys-Floirac, près de Bordeaux – A.P., travail en cours).

Gastéropodes

On trouve des gastéropodes, en général peu nombreux, sur l'ensemble de la coupe, principalement dans les faciès calcaires à argileux. Seuls quatre niveaux montrent des *Potamidés lamarkii* abondants (fig. 2), en couches monospécifiques dans les faciès laminés. Nury [1988] et Plaziat [1989] dressent un bilan des connaissances sur les potamidés actuels et fossiles: «Les formes actuelles peuplent les milieux à salinité variable laguno-lacustres ou fluvio-marins tropicaux ou méditerranéens chauds,... demandant une eau calme et très peu profonde». «*P. lamarkii* a pu supporter des variations de salinité importante allant jusqu'à la desalure dans le bassin de Paris» [Nury, 1988]. Rey [1972, 1977] soutient, par contre, l'écologie marine de *P. lamarkii* et l'utilise pour chercher à définir le bassin d'origine de la faune maritime de Limagne.

Des planorbes et limnées, formes dulçaquicoles, sont observées dans la moitié supérieure de la coupe; ils sont plus abondants tout au sommet.

Ostracodes

Ils sont répartis sur l'ensemble de la coupe; souvent leur abondance est telle qu'ils forment de véritables ostracodites où les carapaces écrasées sont difficilement déterminables – ce sont les marnes et calcaires à «*Cypris*» de Giraud [1902] –. Ils sont en majorité de forme arrondie, certains en contre-empreinte et d'autres en relief présentent une forme bombée. Au sein de ces populations, on observe dans le tiers inférieur de la coupe un certain nombre de formes du groupe «allongé-convexe», remplacées dans la partie moyenne par des formes «allongé à rectangulaire»; d'après Marmonier *et al.* [1994], les formes allongées pourraient indiquer des milieux pérennes. Trois niveaux ont livré des formes arrondies de petite taille qui pourraient dénoter une instabilité du milieu. Dans la partie supérieure de la coupe, seul existe le groupe «bombé», souvent en abondance, indiquant peut-être un milieu plus stable. Nos résultats sont pratiquement en concordance avec les subdivisions proposées par Grekoff [1953]; celui-ci signale l'apparition de *Cyprinotus* et d'*Ilyocypris* juste après les passées de plancton laguno-marin; ces deux genres se rencontrent actuellement dans les eaux douces à oligohalines.

Seuls les derniers niveaux de la coupe, ont livré des ostracodes identifiables (fig. 2B). L'avant-dernier banc contient *Moenocypris ingelheimensis*, *Ilyocypris* cf. *essertinensis* et *Cypridopsis* sp. Le dernier banc contient les mêmes espèces (hormis *Cypridopsis*) associées à *Pseudocandona fertilis* et *Candona* gr. *fabaeformis*. Ces associations indiqueraient plutôt des environnements d'eau douce. Selon Keen [1975], elles caractérisent des milieux peu profonds (2 à 10 m).

L'inventaire de l'ostracofaune ne révèle aucune forme marine mais certaines espèces d'*Ilyocypris* peuvent vivre dans des eaux légèrement salées.

Insectes

Dans les faciès argileux laminés du tiers inférieur de la coupe, ont été récoltés (déterminations A. Nel) :

- une larve de diptère Stratiomyidae; ces larves sont résistantes aux environnements contraignants, les pupes de ces larves pouvant même supporter la dessiccation; elles peuvent vivre dans des eaux douces, salées ou hydrothermales. D'autres larves, visiblement mortes en masse ont été signalées dans les lames et indiquent des variations brutales et relativement sévères du milieu (déficit en oxygène, par exemple);

- une fourmi ailée, morte lors du vol nuptial.

D'autres insectes ont été signalés dans la coupe, malheureusement sans localisation stratigraphique précise : quelques coléoptères aquatiques (type Dytiscidae) ainsi que des adultes du genre *Plecia* (Diptera, Bibionidae), genre vivant actuellement dans les régions intertropicales et indicateur d'un climat relativement chaud et humide.

Poissons

Il y a deux niveaux à poissons (fig. 2 A-B). *Prolebias* sp. a pu être déterminé dans des lames calcaires à proximité de couches à potamides (Gaudant, *in verbis*). Le genre *Prolebias*, souvent en couches monospécifiques et parfois associé à des *Potamides*, est très abondant dans les marnes gypsifères du bassin d'Aix [Gaudant, 1978]; de l'étude de ces marnes, ayant livré aussi des formes marines, Gaudant déduit «une étendue d'eaux continentales suffisamment proches du rivage marin pour que soit possible la migration d'espèces marines euryhalines».

Mammifères

Les rongeurs Issiodoromyinae sont généralement communs, voire même très abondants dans tous les gisements oligocènes d'Europe du Sud (Allemagne, Suisse, Espagne, France). Du fait de la présence sur leur crâne de bulles auditives hypertrophiées et de la transformation de leur membre postérieur en une patte tridactyle très allongée [Lavocat, 1952], ils sont considérés comme habitant des espaces semi-désertiques.

Ainsi, tout un cortège d'organismes rencontrés le long de la coupe de Ste-Marguerite (dinokystes, coccolithes, foraminifères, *Potamides*, *Prolebias*) indique une probabilité de connexions avec la mer.

INCURSIONS MARINES À STE-MARGUERITE

Arguments biologiques

L'étude stratigraphique précise de la coupe de Ste-Marguerite montre que les éléments halophiles ne sont pas distribués au hasard mais regroupés dans des niveaux jointifs; c'est ainsi que les niveaux à plancton laguno-marin sont associés à des laminites à coccolithes bien conservés, de même que les niveaux riches en *Potamides* (fig. 2).

En particulier, la couche monospécifique à *Haynesina germanica* est encadrée par plusieurs niveaux à coccolithes et une passée de plancton laguno-marin à *Cyclonephelium pastielsi*; les premiers *Potamides* sont situés une dizaine de mètres en dessous. L'existence de ces organismes halophiles variés dans des horizons proches les uns des autres semble bien indiquer un événement particulier dans l'évolution du lac : le chimisme des eaux traduirait des apports riches en sels. Très tôt, Dangeard [1932, 1933] avait interprété ces faunes comme la preuve indubitable d'influences marines mais depuis plusieurs années la signification des faunes halophiles intracontinentales est très controversée. Selon Gasse *et al.* [1987], elles peuvent être apportées par les oiseaux – vecteurs directs ou indirects [Plaziat, 1991]. Ce point de vue n'est pas partagé par Lévy *et al.* [1995] pour qui la présence de foraminifères implique que le milieu de vie ait été, à un moment ou à un autre, de toute évidence en relation plus ou moins proche avec la mer, particulièrement en ce qui concerne les miliolidés; quant à *H. germanica*, sa présence implique l'existence de conditions physico-chimiques euryhalines margino-littorales. Si un certain nombre d'organismes (gastéropodes, foraminifères, ostracodes, diatomées, ...) se rencontrent en milieu lacustre, il faut noter que les coccolithes ne sont jamais signalés dans ces habitats.

La répartition des gisements à *P. lamarckii* (fig. 4) fournit des indications intéressantes : l'absence de cette forme dans l'Oligocène du bassin d'Aquitaine, alors qu'elle est largement répandue sur l'ensemble du territoire français, laisse planer un doute sur la possibilité de son implantation par le passage d'oiseaux migrateurs, le bassin d'Aquitaine présentant, lui aussi, à l'Oligocène des séries lacustres à saumâtres. Il semblerait, par ailleurs, que *P. lamarckii* ne puisse continuer à proliférer que du fait de l'existence d'influences marines même brèves; en effet, *P. lamarckii*, encore abondant dans le Bassin parisien à la base du calcaire d'Etampes et de la meulière de Beauce [Alimen, 1948] disparaît ensuite – et à un niveau plus ou moins équivalent en Limagne, malgré la persistance des lacs – mais il perdure dans le Sud-Est, et pullule dans le gypse d'Aix, où il est associé, à Venelles, à une faune de mammifères de l'Oligocène terminal [Nury, 1988, 1994]; les différents fossiles qui lui sont associés dans ce bassin, en particulier les ale-

vins de poissons du genre marin *Mugil* [Gaudant, 1978] mettent en évidence des milieux à salinité variable, indiquant la proximité de la mer et l'existence de communications avec celle-ci.

Les organismes halophiles récoltés à Ste-Marguerite sont donc regroupés à des niveaux précis; la probabilité d'apports par des oiseaux migrateurs paraît douteuse et des possibilités de communication, au moins temporaires mais peut-être lointaines, avec la mer semblent être la condition de leur installation et de leur pérennité.

Arguments géochimiques (fig. 2A et B)

Trente échantillons de la partie basse de la coupe ont été analysés [Briot et Poidevin, 1998]; pour la partie haute de la coupe, quelques résultats isotopiques inédits sont présentés sur la figure 2B. Les rapports $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ont été mesurés sur la fraction soluble à l'acide acétique de niveaux crayeux blancs, à coccolithes. Les compositions isotopiques des calcites abiotiques de quelques niveaux calcaro-gréseux fluviaux ont également été mesurées [Devineau, 1996]; elles doivent refléter celles des eaux de ruissellement locales durant l'Oligocène. Par ailleurs, des données complémentaires ont été obtenues sur les sites voisins de Corent, plus au Sud-ouest, et de Beaumont-Ceyrat sur la marge occidentale de la Limagne de Clermont (fig. 1); ces résultats isotopiques [Briot et Poidevin, 1997], bien que moins complets et plus difficiles à corréler aux éléments paléontologiques, montrent le même type de variation que ceux de la coupe de Ste-Marguerite et suggèrent donc une évolution identique pour toute la Limagne de Clermont à cette époque.

Sur la figure 2, la courbe des variations isotopiques en fonction de l'altitude peut se décomposer en :

- une courbe enveloppe (fig. 2, en tirets) caractérisée par une diminution régulière des rapports $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de la base vers le sommet de la coupe (de 0,7147 à 0,7130); elle correspond aux carbonates abiotiques des niveaux détritiques et aux niveaux de craie les plus radiogéniques;

- des indentations d'ampleur variable et de répartition quelconque correspondant toutes à des chutes de rapport isotopique par rapport à la courbe enveloppe. Cinq, voire six indentations peuvent ainsi être caractérisées : la première (n° 1, figure 2A) est la plus importante ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,7124$); un seuil où se trouvent plusieurs niveaux détritiques fluviaux fortement radiogéniques la sépare de la seconde anomalie (n° 2, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,7128$); la troisième chute de rapport isotopique atteint également la valeur de 0,7128 (n° 3); les suivantes (n° 4, 5 et 6) sont d'ampleur moindre. Les seuils séparant les indentations n° 2 et 3 ainsi que n° 3 et 4 se placent sur ou très près de la courbe enveloppe. Exception faite de l'indentation n° 4, les remontées des rapports $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ sont toujours extrêmement rapides. Dans la partie supérieure de la coupe (fig. 2B), les mesures réalisées sur les niveaux crayeux de la base de la coupe des carrières permettent de retrouver des variations importantes des rapports $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (de 0,7126 à 0,7133, n° 5') correspondant probablement à l'indentation n° 5 tandis que, vers le sommet, la variation des rapports isotopiques des niveaux crayeux (0,7126 à 0,7130, n° 6) est plus problématique.

Il faut distinguer l'interprétation de la courbe enveloppe et celle des indentations.

La courbe enveloppe associe les carbonates des niveaux fluviaux et les niveaux crayeux les plus radiogéniques. Nous l'interprétons comme l'évolution des rapports $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ des eaux de ruissellement locales, durant le Rupélien terminal/Chattien inférieur. L'absence de corrélations systématiques entre cette courbe enveloppe, régulière, et la complexe évolution climatique locale [Gorin, 1974] nous

conduit, à la lueur des données actuellement disponibles, à préférer l'hypothèse d'une lente modification au cours du temps de la constitution géologique du bassin versant soumis à l'érosion.

Les indentations, chute des valeurs $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, impliquent des apports épisodiques de strontium faiblement radiogénique au niveau du bassin. L'identification de ce pôle n'est pas univoque et nous retiendrons ici trois hypothèses :

- le volcanisme synsédimentaire : la présence de quelques cristaux de clinopyroxène et surtout de gouttes de verres volcaniques dans un niveau de grès de la base de la coupe [Devineau, 1996] démontre une certaine activité volcanique syn-sédimentaire; ces éléments volcano-détritiques pourraient constituer le pôle peu radiogénique responsable des chutes de rapports isotopiques reconnus dans cette étude. Si, a priori, cette hypothèse paraît plutôt séduisante, elle n'explique en rien l'apparition ou la prolifération des organismes laguno-marins durant ces périodes à bas rapport isotopique (fig. 2A et B);

- la remobilisation d'évaporites antérieures, qui a été suggérée par Noël *et al.* [1993b, 1994]. Les faciès laminés à coccolithes et la salinité des eaux du lac de Limagne, durant le Rupélien supérieur, seraient la conséquence de la remobilisation, par les eaux vadoses ou hydrothermales des unités évaporitiques du Rupélien inférieur ou moyen de la fosse de Riom; dans cette hypothèse, pour rendre compte des chutes des rapports $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ enregistrées par les carbonates biogéniques, ces évaporites devraient obligatoirement avoir un rapport isotopique $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ inférieur à 0,712. Cette interprétation sous-entend donc des arrivées d'eaux marines dans le rift de Limagne durant le Rupélien inférieur ou moyen. Les variations des rapports isotopiques des calcaires du Rupélien terminal/Chattien inférieur de Ste-Marguerite témoigneraient alors de mélanges complexes entre deux masses d'eaux continentales (eaux de surface et eaux de percolation) d'histoires, de salinités et de rapports isotopiques différents. Dans cette hypothèse, lors de la sédimentation des niveaux inférieurs de la coupe, les sources salées devaient être pratiquement inexistantes et les eaux douces de ruissellement devaient dominer très largement l'alimentation du lac; puis la part des saumures faiblement radiogéniques et d'origine profonde serait devenue importante et aurait modifié significativement mais épisodiquement la salinité du milieu (à la hausse) et les rapports isotopiques (à la baisse). Chaque nouvel afflux d'eaux profondes pourrait être la conséquence d'une phase de subsidence majeure par extension et donc être directement lié à l'évolution du rift. Se pose le problème de l'ensemencement du plan d'eau par les divers organismes laguno-marins : ces organismes pourraient subsister très localement durant toute la période considérée, à proximité immédiate de quelques rares sources pérennes de saumure ou bien l'ensemencement pourrait s'effectuer par l'intermédiaire des oiseaux migrateurs dès que les conditions de développement deviendraient favorables; nous venons de voir que cette dernière hypothèse, qui pourrait être valide pour certains groupes, rend difficilement compte de la présence des coccolithes, d'*Haynesina germanica* et, peut-être, de *P. lamarkii*. Enfin, cette hypothèse de remobilisation des évaporites de la fosse de Riom pour rendre compte du milieu confiné [Noël *et al.*, 1994] et de la salinité du lac de la Limagne de Clermont ne peut être transposée pour la Limagne d'Issoire et le bassin d'Aurillac (diverticule sud-occidental de la Limagne), tous deux éloignés de la source potentielle de saumure et où le développement des potamidés et foraminifères est pourtant maximal [Rey, 1971];

- les incursions marines : l'eau océanique possédait à l'Oligocène un rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ proche de 0,708 [McArthur, 1994]; elle pourrait donc constituer le pôle peu ra-

diogénique recherché. L'examen de la figure 2A montre qu'il y a parfaite coïncidence entre les indentations négatives n^{os} 1, 2, 3 et le développement maximal du plancton laguno-marin. Sur la figure 2B, on note qu'une perturbation isotopique semble aussi être associée à la dernière période de développement du plancton laguno-marin dans la partie supérieure de la coupe. De plus, les niveaux à potamidés et foraminifères sont généralement localisés dans les zones de bas rapport isotopique. Les baisses brutales de rapports ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr pourraient donc être corrélées avec autant d'incursions marines favorisant l'installation de milieux confinés. Lors des baisses de rapports isotopiques n^{os} 4 et 5, d'amplitude modérée, les caractéristiques du milieu n'auraient pas permis le développement du plancton organique, seuls quelques potamidés auraient pu éventuellement s'implanter.

Comparaisons avec les bassins limitrophes

Dans le bassin de Paris, Aubry [1983] signale comme très abondants dans le Stampien inférieur, plutôt littoral, les espèces de coccolithes récoltées à Ste-Marguerite. Les derniers niveaux du bassin de Paris ayant livré des coccolithes sont les sables de Fontainebleau inférieurs, qui sont placés dans NP 23 (nannoplancton calcaire); les sables de Fontainebleau supérieurs, dans lesquels se trouvent les gisements de mammifères stampiens du bassin de Paris (gisements $\pm$ équivalents au niveau à *Issiodoromys* de Ste-Marguerite; MP 24) n'ont pas livré de coccolithes, pas plus que le calcaire lacustre d'Etampes situé au-dessus : les coccolithes n'ont pas perduré dans cet environnement d'eau douce. Les faunes de foraminifères des mêmes niveaux sont très pauvres et indiquent un milieu euryhalin; elles disparaissent totalement avec le calcaire d'Etampes; *Haynesina germanica* n'est pas signalé. *Potamides lamarckii*, très abondant dans le niveau laguno-marin d'Ormoy et à la base du calcaire d'Etampes, disparaît ensuite [Cavelier *et al.*, 1980]. Les ostracodes signalés sont en majorité marins à saumâtres [Keen, 1972]. Après une période d'alternance se continuant jusqu'à la base du Stampien supérieur (sables marins de Vauroux compris), le bassin de Paris connaît un régime lacustre.

Dans le Rupélien d'Alsace, à Bremmelbach, de nombreux niveaux à coccolithes sont décrits; les auteurs mentionnent des niveaux répétitifs à foraminifères en couches monospécifiques mais aucun foraminifère pouvant être rapporté à *Haynesina germanica* n'est signalé [Doebl *et al.*, 1976]. *Potamides lamarckii* est connu un peu plus au sud, près de Colmar [Dollfus, 1923]. Le niveau des Marnes à foraminifères livre une faune assez variée d'ostracodes marins; par contre les Schistes à poissons – Rupélien supérieur correspondant aux niveaux de Ste-Marguerite –, milieu anoxique souvent faiblement dessalé mais en relation momentanée avec la mer ouverte, n'ont pratiquement pas livré d'ostracodes [Doebl *et al.*, 1976]. Plus au nord dans le bassin de Mayence, la transition Schleichsand-Cyrenemergel (niveaux plus ou moins contemporains de l'*Issiodoromys* de Ste-Marguerite) livre en majorité des formes marines avec cependant quelques *Neocyprideis* qui indiquent des eaux saumâtres [Malz, 1973].

Dans la molasse oligocène de la Suisse occidentale, à côté de nombreux ostracodes strictement marins, appartenant au genre *Cytheretta*, les *Cytheridea* (*C. fallens*, *C. subalpina* et *C. ventricosa*) indiquent de légères dessalures, alors que les *Moenocypris* sont caractéristiques des eaux douces [Carbonnel *et al.*, 1985; Oertli, 1956]. Dollfus [1923] signale

Potamides lamarckii dans plusieurs localités. Dans des niveaux équivalents de ceux de Ste-Marguerite régnaient donc, latéralement ou successivement, des conditions au moins en partie marines et des épisodes d'eau douce, avec association *Potamides*/ostracodes oligohalins.

Dans les bassins du Sud-Est

– **Bassins de la Bresse et de Valence** : la synthèse des données sédimentologiques, géochimiques et paléontologiques [Curial *et al.*, 1988, fig. 1] démontre que ces deux bassins ont connu une évolution parallèle; tous deux ont livré des niveaux à *Boehlensipollis hohli* qui permettent une corrélation palynologique des unités salifères du premier épisode évaporitique avec les incursions marines enregistrées à Ste-Marguerite. Dans les deux bassins on rencontre des couches à foraminifères, cyrènes et potamidés [Cavelier *et al.*, 1984]; en Bresse, parmi les gastéropodes cités, il faut noter *P. lamarckii* et des hélicidés rapportés tout d'abord à «*Helix*» *ramondi* de l'Oligocène supérieur. Guillot et Rey [1969], après révision du matériel, attribuent ces formes à des *Helix* de niveaux plus anciens, équivalents du Stampien supérieur d'Ormoy et des marnes à Cyrènes d'Alsace. Curial [1987, p. 144-145], évoquant les différentes possibilités de formation des sels dans les bassins bressans et valentinois, admet, comme étant la plus probable, une origine marine à partir de la mer périalpine.

Selon nous, cette même incursion marine aurait pu atteindre le bassin de St-Etienne/Montbrison où *P. lamarckii* a été signalé [Dollfus, 1923]; cependant il semble être resté très localisé, n'ayant pas atteint vers le nord le bassin de Roanne – prolongement de celui de Montbrison –. Le problème de son extension plus occidentale vers le bassin de Clermont reste posé.

– **Dans les bassins d'Apt-Forcalquier** [Apostolescu et Guenet, 1992], le calcaire de Vachères, correspondant aux niveaux inférieurs de la série de Ste-Marguerite, a livré une ostracofaune assez variée avec une majorité de formes oligohalines et quelques formes d'eau douce; le genre *Ilyocypris* n'est pas représenté par la même espèce qu'en Limagne; ces auteurs évoquent donc des milieux soumis alternativement à des conditions marines (communication avec un bras de mer péri-alpin) et d'eau douce. Dans les calcaires de Vachères, *Potamides lamarckii* est le gastéropode nettement dominant; dans les marnes sus-jacentes de Viens, qui doivent correspondre au sommet de la coupe de Ste-Marguerite, on voit apparaître *Candona* (*Pseudocandona*) *fertilis*, forme d'eau douce. Dans la coupe de St-Pierrelles-Martignes (bassin de Marseille), les niveaux surmontant le gisement de mammifères oligocène inférieur ont livré à Nury [1988] un possible *Potamides* et deux espèces d'ostracodes, l'une lacustre *Candona* (*Pseudocandona*) *fertilis*, l'autre saumâtre, *Haplocytheridea helvetica*; l'ensemble des données faunistiques et sédimentologiques dénote une influence marine.

Le bassin d'Aquitaine, à peine soumis aux invasions marines durant l'Oligocène, voit dans sa partie sud-est l'installation de lacs ayant livré des *Candona*, formes d'eau douce [Ducasse et Moyes, 1971]. *P. lamarckii* n'y a jamais été signalé.

Dans tous les bassins voisins du rift de Limagne – sauf en Aquitaine – des conditions de milieu et des associations d'organismes très semblables à celles de Ste-Marguerite sont donc décrites, avec une évolution parallèle vers le confinement, mais la plus grande proximité de la mer franche permet d'expliquer beaucoup plus facilement ces alternances.

Origine(s) possible(s) des avancées marines en Limagne

Le débat sur la présence de la mer dans les séries continentales de Limagne remonte fort loin, puisque dès 1810, Brongniart crée le nouveau genre *Potamides* – indiquant ainsi son caractère fluviatile – pour un « cérite » trouvé à Nonette (Puy-de-Dôme) et dédie l'espèce-type à J.B. Lamarck qui, lui, affirmait le mode de vie toujours marin – même avec des dessalures passagères – du genre *Cerithium* (voir historique dans Rey [1977], p. 42-43). Par la suite, les venues marines furent communément admises et Dollfus [1923] dessine une carte des « chenaux de l'Oligocène ». Elles ont été réparties en 3 phases.

– **1^{re} phase** : Oligocène inférieur (Rupélien inférieur; Stampien inférieur à faciès Sannoisien; niveau mammalogique de Ronzon)

Du fait de l'invasion de gastéropodes saumâtres uniquement dans le sud de la Limagne – bassins de Paulhaguet, Brioude – et ne dépassant pas vers le nord Saint-Germain-Lembron, de la similitude de ces formes avec celles des bassins méditerranéens, et de l'épaisseur de plus en plus grande des dépôts vers le sud, Giraud [1902] concluait à une première venue marine par le S-E. Dans le bassin de Brioude, cette phase est datée par les mammifères de Bournoncle-St-Pierre, d'un âge voisin de celui de Ronzon. Nury [1988] retrouve les mêmes formes de gastéropodes (faunes à Striatelles) dans le bassin de St-Pierre-lès-Martigues, à l'ouest de Marseille, dans un milieu dont la salinité est estimée à 15 ‰; la coupe de St-Pierre-lès-Martigues a livré, à sa base, des mammifères du niveau de Ronzon.

A cette première passée marine se rattachent les dépôts du bassin du Puy [Turland *et al.*, 1994] où se trouve la faune mammalogique de Ronzon. Cette incursion trouverait son origine dans le début de soulèvement des Cévennes qui provoque des mouvements d'affaissement dans les Limagnes méridionales [Desprairies, 1963].

Il n'est pas évident que cette voie ait pu continuer à fonctionner pendant une bonne partie du Rupélien; en effet :

– dans le bassin du Puy, les dépôts ne dépassent pas l'Oligocène de faciès Sannoisien (niveaux à Striatelles [Dollfus, 1923]);

– dans le bassin de Paulhaguet, la série « sannoisienne » est moins complète vers le haut que dans celui de Brioude, le prolongeant vers le nord. Desprairies [1963] conclut que la Limagne du sud, en voie d'émersion par basculement en direction du nord, devait être alors coupée de la région méditerranéenne.

Cette première phase marine correspond au sommet de la séquence A de Gorin [1974] qui n'a cependant pas trouvé d'indices marins dans les sondages du bassin de Clermont, ce qui semblerait confirmer que cette incursion n'est pas remontée très haut vers le nord. Par contre, il signale du plancton laguno-marin dans sa séquence B dans les sondages de Brout-Vernet 101 (un peu au N de Vichy) et Aigueperse 101 (dans le bassin de Vichy); ces deux passées – apparemment simultanées – sont accompagnées de *Boehlenispollis hohli*; elles sont franchement plus récentes que le niveau mammalogique de Ronzon et doivent, par conséquent, être postérieures à la venue marine du bassin du Puy. Elles sont antérieures à la base de Ste-Marguerite mais, par contre, doivent être équivalentes d'une partie des dépôts salifères de la fosse de Riom (sondage St-Beauzire 101) qui, malheureusement, sont pratiquement aphytiques sur plus de 300 m – épaisseur correspondant à la série évaporitique proprement dite. Gorin [1974] attribue à ces passées marines une origine méridionale par un basculement vers le Sud. Pour cet auteur, l'apparition massive des pinacées à la base

de la séquence indique la présence dans l'arrière-pays de reliefs qui pourraient correspondre au soulèvement des monts du Forez et de la Montagne bourbonnaise, séparant les bassins de Montbrison et de Clermont.

– **2^e phase** : « Stampien inférieur » de Giraud [1902] = base du Stampien supérieur de Cavelier *et al.* [1980] = Rupélien supérieur [Martini, 1990] = UMM2 [Berger, 1996] (fig. 4)

Pour Giraud [1902], le début de son « Stampien inférieur » représente une phase de transgression des lagunes marines, venant également du S-E; les lagunes saumâtres avec *Potamides lamarckii*, qui remplace les faunes à Striatelles, recouvrent entièrement la région occupée par les lagunes « sannoisiennes » mais s'étendent davantage vers le nord, jusqu'à Clermont-Ferrand. Ensuite seulement, selon Giraud, les relations avec la vallée du Rhône cessent complètement, cette interruption étant postérieure au niveau des gisements de mammifères de Limagne : St-Germain-Lembron, St-Yvoine, Orsonnette, Nonette, Antoingt. L'*Issiodoromys* de Ste-Marguerite représentant un niveau un peu antérieur à ces gisements, c'est cette incursion marine qui serait enregistrée à la base de la coupe de Ste-Marguerite.

Pour Gorin [1974], c'est la séquence C et, dès ce niveau, les apports d'eau marine en Limagne proviendraient du nord (bassin de Paris). A ce moment (falun de Pierrefitte), Gely et Lorenz [1991] placent le maximum de la transgression et la communication du golfe parisien avec la gouttière ligérienne, des mouvements tectoniques dans le nord du bas-

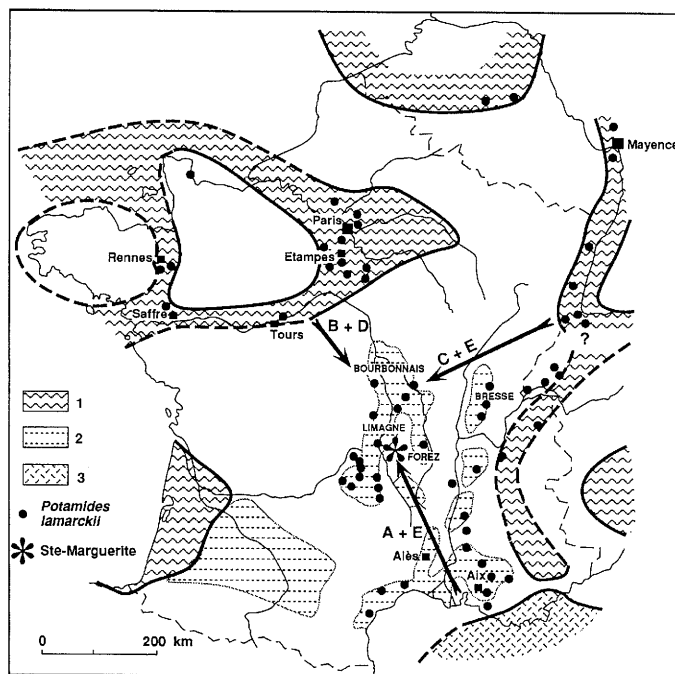


FIG. 4. – Répartition du gastéropode euryhalin *Potamides lamarckii* dans le Rupélien supérieur des différents bassins oligocènes, d'après Dollfus [1923], Alimen [1948] et Rey [1977]. Fond cartographique d'après Pomerol [1973]. 1 – formations marines; 2 – formations lagunaires ou lacustres; 3 – massif corso-sarde. Les flèches indiquent les voies d'invasion marine selon : A – Giraud [1902], B – Alimen [1948], C – Rey [1971], D – Gorin [1974], E – Martini [1990].

FIG. 4. – Distribution of the halophilous *Potamides lamarckii* (Gastropoda) in the Upper Rupelian of the different Oligocene basins (after Dollfus [1923], Alimen [1948] and Rey [1977]). Map after Pomerol [1973]; 1 – marine formations; 2 – brackish/lacustrine formations; 3 – Corsica-Sardinian block. Arrows indicate possible seaways according to : A – Giraud [1902], B – Alimen [1948], C – Rey [1971], D – Gorin [1974], E – Martini [1990].

sin ayant fait migrer le dépôt-centre vers la Beauce; une connexion est donc plausible, même en l'absence de jalons marins. C'est la conclusion à laquelle est arrivée Alimen [1948] du fait de la présence de *Potamides lamarckii* d'une part près de Tours (Indre-et-Loire) et, d'autre part, à Couleuvre (Allier, NW de Moulins).

Cependant Guillot et Rey [1969] et Rey [1971] contestent la détermination de *P. lamarckii* à Couleuvre mais, en se basant sur sa présence à Bert (Allier) et Dompierre-sur-Besbre (Allier) représentent les lagunes à *Potamides lamarckii* de Limagne en liaison (de direction SW-NE par la vallée de la Saône) avec la mer périalpine, le long de l'importante cassure Châtel-Guyon-Bert-Blanzy. D'ailleurs, en Bresse, au NW du seuil de Sennecey-La Serre, des dépôts évaporitiques accompagnés de *Boehlensipollis hohli* sont signalés dans le sondage d'Argilly, près de Beaune (Côte-d'Or); des conditions de sursalure régnaient donc au nord de la Bresse à la même période que dans la Limagne de Clermont [Lefavrais-Raymond *et al.*, 1984]. Les voies de passage vers la Limagne pourraient correspondre à la « zone transformante Rhin-Saône » de Bergerat [1987], zone particulièrement instable à cette époque.

Martini [1990] analyse les directions des influences marines dans la vallée du Rhin (bassin de Mayence) à partir du nannoplancton et des faunes de poissons. Il distingue, dans l'Oligocène de cette région, 3 incursions marines correspondant à des périodes de haut-niveau marin et que l'on peut paralléliser avec ce qui est observé en Limagne : au niveau de sa passée marine 2b – qui semble bien correspondre à la base de Ste-Marguerite – un système de courants apporterait des formes des régions alpines loin vers le nord. Toutefois, pour Berger [1996], les liaisons mer alpine-fossé rhénan ne sont pas assurées à ce moment – malgré la migration vers le nord du front alpin – du fait de la présence de faciès saumâtres et non franchement marins en Alsace; il admet cependant une liaison par le « sillon rauraque » – s'étendant du sud de l'Alsace au lac de Constance – au cours de la zone NP 24 (à laquelle est précisément corrélé le gisement allemand d'Heimersheim, sans doute un peu plus récent que la base de Ste-Marguerite).

– **3^e phase** : « Stampien moyen » + « Stampien supérieur » de Giraud (niveau mammalogique de Cournon) = Stampien supérieur du bassin de Paris = Chattien.

Pour Giraud [1902], c'est seulement à la fin de son Stampien moyen et surtout au Stampien supérieur que les communications s'établissent avec le bassin de Paris et que les lagunes recouvrent alors la Limagne septentrionale.

Il semble difficile à ce moment de faire venir la mer du bassin de Paris : c'est, en effet, la séquence D de Gorin [1974] qui, pour lui, se situe au-dessus des Sables de Fontainebleau (dans lesquels on trouve le dernier dépôt marin du bassin de Paris : le niveau d'Ormoy) et du calcaire d'Etampes, ce dernier étant continental [Gely et Lorenz, 1991]. Gorin montre à la base de sa séquence D, plutôt lacustre, la présence généralisée de « plancton laguno-marin » dans toute la Grande Limagne (Brout-Vernet 101, LMG S7, Aigueperse 101, Teilhède, St-Beauzire 101, Thiers S 12, Puy-de-Mur, Pérignat/Sarliève, sommet de Ste-Marguerite); cependant, l'existence d'une seule forme de dinokyste, *Gonyaulacysta giuseppi*, l'incite à parler d'une influence lagunaire limitée dont il ne précise pas l'origine; une venue par l'est est-elle possible, ou bien pourrait-il s'agir de formes résiduelles?

CONCLUSION

Les arguments paléontologiques (organismes halophiles) et l'étude des rapports du strontium plaident en faveur de venues marines répétitives dans les niveaux de Ste-Marguerite; la Limagne de Clermont a donc été épisodiquement affectée par des incursions marines au cours de l'Oligocène. Des influences marines avaient déjà été reconnues dans l'Oligocène inférieur du bassin du Puy (Hte-Loire) [Turland *et al.*, 1994] et les travaux actuellement en cours dans les bassins limagnais plus méridionaux (Issoire, ...) vont dans le même sens. Du fait du manque de jalons marins entre les Limagnes et les bassins limitrophes, l'origine des différentes transgressions reste indéfinie.

Remerciements. – Les auteurs remercient C. Guernet et J.C. Plaziat pour leurs critiques constructives, ainsi que A. Armand et M. Sirven (ERS 2042) pour leur collaboration technique.

Références

- ALIMEN H. (1948). – Considérations sur l'espèce oligocène *Potamides lamarckii* BRONG. et sur sa répartition en France. – *Bull. Soc. géol. Fr.*, (5), **XVIII**, (1-3), 97-114.
- APOSTOLESU V. & GUERNET C. (1992). – Les Ostracodes oligocènes de la région Forcalquier-Manosque (Bassin continental d'Apt, Haute-Provence). – *Rev. Micropaléont.*, **35**, 2, 91-115.
- AUBRY M.P. (1983). – Biostratigraphie du Paléogène continental de l'Europe du Nord-Ouest. Étude fondée sur les nannofossiles calcaires. – *Docum. Lab. Géol. Lyon*, **89**, 1-317.
- BERGER J.P. (1996). – Cartes paléogéographiques-palinspastiques du bassin molassique suisse. – *Neues Jahrb. Geol. Paläont., Abhandl.*, **202**, 1, 1-44.
- BERGERAT F. (1987). – Paléo-champs de contrainte tertiaires dans la plate-forme européenne au front de l'orogène alpin. – *Bull. Soc. géol. Fr.*, (8), **III**, 3, 611-620.
- BERGGREN W.A., KENT D.V., SWISHER C.C. & AUBRY M.P. (1995). – A revised Cenozoic geochronology and chronostratigraphy. – *SEPM Spec. Publ.*, **54**, 129-211.
- BLÈS J.L., BONJOLY D., CASTAING C. & CROS Y. (1989). – Successive post-Variscan stress fields in the European plate (French Massif Central and its borders): comparison with geodynamic data. – *Tectonophysics*, **169**, 79-111.
- BRIOT D. & POIDEVIN J.L. (1997). – Stratigraphie des isotopes du Sr dans les carbonates oligocènes de Limagne : influences marines dans

- le rift du Massif central français ? – 6^e Congr. Fr. *Sédimentol.*, Montpellier, 27, résumés, 37.
- BRIOT D. & POIDEVIN J.L. (1998). – Stratigraphie ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr de quelques laminites carbonatées du Rupélien supérieur du fossé de Limagne : incursions marines dans le rift du Massif central français ? – *C. R. Acad. Sci.*, Paris, **326**, 479-483.
- BRONGNIART A. (1810). – Description des fossiles qu'on trouve dans les terrains d'eau douce. – *Ann. Mus. Hist. Nat.*, **15**, 375-421.
- CARBONNEL G., WEIDMANN M. & BERGER J.P. (1985). – Les ostracodes lacustres et saumâtres de la Molasse de Suisse occidentale. – *Rev. Paléobiologie*, **4**, 2, 215-251.
- CAVELIER C., MENILLET F. & RIVELINE J. (1980). – Oligocène et Miocène basal. In : C. MEGNIEN, Ed., Synthèse géologique du bassin de Paris. – *Mém. BRGM*, **103**, 402-413.
- CAVELIER C. (Coord.) *et al.* (1984). – Paléogène. In : S. DEBRAND-PASSARD *et al.*, Eds., Synthèse géologique du Sud-Est de la France. – *Mém. BRGM*, **125**, 8, 389-468.
- CHATEAUNEUF J.-J. & NURY D. (1994). – La flore de l'Oligocène de Provence méridionale : implications stratigraphiques, environnementales et climatiques. – *Géol. Fr.*, **2**, 43-55.
- CURIAL A. (1987). – La sédimentation salifère et suprasalifère du Paléogène bressan (France). – *Docum. Lab. Géol. Lyon*, **100**, 292 p.
- CURIAL A., DUMAS D. & MORETTO M. (1988). – Evolution comparée et corrélation entre deux bassins salifères paléogènes du rift ouest européen : les fossés de Bresse et de Valence (France, Sud-Est). – *C. R. Acad. Sci.*, Paris, **306**, II, 655-661.
- DANGEARD L. (1931). – Sur la présence de lits à coccolithes et coccosphères dans la série oligocène laguno-lacustre de la Limagne. – *C. R. Acad. Sci.*, Paris, **192**, 1745-1746.
- DANGEARD L. (1932). – Les craies et les calcaires à coccolithes de la Limagne. – *Bull. Soc. géol. Fr.*, (5), **II**, 67-81.
- DANGEARD L. (1933). – Sur la présence de foraminifères dans l'Oligocène du Massif central. – *C. R. somm. Soc. géol. Fr.*, **2**, 12-13.
- DESPIRAIRIES A. (1963). – Etude sédimentologique de l'Oligocène de la Limagne de Brioude (Haute-Loire). – Thèse 3^e Cycle, Sci., Paris, inédit, 90 p.
- DEVINEAU K. (1996). – Dynamique d'un rift intracontinental : enregistrements par les variations isotopiques Sr-Nd dans la fraction détritique du sédiment. – DEA Univ. Clermont II, 29 p.
- DOEBL F., MULLER C., SCHULER M., SITTLER C. & WEILER H. (1976). – Les Marnes à foraminifères et les Schistes à poissons de Bremelbach (Bas-Rhin). Etudes sédimentologiques et micropaléontologiques. Reconstitution du milieu au début du Rupélien dans le Fossé Rhénan. – *Bull. Sci. géol.*, **29**, 4, 285-320.
- DOLLFUS G.F. (1923). – Notes paléontologiques sur l'Oligocène de la Limagne. 2^e partie : Mollusques. – *Bull. Serv. Carte géol. Fr.*, **26**, 147, 151-226.
- DONSIMONI M. & GIOT D. (1977). – Les calcaires concrétionnés lacustres de l'Oligocène supérieur et de l'Aquitainien de Limagne (Massif central). – *Bull. BRGM*, **1**, 2, 131-169.
- DUCASSE O. & MOYES J. (1971). – Intérêt des ostracodes dans une esquisse paléogéographique du Tertiaire Nord-Aquitain. In : H.J. OERTLI, Ed., Paléocologie des ostracodes. – *Bull. Centre Rech. SNPA*, **5**, supplément, 489-514.
- FREYTET P. (1984). – Les sédiments lacustres carbonatés et leur transformation par émergence et pédogenèse. Importance de leur identification pour les reconstitutions paléogéographiques. – *Bull. Centres Rech. Explor.-Prod., Elf-Aquitaine*, **8**, 1, 223-247.
- GASSE F., FONTES J.C., PLAZIAT J.C., CARBONEL P., KACZMARSKA I., DE DEKKER P., SOULIE-MÄRSCHÉ I., CALLOT Y. & DUPEUBLE P.A. (1987). – Biological remains, geochemistry and stable isotopes for the reconstruction of environmental and hydrogeological changes in the Holocene lakes from North Sahara. – *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, **60**, 1-46.
- GAUDANT J. (1978). – Sur les conditions de gisement de l'ichthyofaune oligocène d'Aix-en-Provence (Bouches-du-Rhône). – *Geobios*, **11**, 3, 393-397.
- GAYET M., SEMPÈRE T., CAPPETTA H., JAILLARD E. & LEVY A. (1993). – La présence de fossiles marins dans le Crétacé terminal des Andes centrales et ses conséquences paléogéographiques. – *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, **102**, 283-319.
- GELY J.P. & LORENZ C. (1991). – Analyse séquentielle de l'Eocène et de l'Oligocène du Bassin parisien (France). – *Rev. Inst. Franç. Pétrole*, **46**, 6, 713-747.
- GINSBURG L. & HUGUENEY M. (1987). – Aperçu sur les faunules de mammifères du Stampien du bassin de Paris (Hurepoix et Beauce Chartraine). – *Bull. Inf. géol. Bassin Paris*, **24**, 2, 19-22.
- GIRAUD J. (1902). – Etudes géologiques sur la Limagne. – Béranger, Paris, 410 p.
- GORIN G. (1974). – Etude palynostratigraphique des sédiments paléogènes de la Grande Limagne (Massif central). – Thèse Fac. Sci. Univ. Genève, 314 p.
- GORIN G. (1975). – Etude palynostratigraphique des sédiments paléogènes de la Grande Limagne (Massif central). – *Bull. BRGM*, **2**, (1), **3**, 147-181.
- GREKOFF N. (1953). – Résultats des recherches micropaléontologiques dans les matériaux de la coupe du Puy Saint-Romain et du sondage de Mirabel (Puy-de-Dôme). – Rap. int. Inst. franç. Pétrole, Dép. Géol. sédim., Rueil, inédit, 1-26.
- GUILLLOT L. & REY R. (1969). – Un niveau à *Potamides lamarkii* dans l'Oligocène moyen de Saint-Germain-des-Fossés (Allier). – *Rev. Scient. Bourbonnais*, 1968, 56-66.
- HOCHULI P. (1982). – Organische Mikrofossilien aus Proben der Molasse von Vorarlberg und Teilen des schweizerischen Mittellands. In : P. JUNG, Ed., Nouveaux résultats biostratigraphiques dans le bassin molassique depuis le Vorarlberg jusqu'en Haute-Savoie. – *Docum. Lab. Géol. Lyon, H.S.*, **7**, 39-45.
- HUGUENEY M. & MÖDDEN C. (1996). – The biostratigraphical position of the Oligocene French localities Saint-Martin-de-Castillon (Apt basin) and Vialenc (Aurillac basin) based on the Issiodoromyini (Mammalia, Rodentia, Theridomyidae). – *Eclogae geol. Helv.*, **89**, 3, 1345-1362.
- JULIEN P.A. (1881). – La Limagne et les bassins tertiaires du plateau central. – Mont-Louis, Clermont-Ferrand, 1-34.
- KEEN M.C. (1972). – The Sannoisian and some other Upper Palaeogene Ostracoda from North-West Europe. – *Palaeontology*, **15**, 2, 267-325.
- KEEN M.C. (1975). – The palaeobiology of some Upper Palaeogene freshwater Ostracodes. – *Bull. Amer. Pal.*, **65**, 271-283.
- KONZALOVA M. & BERGER J.P. (1992). – Palynological investigations in the Swiss molasse basin : first results from the USM (Lower freshwater Molasse, Oligocene to early Miocene). In : J. KOVAR-EDER J., Ed., Paleovegetational development in Europe. – *Mus. nat. Hist. Vienna*, 159-167.
- LAVOCAT R. (1952). – Révision de la faune des mammifères oligocènes d'Auvergne et du Velay. – *Sciences et Avenir*, Paris, 153 p.
- LEFAVRAIS-RAYMOND A., GANNAT E. & CAVELIER C. (1984). – Bresse. In : S. DEBRAND-PASSARD *et al.*, Eds., Synthèse géologique du Sud-Est de la France. – *Mém. BRGM*, **125**, 403-407.
- LEVY A. (1989). – Lacs quaternaires sahariens à faunes margino-littorales. – *Bull. Soc. géol. Fr.*, (8), **5**, 1, 63-71.
- LEVY A., MATHIEU R., POIGNANT A. & FERNANDEZ-GONZALEZ M. (1995). – Sur la signification des foraminifères dans les dépôts continentaux. – *Oceanol. Acta*, **18**, 6, 597-605.
- MALZ H. (1973). – Ehemalige « Cytheridea »-Arten und Verwandte. Ostracoden aus dem Sannois und jüngeren Schichten des Mainzer Beckens. – *Notizbl. Hess. Land. Bodenforsch. Wiesbaden*, **101**, 188-201.
- MARMONIER P., BODERGAT A.M. & DOLEDEC S. (1994). – Theoretical habitat templates, species traits, and species richness : ostracods (Crustacea) in the Upper Rhône River and its flood plain. – *Freshwater Biol.*, **31**, 341-355.
- MARTINI E. (1990). – The Rhinegraben system, a connection between northern and southern seas in the European Tertiary. – *Veröff. Übersee-Mus.*, A, **10**, 83-98.
- McARTHUR J.M. (1994). – Recent trends in strontium isotope stratigraphy. – *Terra Nova*, **6**, 331-358.
- NOËL D., BUSSON G. & CORNÉE A. (1993a). – Importance et signification des Coccolithophoridées dans des dépôts lagunaires de l'Oligocène inférieur (Stampien-Rupélien) de France. – *Rev. Micropaléont.*, **36**, 1, 29-43.
- NOËL D., BUSSON G., CORNÉE A. & MANGIN A.M. (1993b). – Les coccolithophoridées fossiles ne peuvent plus être considérées comme caractéristiques du seul environnement pélagique. – *Bull. Soc. géol. Fr.*, **164**, 3, 493-502.
- NOËL D., BUSSON G. & CORNÉE A. (1994). – Liaison génétique entre sel et laminites riches en matière organique et nannophytoplancton

- dans les bassins paléogènes de France et du nord de l'Espagne. – *C. R. Acad. Sci.*, Paris, **318**, II, 1623-1628.
- NURY D. (1988). – L'Oligocène de Provence méridionale. Stratigraphie-dynamique sédimentaire, reconstitutions paléogéographiques. – *Docum. BRGM*, **163**, 1-411.
- NURY D. & THOMASSIN B.A. (1994). – Paléoenvironnements tropicaux, marins et lagunaires d'un littoral abrité à l'Oligocène terminal, en Basse-Provence (région d'Aix-en-Provence-Marseille, France). – *Géol. méditer.*, **XXI**, 1-2, 95-108.
- OERTLI H.J. (1956). – Ostrakoden aus der oligozänen und miozänen Molasse der Schweiz. – *Mém. suisses Paléont.*, **74**, 1-119.
- PLAZIAT J.C. (1989). – Signification écologique et paléogéographique des peuplements oligotypiques de Potamides, gastéropodes thalassiques. – *Atti 3^o Simp. Ecologia Paleoecologia Comun. Benton.*, Catania, 25-52.
- PLAZIAT J.C. (1991). – Paleogeographic significance of the *Cardium*, *Potamides* and *Foraminifera* living in intra-continental salt lakes of North Africa (Sahara Quaternary, Egypt Present lakes). – *J. Afr. Earth Sci.*, **12**, 1/2, 383-389.
- POMEROL C. (1973). – Stratigraphie et paléogéographie. Ere Cénozoïque (Tertiaire et Quaternaire). – Doin, Paris, 269 p.
- REY R. (1966). – Malacologie continentale oligocène dans l'Ouest de l'Europe. – *Rev. Scient. Bourbonnais*, 53-129.
- REY R. (1971). – Biostratigraphie des bassins tertiaires du Massif Central. In : *Symposium J. Jung – Géologie, géomorphologie et structure profonde du Massif central français*. – Plein Air Service, Clermont-Ferrand, 309-330.
- REY R. (1972). – La transgression oligocène dans l'ouest de la France. – *Bull. Soc. Sci. nat. Ouest Fr.*, **70**, 5-12.
- REY R. (1977). – Gastéropodes continentaux et périalins de l'Oligocène et du Miocène inférieur. – *Rev. Scient. Bourbonnais*, 40-74.
- RIVELINE J., BERGER J.-P., FEIST M., MARTIN-CLOSAS C., SCHUDACK M. & SOULIE-MARSCHÉ I. (1996). – European Mesozoic-Cenozoic charophyte biozonation. – *Bull. Soc. géol. Fr.*, **176**, 3, 453-468.
- SCHLUNEGGER F., BURBANK D.W., MATTER A., ENGESSER B. & MÖDDEN C. (1996). – Magnetostratigraphic calibration of the Oligocene to Middle Miocene (30-15 Ma) mammal biozones and depositional sequences of the Swiss Molasse Basin. – *Eclogae geol. Helv.*, **89**, 2, 753-788.
- SPENCER J.E. & PATCHETT P.J. (1997). – Sr isotope evidence for a lacustrine origin for the Upper Miocene to Pliocene Bouse Formation, lower Colorado River trough, and implications for timing of Colorado uplift. – *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **109**, 6, 767-778.
- TIERCELIN J.J. & VINCENS A. (1987). – Le demi-graben de Baringo-Bogoria, Rift Gregory, Kenya. 30 000 ans d'histoire hydrologique et sédimentaire. – *Bull. Centre Rech. Explor. Prod., Elf-Aquitaine*, **11**, 2, 249-540.
- TURLAND M., MARTEAU P., JOUVAL J. & MONCIARDINI C. (1994). – Découverte d'un épisode marin oligocène inférieur dans la série paléogène lacustre à fluviale du bassin du Puy-en-Velay (Haute-Loire). – *Géol. Fr.*, **4**, 63-66.