

STRATIGRAPHIE ISOTOPIQUE DU STRONTIUM DANS LE MIOCÈNE MARIN DU BASSIN D'AQUITAINE (SW FRANCE)

B. Cahuzac ¹ et L. Turpin ²

¹ *Laboratoire de Recherches et Applications Géologiques, Université Bordeaux 1, 351 Cours de la Libération, 33405 Talence Cedex (F).*

² *Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, UMR C.E.A. - C.N.R.S., Orme des Merisiers, 91191 Gif-sur-Yvette Cedex (F).*

Résumé: Le Bassin Aquitain livre de nombreux dépôts miocènes riches en macrofaunes marines bien conservées. Les stratotypes historiques des étages Aquitanien et Burdigalien y ont été décrits. Nous présentons des investigations chemostratigraphiques (rapports ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr) de ces niveaux miocènes, réalisées sur des coquilles de mollusques bivalves principalement aragonitiques. Une stratigraphie à haute résolution grâce aux isotopes du strontium est aujourd'hui possible, établie à partir des forages profonds ODP (et de l'échelle géomagnétique de Cande & Kent, 1992). Parmi les résultats obtenus, les couches les plus basales de l'Aquitainien stratotypique (à La Brède) donnent des rapports ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr d'environ 0,708340 à 0,708380 (rapports normalisés au Standard SRM-987 = 0,710254). Dans la région de Saucats/Léognan contenant les stratotypes Aquitanien et Burdigalien, la limite Aquitanien-Burdigalien se trouve dans un intervalle ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr d'environ 0,708440 à 0,708445, i.e. à un âge ODP 747A de 20,6 ± 0,23 Ma, et à un âge «cubic spline» d'environ 20,5 Ma. L'intervalle de variation des rapports Sr dans le Burdigalien a été particulièrement examiné: il correspond à un âge de 20,4 à 19 Ma à Saucats, et de 20,5/20,6 à 18,3 Ma à Léognan. Le «Burdigalien supérieur» d'Aquitaine du Nord, *sensu* anciens auteurs, fournit des ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr d'environ 0,708540 à 0,708608 (d'environ 19,2 à 18,3 Ma). La transgression maximale vers l'Est du Burdigalien (Centre-aquitain) peut être datée d'environ 19,8 Ma (partie basale à inférieure de l'étage). Par ailleurs, un premier lot d'analyses d'échantillons serravalliens fournit des rapports Sr de 0,708850 à 0,708870 (environ 13 à 10,7 Ma selon le leg ODP de référence), ce qui s'accorde avec les contenus fauniques de ces dépôts et les données stratigraphiques de terrain.

Mots-clés: Rapports isotopiques ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr, stratigraphie, Aquitanien, Burdigalien, Serravallien, Bassin d'Aquitaine (SW France).

Abstract: The Aquitaine Basin yields numerous Miocene deposits rich in well-preserved marine macrofaunas, and contains the historical stratotypes of the Aquitanian and Burdigalian stages. We report on chemostratigraphic (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr ratios) investigations of these Miocene deposits, from mainly aragonitic Bivalves Molluscs shells. High resolution Sr isotope stratigraphy is possible today, by using the stratigraphic coverage from ODP deep sections (and Cande & Kent 92's geomagnetic time scale). Among the obtained results, we can point out that the lowermost layers of Aquitanian stratotype (at La Brède) gives Sr ratios from about 0.708340 to 0.708380 (all ratios normalized to Standard SRM-987 = 0.710254). In the area close to the Aquitanian/Burdigalian stratotypes (Saucats/Léognan), the Aquitanian-Burdigalian boundary occurs in a ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr interval of about 0.708440 to 0.708445, i.e. at an ODP 747A-based age of 20.6 ± 0.23 Ma, and at a cubic spline age of about 20.5 Ma. The Sr range of the Burdigalian stage has been particularly investigated; at Saucats, this range gives an age interval from 20.4 to 19 Ma, and at Léognan from 20.5/20.6 to 18.3 Ma. The North Aquitaine «Burdigalien supérieur», *sensu* former authors, provides ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr of about 0.708540 to 0.708608 (about 19.2 to 18.3 Ma). The Burdigalian maximum eastward marine extent (central Aquitaine Basin) occurred at about 19.8 Ma, i. e. in the basal to lower Burdigalian. Otherwise, a first set of data from Serravallian deposits provides Sr ratios between 0.708850 and 0.708870 (about 13 to 10.7 Ma, according to the ODP leg of reference), which is in good agreement with both faunal content and field stratigraphy of these deposits.

Key-words: Isotopic ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr ratios, stratigraphy, Aquitanian, Burdigalian, Serravallian, Aquitaine Basin (SW France).

Cahuzac, B. et Turpin, L. (1999): Stratigraphie isotopique du strontium dans le Miocène marin du Bassin d'Aquitaine (SW France). *Rev. Soc. Geol. España*, 12 (1): 37-56.

Les gisements marins miocènes du Bassin d'Aquitaine, connus depuis très longtemps, sont nombreux et riches en macrofaunes et microfaunes bien conservées. Parmi ces dépôts, ont été notamment décrits les stratotypes historiques des étages Aquitaniens et Burdigaliens (partie inférieure de ce dernier), dont les coupes ont été récemment aménagées et protégées par la «Réserve Naturelle Géologique de Saucats-La Brède». En même temps que des datations biostratigraphiques, la caractérisation chimostratigraphique de tous ces dépôts (rapports isotopiques $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) a été entreprise. Une première étude avait surtout porté sur la région stratotypique au SW de Bordeaux (Cahuzac *et al.*, 1997). On a cherché ici d'une part à approfondir certaines données relatives à ces niveaux-types, mais aussi d'autre part à préciser les attributions stratigraphiques, souvent discutées, de divers dépôts du Centre et du Sud aquitains. Dans ce but, un échantillonnage de coupes classiques aussi bien que de nouveaux affleurements a été réalisé dans l'ensemble du Bassin d'Aquitaine (Fig. 1 à 4). Dans la mesure du possible, le choix des fossiles analysés s'est porté sur des Bivalves à coquille aragonitique, qui se sont révélés être, lors d'études précédentes, un matériel fiable -et non diagénisé- (réf. in Cahuzac *et al.*, 1997).

De très nombreuses données obtenues depuis 10 ans dans les séries miocènes, en particulier à partir des forages océaniques profonds, permettent de disposer pour cette période d'une stratigraphie à haute résolution grâce aux isotopes du strontium; cela est notamment valable pour le Miocène inférieur, où la pente de la courbe $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -âges est forte. Il a été précédemment montré qu'une bonne cohérence existait dans les rapports isotopiques du strontium entre les coupes aquitaines et les séquences profondes des ouvrages ODP, sur la base de corrélations établies par des critères biostratigraphiques. L'utilisation de cette méthode pour dater les niveaux miocènes de la région considérée est donc justifiée, et d'autant plus intéressante que les affleurements y sont généralement dispersés et peu continus, avec des faciès littoraux éminemment variables, ce qui provoque d'importantes difficultés pour préciser leur position stratigraphique relative. Les estimations d'âges obtenues ici seront discutées pour chaque intervalle chronologique; de plus, pour certains moments où les courbes de référence (des forages ODP) apparaissent moins précises, des calculs d'âge seront proposés selon plusieurs méthodes.

Présentation des coupes examinées

Dans cette description succincte des affleurements d'où proviennent les échantillons analysés, on précise le cadre géographique et stratigraphique de chacun d'entre eux, mais sans développer la partie historique qui, notamment pour les coupes classiques, serait très volumineuse; seules quelques références significatives seront donc citées.

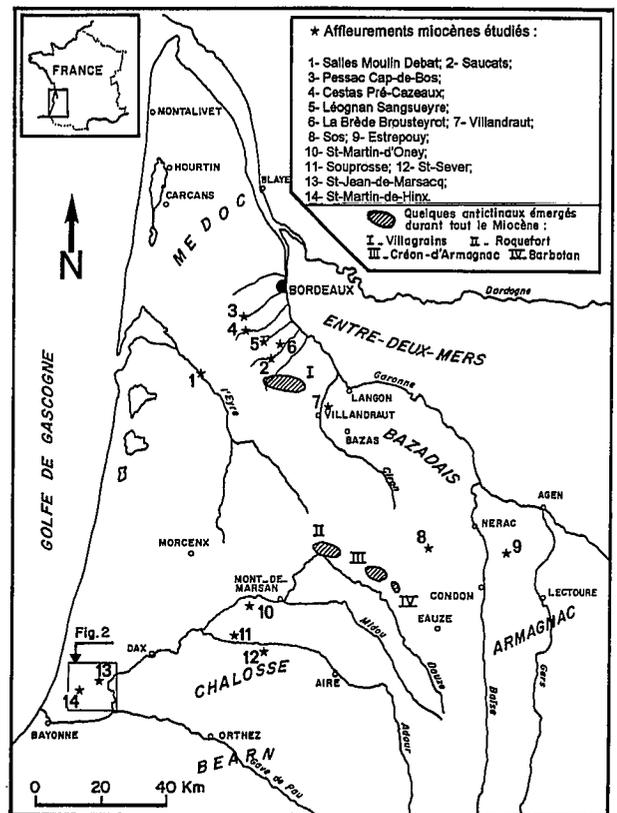


Figure 1- Carte de situation des localités citées dans le Bassin Aquitain.

Miocène inférieur

a)- Nord-Aquitaine, Gironde, région du Bordelais (Fig. 1, 3, 4)

Niveaux inférieurs du stratotype aquitain, La Brède

Nous ne reprendrons pas ici la discussion sur le contenu du stratotype aquitain, qu'il convient de considérer *sensu* Mayer-Eymar (1858), créateur de l'étage; le lecteur pourra se référer aux données détaillées par Cahuzac *et al.* (1997). Nous avons cherché à préciser l'intervalle des valeurs des rapports isotopiques du Sr dans les niveaux stratotypiques les plus inférieurs actuellement visibles, en y réalisant plusieurs analyses nouvelles. Cela permet une comparaison avec la première analyse de l'affleurement du Moulin d'Augey, présentée précédemment (AQ 21: Cahuzac *et al.*, 1997).

- La coupe du « Moulin d'Augey », en rive droite du ruisseau principal (Le Saucats), se situe à 250 m en amont et au Sud-Ouest du Moulin de la Mole (Cahuzac *et al.*, 1997); elle est résumée ci-après. Sus-jacentes aux argiles blanchâtres à bariolées, et à nodules calcaires, du Chattien continental, des marnes gris-beige coquillères, à petits Bivalves nombreux mais assez peu diversifiés en espèces, constituent ici le premier horizon marin aquitain; son faciès témoigne d'un dépôt très côtier et assez calme, avec quelques influences saumâtres (apport faunique d'un milieu de type lagune ouverte). Trois Bivalves à coquille

Référence analyse	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (SRM = 0,710254)	Ages estimés (Ma) [Equations de Calick et al., 1994]		Estimations d'âge (cubic spline) (Ma)	Erreur analytique		N° échantillon	Localité	Fossile analysé [a] = Bivalves	Etage	
		$\pm 2\sigma$			+	-					
AQ 21-1	0,708340	4a	22,2	0,23	22,7	0,4	0,5	Moulin Augey: GA 34412	La Brède	<i>Miltha incrassata subscopulorum</i> [a]	Aquitanien
AQ 21-2	0,708353	4a	22,0	0,23	22,3	0,4	0,5	Moulin Augey: GA 34412	La Brède	<i>Miltha incrassata subscopulorum</i> [a]	Aquitanien
AQ 61	0,708351	4a	22,0	0,23	22,3	0,4	0,5	Moulin Augey: GA 34412	La Brède	<i>Pitaria undata</i> [a]	Aquitanien
AQ 91-1	0,708361	4a	21,9	0,23	22,1	0,4	0,4	Moulin Augey: GA 34412	La Brède	<i>Loripes dentatus</i> [a]	Aquitanien
AQ 91-2	0,708344	4a	22,1	0,23	22,6	0,4	0,5	Moulin Augey: GA 34412	La Brède	<i>Loripes dentatus</i> [a]	Aquitanien
AQ 86	0,708356	4a	21,9	0,23	22,2	0,4	0,4	GA 39100 (ruisseau)	La Brède	<i>Ostrea aquitanica</i> [a]	Aquitanien
AQ 94-1	0,708378	4a	21,6	0,23	21,7	0,3	0,4	GA 34422 (affluent)	La Brède	<i>Loripes dentatus</i> [a]	Aquitanien
AQ 94-2	0,708369	4a	21,8	0,23	21,9	0,4	0,4	GA 34422 (affluent)	La Brède	<i>Loripes dentatus</i> [a]	Aquitanien
AQ 95	0,708362	4a	21,9	0,23	22,1	0,4	0,4	GA 34422 (affluent)	La Brède	<i>Lentidium tourmoueri</i> [a]	Aquitanien
AQ 98-1	0,708373	4a	21,7	0,23	21,8	0,4	0,4	GA 34421 (affluent)	La Brède	<i>Loripes dentatus</i> [a]	Aquitanien
AQ 98-2	0,708366	4a	21,8	0,23	22,0	0,4	0,4	GA 34421 (affluent)	La Brède	<i>Loripes dentatus</i> [a]	Aquitanien

Tableau I - Données analytiques $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ d'échantillons issus des niveaux inférieurs du stratotype aquitanien (Gironde). «Cubic spline»: cf. texte et Fig. 10. (*: donnée reprise de Cahuzac et al., 1997).

aragonitique ont été analysés (Tabl. I, analyses AQ 21, 61, 91): *Miltha incrassata subscopulorum*, *Loripes dentatus* et *Pitaria undata* (= «*Meretrix*» *undata*, cité in litteris).

- Un peu en amont du site précédent, le ruisseau principal reçoit en rive droite un petit affluent, dont le creusement du lit a dégagé une coupe (située à une altitude que l'on peut estimer à environ 4 à 5 m au-dessus du niveau précédent, mais sans continuité directe entre les affleurements). Nous y avons échantillonné des marnes argileuses compactes gris bleu et des marnes un peu plus sableuses gris clair, à mollusques dispersés (analyses AQ 94, 95, 98).

- En remontant le ruisseau du Saucats vers l'Ouest et après avoir dépassé vers l'amont l'ancien Moulin d'Augey (désaffecté), on retrouve des niveaux affleurants au bord de l'eau. La coupe échantillonnée (AQ 86, Fig. 5-A) est à environ 625 m à vol d'oiseau de la première coupe citée ci-dessus, et se situe au Sud de la route du hameau de Terrefort, sous des maisons neuves construites en rive gauche du ruisseau du Saucats (carte Pessac 1537W au 1/25 000e). On y observe des sables calcaires fins jaunes fossilifères, à nombreuses huîtres à la base (AQ 86), quelques mollusques et coraux au-dessus, l'horizon supérieur se chargeant en nodules et rognons gréseux indurés.

Saucats

Dans le Burdigalien de Saucats, nous avons précédemment examiné la coupe de Péloua, alors en cours d'aménagement, et analysé un échantillon de la coupe de La Bourasse, proche de Péloua (cf. coupe et biostratigraphie in Cahuzac et al., 1997; Fig. 6). Cette dernière coupe a été récemment nettoyée et mise en valeur par la Réserve Naturelle Géologique pour être présentée au public. Elle montre un falun roux à très abondantes *Turritella terebralis* (reposant sur le calcaire lacustre gris, très induré, fini-aquitaniens; Fig. 7-A). Notre analyse préliminaire de ce niveau falunien concernait un spécimen de *Turritella*. Or, il semble reconnu par de nombreux auteurs qu'en général les coquilles de gastéropodes se révèlent être un matériel

nettement moins fiable (du fait des processus d'élaboration de la coquille à partir de tout Ca CO_3 récupéré dans le milieu ambiant) que celles des Bivalves. Nous avons donc fait une deuxième analyse de ce falun sur un Bivalve aragonitique, *Anadara gironnica* (AQ 55), afin de confronter les deux mesures, et de pouvoir comparer, sur des bases plus proches, les rapports isotopiques de ce niveau et d'autres horizons burdigaliens de ce secteur.

Dans la coupe de L'Arriey (qui fait partie du stratotype aquitanien, cf. Mayer, 1858), les niveaux supérieurs sont à tendance lagunaire et sont surmontés

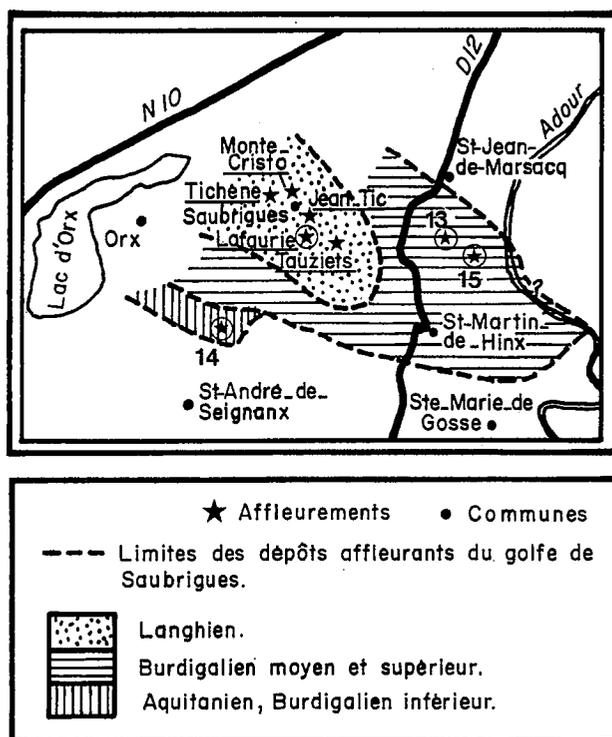


Figure 2- Carte schématique du golfe miocène de Saubrigues, dans l'extrême S-W de l'Aquitaine, d'après Cahuzac et al., 1995 (voir la situation de cette région sur la Fig. 1). Les niveaux marqués d'une étoile sont étudiés ici (n°13- St-Jean-de-Marsacq Pinot; n°14- St-Martin-de-Hinx Haut-Bernet) ou discutés dans le texte (Saubrigues Lafaurie; n°15- St-Jean-de-Marsacq Le Bragas).

premier niveau marin de la transgression burdigalienne.

Cestas

Au S-W de Bordeaux, le ruisseau de l'Eau Bourde traverse des terrains miocènes dans le secteur de Cestas (Fig. 4). L'affleurement burdigalien de **Cestas-ruisseau** (ou «Pré-Cazeaux») se situe à l'W et au-dessous de l'église et du cimetière actuel, dans le lit de l'Eau Bourde, un peu en aval du confluent avec l'affluent de rive droite appelé le Peloue ou le Ribeyrot. Cet affleurement est très voisin de l'ancien lieu-dit Pré-Cazeaux (situé en rive gauche), les couches fossilifères étant en continuité jusqu'au ruisseau; c'est pourquoi la coupe examinée ici est souvent qualifiée de «Cestas Pré-Cazeaux», *sensu lato*, par les auteurs (Dutertre, 1929, p. 287; Poignant, 1967; Poignant & Pujol, 1978; Duranthon & Cahuzac, 1997). Cette coupe est attribuée aux zones N 5 à 6 (Blow, 1969) et NN 2 (Martini, 1971) notamment par Poignant & Pujol (1978) et Müller & Pujol (1979). Elle comprend à la base des sables fins compacts beiges, à rares mollusques dispersés (lucines, *Vaginella depressa*), avec une surface supérieure nettement érodée et montrant des petits terriers à remplissage bioclastique. Au-dessus s'observe le falun, beige-roux à grisâtre, à malacofaune diversifiée et abondante, dont *Turritella terebralis*, *Euthriofusus burdigalensis*, *Ficus conditus*, *Neverita semiglobosa* (= *N. olla*), *Barbatia barbata*, *Glycymeris cor* très nombreux, *Donax transversa*, *Divaricella ornata*, *Corbula carinata*, *Cardium* spp., *Linga columbella*... (e. g., Degrange-Touzin, 1909): Fig. 8-C. Nous avons

analysé un Bivalve (AQ 77) de ce niveau falunien qui est historiquement rattaché *in litteris* au «Burdigalien supérieur» régional (*sensu auctores*: Tournouer, 1862; Linder, 1872; Dollfus, 1920).

Léognan

Le vallon de L'Eau Blanche recoupe à Léognan plusieurs niveaux géologiques que nous avons partiellement examinés, depuis La Louvière en aval (Aquitanien) jusqu'au Coquillat en amont (Burdigalien): Cahuzac *et al.*, 1997. Nous avons récemment échantillonné un niveau encore peu connu *in litteris* (Benoist, 1881; Malvesin-Fabre, 1939) et qui représente à notre connaissance l'affleurement situé le plus en amont dans ce vallon, au lieu-dit **Sangseyre**. Il est distant d'un peu plus de 2,5 km du centre de Léognan vers le S-W, et se trouve à 1,2 km au S-W du Coquillat (et à environ 380 m au S-SW du hameau des Bougès; Fig. 4). Cette coupe, près du ruisseau, montre un sable falunien marno-calcaire gris-bleu à *Turritella terebralis*, *Paroxystele burdigalensis*, *Natica* spp., *Vaginella depressa*, *Donax transversa*, *Glycymeris cor* (analyse AQ 81). La microfaune, diversifiée, contient notamment d'assez nombreux foraminifères planctoniques.

Léognan: Le Thil

A l'Est de Léognan, l'Aquitanien affleure sur une longue distance dans le ruisseau de Bourran, qui au Sud du château du Thil marque la limite des communes de Léognan et de Martillac. Un premier échantillon de cette coupe classique est ici présenté. En remontant le ruisseau vers le S-SW depuis la route goudronnée contournant la limite Sud de la propriété du Thil, on rencontre divers niveaux marneux ou sablo-coquilliers. A environ 750 m depuis la route (depuis le point coté 24 m, carte Pessac 1537W au 1/25 000e), se rencontre un falun beige à gris à nombreux mollusques (assez petits, dont *Scaphander grateloupi*, *Hipponyx sulcatus*, *Nassarius aquitanicus*, *Dorsanum aquense*, *Cerithium calculosum*, *Granulolabium plicatum*, *Aequipecten liberata*, *Corbula carinata*...) et quelques coraux (Fig. 8-B). Nous y avons échantillonné (pour l'analyse AQ 111) un *Glycymeris* sp. de petite taille, à test lisse et blanc brillant et à crochet relativement assez volumineux, qui y est fréquent. Ce falun repose sur un sable beige fin, à stratifications obliques, qui en ce lieu est sus-jacent à une couche calcaréo-sableuse bleu-gris assez indurée formant le lit du ruisseau.

Il n'est pas aisé aujourd'hui de retrouver précisément sur le terrain les différents niveaux décrits par les anciens auteurs, qui ont pu avoir accès à des affleurements plus nombreux qu'actuellement. Degrange-Touzin (1895) cite deux horizons de faluns, qui seraient distants d'environ 600 m, et attribués respectivement à l'«Aquitanien moyen» et à l'«Aquitanien supérieur». Mais il fait justement remarquer qu'il y a peu de différence d'altitude entre les deux et par ailleurs mentionne l'absence de calcaire

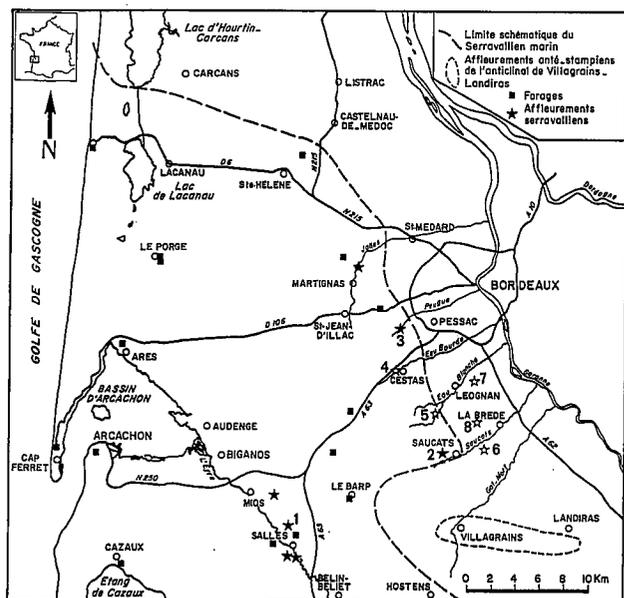


Figure 4- Esquisse de l'extension du domaine marin au Serravallien dans le Nord-aquitain, avec indication de divers forages ou affleurements ayant montré du Serravallien marin (d'après Ducasse & Cahuzac, 1997). Les affleurements serravalliens examinés ici (étoiles noires) sont: 1- Salles Moulin Debat; 2- Saucats Lassime supérieur; 3- Pessac Cap-de-Bos supérieur. Quelques coupes de Miocène inférieur (cf. Tabl. II) ont également été localisées sur cette carte (étoiles blanches): - Burdigalien = 4- Cestas Pré-Cazeaux; 5- Léognan Sangseyre; 6- Saucats La Bourasse. - Aquitanien = 7- Léognan Le Thil; 8- La Brède Brousteyrot inférieur.

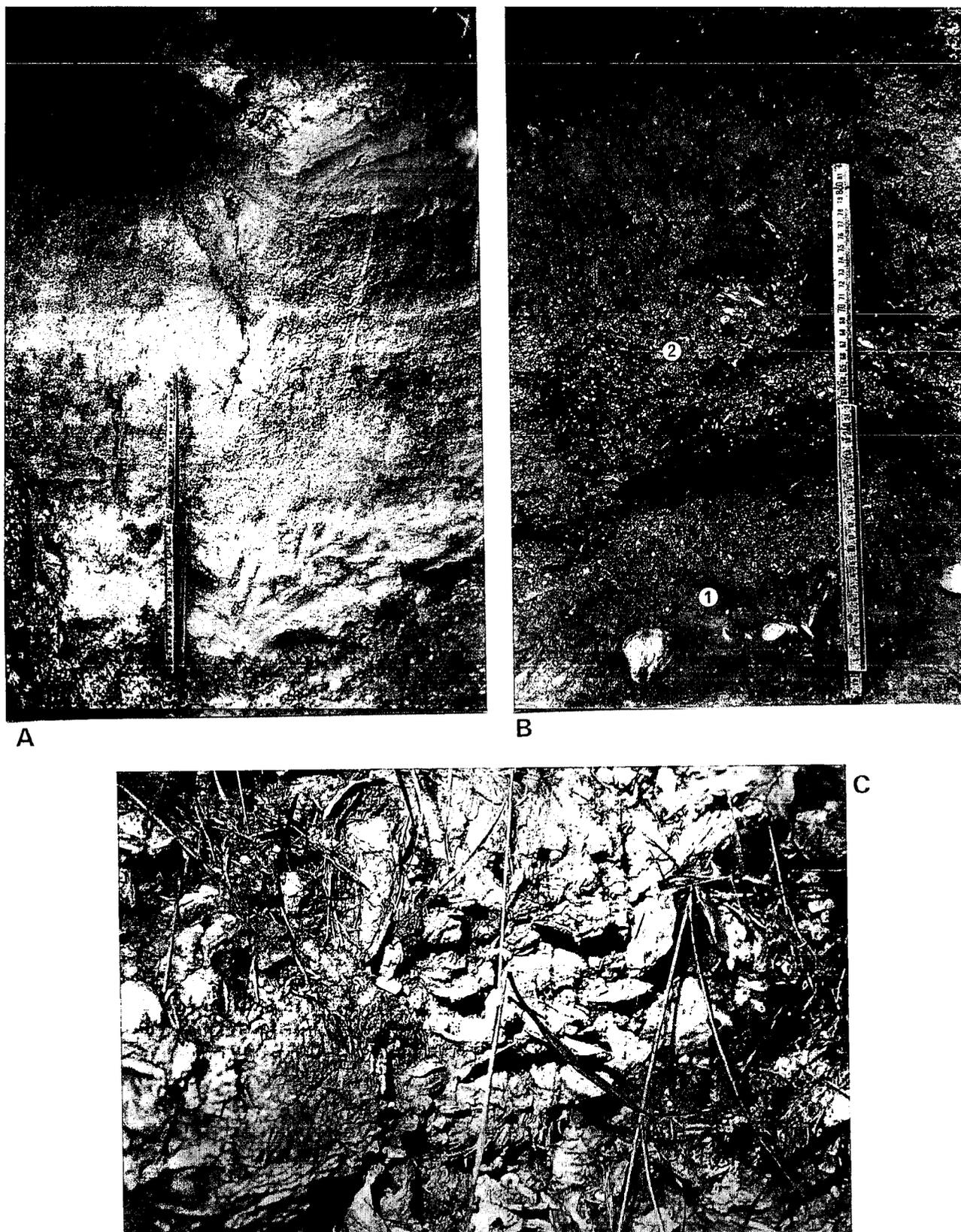


Figure 5 -A). Stratotype aquitainien, La Brède: affleurement du ruisseau du Saucats, en rive droite, un peu en amont de l'ancien Moulin d'Augey. Sables jaunes finement bioclastiques, reposant sur un niveau riche en *Ostrea aquitana* (analyse AQ 86). Le repère mesure 0,4 m. B). Coupe de Brousteyrot-inférieur, La Brède (Aquitainien). Dans cet affleurement en rive droite du ruisseau de Brousteyrot, juste en aval du pont coté 41 m, on observe: 1, une marne silteuse verte à mollusques lagunaires, surmontée, en 2, par un sable falunien gris clair (analyse AQ 24). C). Sos, Lot-et-Garonne (Burdigalien): coupe du bord de la route D 656. Niveau lumachellicque jaune à *Crassostrea aginensis* (AQ 84), surmontant un calcaire lacustre gris massif.

lacustre. Par contre, Silvestre de Sacy (1923) cite un calcaire lacustre jaune à environ 500 m de la propriété du Thil, au point qu'il dénomme «les Lauriers». Il indique la présence de faluns aquitaniens plus en amont, mais on n'y observe plus ce calcaire. De nos jours, le manque de continuité dans la visibilité de la coupe (largement envahie par la végétation) ne facilite pas sa compréhension: nos premières observations ne nous ont pas montré de niveau lacustre confirmé, et l'ensemble des affleurements fossilifères aquitaniens d'une part apparaît situé à des altitudes relativement proches, et d'autre part montre diverses surfaces d'érosion, voire des paléoreliefs, d'où il résulte que les différentes couches ne sont pas toujours parallèles et ont des épaisseurs variables. De nouveaux échantillonnages sont en cours pour préciser la succession des couches.

b)- Centre-Aquitaine (Fig. 1)

Bazadais (sensu lato) (Gironde)

Dans cette région centre-aquitaine située au Sud de l'anticlinal crétacé de Villagrains-Landiras, le Miocène inférieur affleure correctement encore aujourd'hui dans de nombreux vallons. L'ensemble de cette succession marine miocène a été historiquement rattaché à l'étage aquitaniens par la plupart des auteurs (réf. in Degrange-Touzin, 1888; Lubet, 1949; Caralp & Vigneaux, 1959). Toutefois, diverses données que nous avons obtenues relatives au microbenthos (foraminifères) et aux analyses isotopiques de strontium révèlent localement des distorsions sensibles par rapport à cette attribution stratigraphique. Nous avons donc entrepris d'échantillonner systématiquement de nombreuses coupes représentatives de la sédimentation régionale et nous présentons ici de manière préliminaire l'analyse d'un niveau de la région de Villandraut.

Au S-E de Villandraut, le ruisseau de Font de la Lève est un affluent de rive droite du Ciron. Remontant le vallon de ce ruisseau au N-E de la route D110, on rencontre les gisements faluniens classiques du moulin de Gamachot, puis du moulin de Fortis. En amont et à environ 300 m de ce dernier s'observent dans le ruisseau des marnes gris foncé à potamidés, surmontées un peu plus haut par des argiles grises de faciès lacustre, à planorbes et hydrobies. A environ 200 m en amont, la partie sus-jacente de la coupe comprend des sables fins marins jaune clair, à bioturbations, contenant une faunule bien conservée avec des *Granulolabium plicatum*, *Vitta picta*, *Tudicla rusticula*, *Turritella terebralis*, *Nassarius girondicus*, *Dorsanum (Cyllenina) vulgatissima*, Cypraeidae (dont *Pseudozonaria eburnina*), lamellibranches bivalvés: *Divaricella ornata*, *Miltha incrassata subscopulorum*, *Tellina aquitanica*, et *Psammobia labordei*, accompagnés par *Linga columbella*, *Anadara cardiiiformis*. L'échantillon de Bivalve analysé ici appartient à cet horizon (AQ 118). La remontée depuis le lit du ruisseau jusqu'au plateau dominant le vallon montre une succession épaisse de plus de 10 m, de couches beiges à gris jaunâtre de calcaires gréseux et

de sables meubles alternants, peu riches en malacofaune. Il est probable que ce dernier ensemble corresponde à la «molasse sableuse rougeâtre, alternant avec des plaquettes siliceuses (épaisseur probable: 20 m)», de Benoist (1889) [= son niveau n°9 in texte p. 79 = n°8 in coupe p. 80 = n°7 in liste de fossiles p. 86], et à la «molasse sableuse à *Lucina incrassata*» (épaisseur 15 m) de Dollfus (1912). L'horizon sableux analysé ici (et situé à la base de cet ensemble) correspondrait, en toute hypothèse, à «la molasse argilo-sableuse jaunâtre (épaisseur visible: 2 m)» de Benoist (1889) [= couche n°8 p. 79, apparemment appelée «couche n°6», p. 86].

Sos (Lot-et-Garonne)

Juste au Sud du village de Sos, en bordure Nord de la route D 656 (et peu avant -vers le NE- le carrefour avec la D 109), s'observe une belle coupe de Miocène inférieur (feuille Gabarret 1741W au 1/25 000e; cf. Tournouer, 1874). Les bancs massifs de calcaire gris lacustre (à limnées et planorbes = «calcaire gris de l'Agenais») sont surmontés par un falun marno-sableux pétri de coquilles d'huîtres bien conservées, de l'espèce *Crassostrea aginensis* (Fig. 5-C). Nous avons analysé le rapport isotopique du strontium dans cette huître (n° AQ 84).

Estrepouy (Gers)

Sur la commune de Gazaupouy au NE de Condom, se trouve le hameau d'Estrepouy (feuille Condom 1841W au 1/25 000e). A 200 m de la chapelle en descendant vers le NW, affleurent des marnes grises à rognons calcaires et à huîtres dispersées (qui surmontent un calcaire lacustre gris visible plus bas). Comme à Sos, nous y avons analysé une *Crassostrea aginensis* (n° AQ 82; Fig. 6). Cette localité est célèbre de par la présence dans des niveaux sableux sus-jacents d'une abondante faune de mammifères terrestres (cf. coupe in Roman & Viret, 1930, reprise par Gourinard *et al.*, 1987).

c)- Sud-Aquitaine, Landes

Les deux niveaux suivants font partie du «paléocanyon de Saubrigues», dans l'extrême SW du Bassin d'Aquitaine, dont la série de remplissage s'étend du Chattien au Miocène moyen (Cahuzac *et al.*, 1995, et Fig. 2):

St-Martin-de-Hinx: Haut-Bernet

Dans le Bas-Adour, quelques affleurements miocènes sont connus sur la commune de St-Martin-de-Hinx. La marnière de Haut-Bernet se situe à environ 200 m à l'Ouest de la ferme et montre des marnes grises à microfaune diversifiée et rare macrofaune [Pectinidae: *Amussiopecten (Costellamussiopecten) praehaueri*; oursins: *Brissopsis*...]. Cette localité a été examinée dans quelques travaux récents (cf. Bongrain *et al.*, 1994; Cahuzac *et al.*, 1995), où un âge aquitaniens inférieur lui est attribué. Notre analyse AQ 62 porte sur le Pectinidé cité ci-dessus; rappelons que chez les *Amussiopecten*, le test est formé d'une couche externe

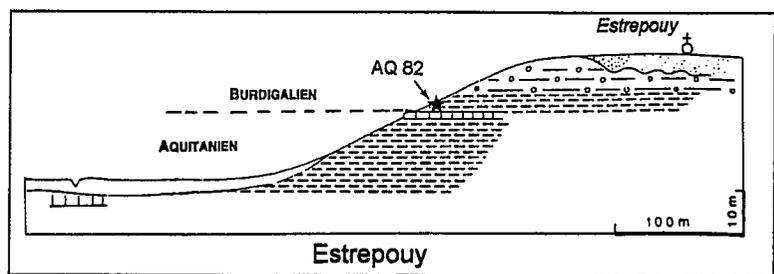
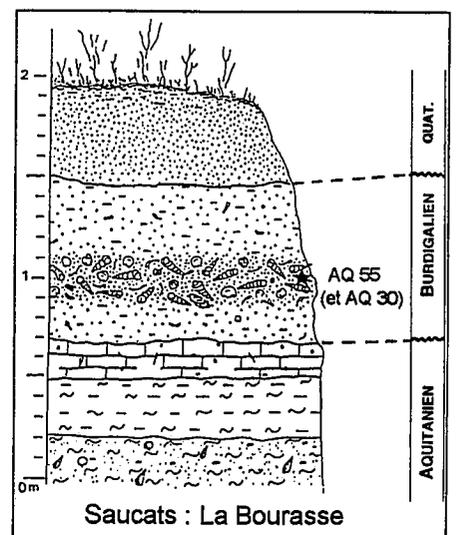
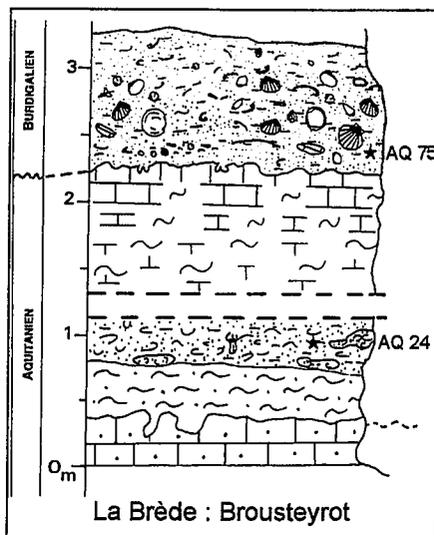
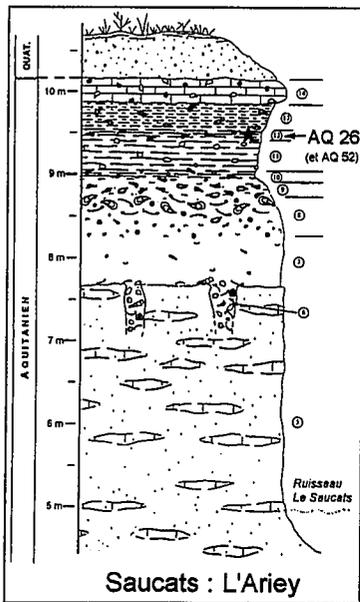
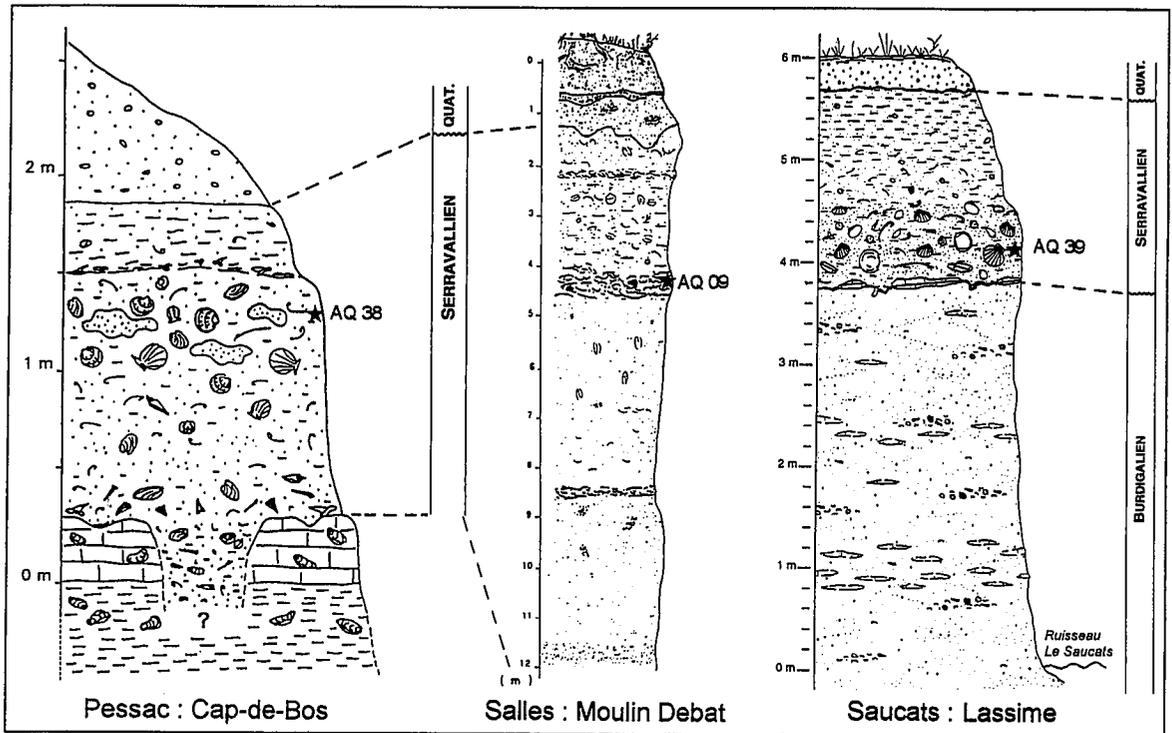


Figure 6 - Exemples de quelques coupes miocènes examinées, avec localisation des niveaux Sr-datés (étoiles noires); [Pessac: d'après Chaix *et al.*, 1999; Salles: Folliot *et al.*, 1993; Saucats Lassime, L'Ariey: Cahuzac *et al.*, 1996; La Bourasse: Cahuzac *et al.*, 1997; Estrepouy: Gourinard *et al.*, 1987].

Référence analyse	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (SRM = 0,710254)	Ages estimés (Ma)		± 2σ	N° échantillon	Localité	Fossile analysé [a] = Bivalves	Etage
		[Equations de Oslick et al., 1994]						
AQ 111	0,708359	4a	21,9	0,23	GA 39171	Léognan : Le Thil "moyen"	<i>Glycymeris</i> sp. (peu orné) [a]	Aquitanien
AQ 62	0,708368	4a	21,8	0,23	GA 38513 (Haut-Bernet)	St-Martin-de-Hinx (40)	<i>Amusiopecten praeaueri</i> [a]	Aquitanien
AQ 24	0,708393	4a	21,4	0,23	GA 34416	La Brède : Brousteyrot (inférieur)	<i>Divaricella ornata</i> [a]	Aquitanien
AQ 03	0,708415	4a	21,1	0,23	GA 38527	St-Martin-d'Oney (inférieur) (40)	<i>Glycymeris cor</i> [a]	Aquitanien
AQ 49	0,708438	4a	20,7	0,23	falun médian	Souprosse (40)	<i>Anadara</i> gr. <i>cardiiformis</i> [a]	Aquitanien
AQ 75	0,708470	4a	20,3	0,23	GA 34417	La Brède : Brousteyrot (supérieur)	<i>Glycymeris cor</i> [a]	Burdigalien
AQ 55	0,708529	4a	19,4	0,23	GA 34413	Saucats : La Bourasse	<i>Anadara girondica</i> [a]	Burdigalien
AQ 118	0,708532	4a	19,4	0,23	GA 39126	Villandraut, amont de Fortis	<i>Divaricella ornata</i> [a]	Burdigalien
AQ 77	0,708565	4a	18,9	0,23	GA 39098 (falun, ruisseau)	Cestas : Pré-Cazeaux	<i>Glycymeris cor</i> [a]	Burdigalien
AQ 81	0,708608	4a	18,3	0,23	GA 39093	Léognan : Sangsueyre	<i>Glycymeris cor</i> [a]	Burdigalien
AQ 80	0,708647	4a	17,7	0,23	GA 34494 (Pinot ruisseau)	St-Jean-de-Marsacq (40)	<i>Glycymeris cor</i> [a]	Burdigalien
AQ 82	0,708504	4a	19,8	0,23	GA 39083	Estrepouy (32)	<i>Crassostrea aginensis</i> [a]	Burdigalien
AQ 84	0,708503	4a	19,8	0,23	GA 39017	Sos (route) (47)	<i>Crassostrea aginensis</i> [a]	Burdigalien

Tableau II - Données analytiques $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ d'échantillons miocènes prélevés dans différentes régions d'Aquitaine. - Ces échantillons proviennent de Gironde (département n°33, Nord-Aquitain), sauf ceux des Landes (n°40, Sud-Aquitain), et d'Aquitaine centrale: Gers (n°32) et Lot-et-Garonne (n°47).

et d'une couche interne de calcite foliée, entre lesquelles existe une couche intermédiaire d'aragonite lamellaire croisée.

St-Jean-de-Marsacq: Pinot

Au N-E du gisement précédent, la commune de St-Jean-de-Marsacq a connu au siècle dernier l'exploitation de nombreuses marnières rattachées au faciès «marnes de Saubrigues», classique régionalement. Nous avons analysé le niveau inférieur de la coupe de Pinot. Depuis la maison Pinot (située au S-E de Pébarrère; carte St-Vincent-de-Tyrosse 1343W au 1/25 000e), on suit vers l'aval le ruisseau de Pinot. A un peu plus de 500 m de la maison, affleurent dans le cours d'eau des marnes gris foncé compactes, comportant un horizon riche en *Glycymeris cor*, souvent bivalvés, avec quelques Scléractiniaires (Fig. 8-A). Notre analyse de ce niveau (n° AQ 80) porte sur un *Glycymeris cor*. Elle permet une comparaison avec l'analyse d'un autre niveau du voisinage, de même faciès, présentée précédemment (Le Bragas = «Lahitet» inférieur, n° AQ 07: Cahuzac et al., 1997). La datation de ces deux niveaux par la nannoflore calcaire a conduit à un rattachement aux zones NN 3-4 Martini pour Pinot-ruisseau et à NN 4 pour Le Bragas-inférieur, ce qui correspond dans les deux cas à la partie supérieure de l'étage burdigalien (Cahuzac et al., 1995).

Bordure Nord de la Chalosse, vallée de l'Adour: Souprosse

Dans la vallée de l'Adour entre Toulouzette et St-Sever, étaient connus jadis divers affleurements de Miocène inférieur marin (Delbos, 1854). Quelques niveaux ont pu être retrouvés récemment, en rive gauche (Cahuzac, 1995) et en rive droite de l'Adour. Par exemple, au S-E de Souprosse et du hameau de Goudosse, un petit affluent en rive droite de l'Adour (ruisseau du Moulin de Cauna), traverse dans sa partie aval ces terrains miocènes, d'âge aquitanien, de faciès

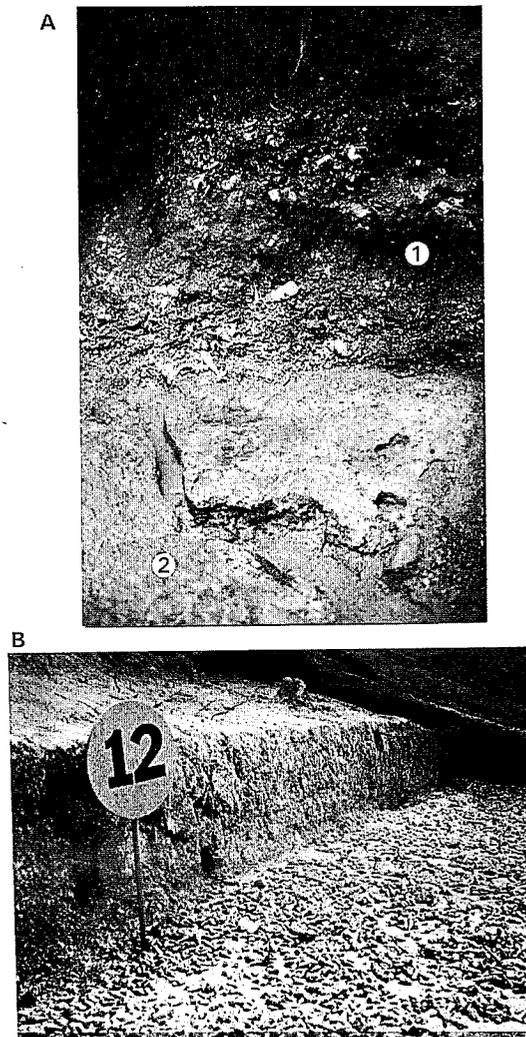


Figure 7 - A). Coupe de La Bourasse, Saucats (Burdigalien). Le falun roux (1, analyse AQ 55) à Turritelles (*Turritella terebralis*) et Bivalves surmonte ici directement le calcaire lacustre gris bréchiqne fini-aquitaniien (2), dont la surface est vivement érodée et perforée par des lithophages. B). Coupe de L'Ariey, stratotype aquitanien, Saucats. Dans cet affleurement protégé par une structure vitrée, les niveaux supérieurs sont à tendance lagunaire: ici, la couche 12 (AQ 26) de marnes rougeâtres est riche notamment en Potamididae.

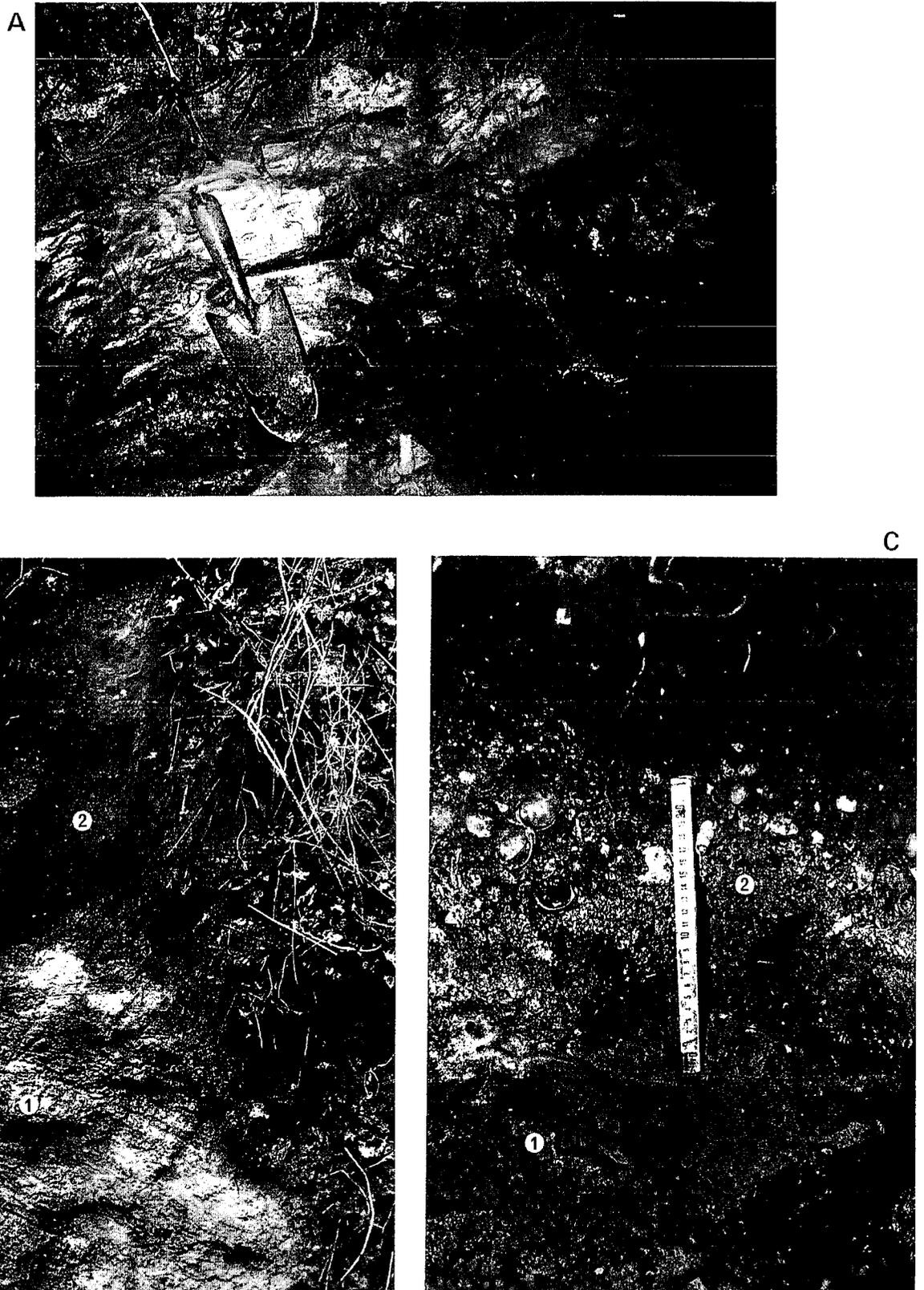


Figure 8 - A. Affleurement de Pinot-ruisseau, St-Jean-de-Marsacq, Landes (Burdigalien supérieur). Marnes grises compactes à *Glycymeris cor* abondants (flèches): AQ 80. (Pour échelle, la pelle mesure 0,3 m de long). **B.** Coupe du Thil, Léognan (Aquitaniens), en rive gauche du ruisseau. On observe: 1, des sables calcaires fins, beiges, à stratifications obliques, surmontés par 2: falun gris-beige (AQ 111). (Pelle = 0,3 m de long). **C.** Coupe de Cestas-ruisseau (lieu-dit Pré-Cazeaux), Burdigalien. Au-dessus de sables calcaires beiges fins et compacts (1), s'observe un falun roux à gris (2) à gros mollusques (AQ 77).

surtout laguno-littoraux. Au-dessus de marnes et sables saumâtres, s'observe un dépôt coquillier sablo-argileux à Potamididae, *Vitta*, Cypraeidae, *Melongena lainei*, *Ocenebra suberinacea* (= *O. beaumonti*), *Ostrea*, *Anadara*..., que nous avons analysé (n° AQ 49; Fig. 1).

St-Martin-d'Oney

L'exploitation de la carrière Vives de St-Martin-d'Oney (un peu au Sud de la Midouze, à l'Ouest de la D 365) s'est largement développée depuis une dizaine d'années. Cela a permis la mise au jour de couches inférieures, marines et souvent très fossilifères, rattachables à l'Aquitainien. Au-dessus de niveaux gris-bleu lagunaires, s'observent des sables peu coquilliers (à Hydrozoaires: Cahuzac & Gautret, 1993) et des faluns, très riches en coraux récifaux et en mollusques (dont Cypraeidae, Muricidae, *Varicospira* [= *Dientomochilus*] *decussata*..., cf. Lozouet, 1997), et avec de nombreux galets; nous y avons analysé le Bivalve *Glycymeris cor* (n° AQ 03). Les séquences supérieures sont détritiques et visibles sur une forte épaisseur; elles sont constituées en alternance de grès calcaires en plaquettes et de sables (du Burdigalien).

Miocène moyen

Les analyses des trois niveaux présentés ci-après (Fig. 1, 4) permettent une première comparaison avec le niveau supérieur de Saucats Lassime (analysé in Cahuzac *et al.*, 1997, et appelé ici: n°AQ 39, Tabl. III et Fig. 6, 11). Notons que ces quatre échantillons ont été datés du Serravallien d'après diverses données (plankton, microbenthos, malacofaune, lithostratigraphie, séquences de dépôt, etc); une attribution aux zones de nannoplancton NN 6-7 Martini a été notamment proposée (Müller & Pujol, 1979; Cahuzac *et al.*, 1995).

Pessac: Cap-de-Bos

A l'W-SW de Pessac, au lieu-dit Magonty, la réalisation du bassin d'étalement de Cap-de-Bos a récemment permis d'échantillonner une succession très fossilifère de Miocène marin: Burdigalien à la base et Serravallien au sommet. La séquence serravallienne est ici falunienne, avec de nombreux coraux ahermatypiques et mollusques. Le falun supérieur que nous avons analysé (n° AQ 38) est sablo-marneux, avec des galets; il est riche en Bivalves de grande taille, dont *Glycymeris bimaculata*, *G. cor*, *Flabellipecten solarium*, *Gigantopecten gallicus*, *Aequipecten*, *Mimachlamys*, *Megacardita jouanneti*, avec quelques gastéropodes (*Conus puschi*...). Il est surmonté par des argiles et marnes peu coquillières (cf. coupe in Chaix *et al.*, 1999, et Fig. 6; voir aussi Duranthon & Cahuzac, 1997; Ducasse & Cahuzac, 1997).

Salles: Debat

Dans la basse vallée de la Leyre, les dépôts classiques de Salles (et Mios) constituaient pour les anciens auteurs l'«Helvétien» régional ou l'étage

«Sallomacien» (aujourd'hui intégré dans le Serravallien). La coupe du Moulin Debat est très fossilifère et a été récemment révisée (Folliot *et al.*, 1993; cf. aussi Ducasse & Cahuzac, 1997; Fig. 6). Sa partie médiane comprend des sables bioclastiques roux et des faluns très riches en Bivalves, dont *Glycymeris cor*, analysé ici (n° AQ 09). De nombreux Pectinidae, Ostreidae, Chioninae, *Astarte*, etc, s'y rencontrent, de même que des bryozoaires.

St-Sever: Pipoulan

En bordure Nord de l'anticlinal de la Chalosse (ou d'Audignon), des affleurements de Stampien et de Miocène marins s'observent entre Mugron et St-Sever, un peu au Sud de l'Adour. Le Miocène moyen en particulier est visible vers 75 m d'altitude juste au Nord de St-Sever. La coupe de Pipoulan a été levée sur le flanc du vallon situé à 250 m à l'Est des maisons Pipoulan. Au-dessus de marnes continentales blanchâtres («molasses de l'Armagnac» classiques dans toute la région), se rencontre une séquence marine, carbonatée puis sablo-marneuse grise (à beige), à microfaune abondante et malacofaune dispersée (et souvent dissoute); l'examen de la nannoflore calcaire a permis de lui attribuer un âge serravallien (Cahuzac *et al.*, 1995). Des niveaux plus grossiers surmontent cette séquence: sables roux graveleux à nodules calcaires et Bivalves. Au-dessus, nous avons échantillonné pour l'analyse AQ 119 un calcaire induré roux, gréseux et très bioclastique, voire lumachellique, à gros Bivalves (dont *Flabellipecten*, *Aequipecten*, *Megacardita jouanneti*, *Glycymeris bimaculata*, *G. cor*, *Crassostrea gryphoides*...).

Ces niveaux supérieurs de calcaire coquillier roux sont fréquemment rencontrés dans tout le Sud et le Centre-Aquitain, et se rattachent à la «séquence supérieure du Serravallien» dans ce Bassin (Cahuzac *et al.*, 1995; Cahuzac & Poignant, 1996; Ducasse & Cahuzac, 1997).

Résultats et discussions

Généralités

Nous ne rappellerons pas ici les techniques analytiques utilisées, qui ont été présentées en détail dans un travail récent (Cahuzac *et al.*, 1997). Le choix des Bivalves aragonitiques comme matériel préférentiel à analyser, a également été discuté: la coquille de tels mollusques s'est avérée être un excellent marqueur de la teneur de l'eau de mer en isotopes du strontium, qu'elle mémorise au moment de son élaboration. En Aquitaine, ces coquilles issues des affleurements miocènes sont nombreuses et en parfait état de conservation. Diverses analyses-tests de diffraction aux rayons X indiquent que la minéralogie originelle a été préservée dans ces coquilles (avec 100% d'aragonite, Cahuzac *et al.*, 1997); celles-ci n'ont pas été diagénisées, et d'autre part étant prélevées en surface,

elles n'ont jamais été profondément enfouies.

Par ailleurs, les âges (indiqués ici: Fig. 10, 11) des limites des étages miocènes classiques sont encore souvent en cours de discussion. A titre provisoire, nous avons placé la limite Chattien-Aquitaniens à environ $23 \pm 0,5$ Ma (cf. Odin, 1994 et discussion in Montanari *et al.*, 1997), ce qui apparaît cohérent avec les données issues des deux stratotypes concernés. La base du Burdigalien est à environ 20,5 Ma, à la fois dans le stratotype bordelais et dans les coupes océaniques, d'après les critères généralement admis aujourd'hui par les auteurs (cf. Berggren *et al.*, 1995; Cahuzac *et al.*, 1997). La limite Burdigalien-Langhien est diversement interprétée; sur des critères paléomagnétiques et/ou biostratigraphiques, comme l'apparition des Préorbulines (*Praeorbulina sicana*) ou la présence de datums de nannoplancton, son âge serait d'environ 16,4 Ma (Fig. 10, 11; cf. discussion in Berggren *et al.*, 1995; Fornaciari *et al.*, 1996; Fornaciari & Rio, 1996). La limite Langhien-Serravallien, qui demeure difficile à préciser en général, a été placée à 14,8 Ma comme in Berggren *et al.* (1995); toutefois, la proposition faite par Rio *et al.* (1997) de définir cette limite avec le sommet de la biozone NN 5 («Last Occurrence» du marqueur *Sphenolithus heteromorphus*, dans la magnétozone C5AB) aurait pour conséquence un rajeunissement de la base de l'étage Serravallien.

Tous nos rapports $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (Tabl. I-III) sont normalisés au Standard SRM-987 = 0,710254, et leur intervalle de confiance est la reproductibilité externe (2σ) = $1,6 \times 10^{-5}$. Grâce à l'obtention au cours de la dernière décennie d'un grand nombre de données issues des campagnes de forages océanographiques profonds, on dispose d'une bonne stratigraphie isotopique du strontium pour l'ensemble du Néogène (réf. in e. g., DePaolo, 1986; Mc Arthur, 1994). Pour pouvoir utiliser une telle chimiostratigraphie dans un bassin donné, il faut s'assurer au préalable de la cohérence des rapports $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ entre les séries analysées et les coupes ODP. En Aquitaine, une bonne cohérence a été mise en évidence dans ces rapports isotopiques, pour chaque étage du Miocène considéré, en établissant des corrélations biostratigraphiques sur la base des zonations de foraminifères et nannoflore planctoniques (Cahuzac *et al.*, 1997). Les courbes de corrélation $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en fonction des âges, appliquées aux échantillons du Bassin d'Aquitaine, sont dérivées des données du forage ODP 747A (qui a, selon Oslick *et al.*, 1994, un très bon calage magnétostratigraphique au Miocène inférieur) et de l'échelle chronologique de polarité géomagnétique («geomagnetic polarity time scale», GPTS) de Cande & Kent (1992, 1995). Sur les Fig. 10 et 11, sont reportées des régressions linéaires simples proposées pour certains intervalles où la pente de croissance des rapports $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ apparaît assez constante (cf. discussion in Oslick *et al.*, 1994). Nous avons en outre appliqué un traitement polynomial dérivé d'une analyse «cubic spline» de la limite Chattien-Aquitaniens dans le site ODP 747A (programme

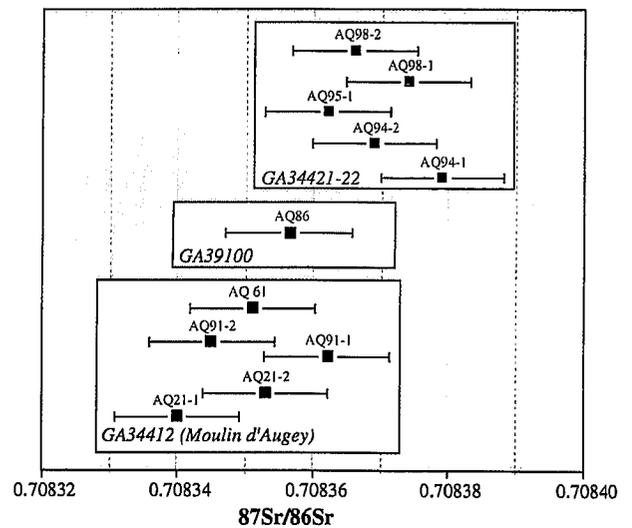


Figure 9- Rapports $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ dans les niveaux inférieurs du stratotype aquitaniens (La Brède, ruisseau du Saucats, Gironde). Ces données sont normalisées au NIST SRM-987 = 0,710254.

ISOPLOT de Ludwig, 1992). En effet, un plateau apparaît dans la courbe isotopique du strontium océanique près de cette limite. En première approximation, l'incertitude analytique donne un intervalle de confiance sur les âges (à 95%) de 0,23 Ma au Miocène inférieur et de 0,72 Ma au Miocène moyen. Deux courbes «cubic spline» ont également été réalisées et discutées pour le Miocène moyen (données ODP 747A et 588).

Stratigraphie régionale

1)- Aquitaniens

Base de l'Aquitaniens dans le stratotype de Saucats-La Brède

Dans le stratotype aquitaniens (ruisseau du Saucats), la couche marine la plus inférieure (Moulin d'Augey, à La Brède: AQ 21, 61, 91) donne des rapports Sr d'environ 0,708340 à 0,708360: analyses réalisées à la fois dans la même coquille et aussi dans différents taxa (Fig. 9, Table I). Une telle dispersion est proche de l'intervalle de confiance analytique. A titre de comparaison, pour rendre compte de la variabilité instrumentale, la série de nos mesures du standard SRM-987 effectuées conjointement aux analyses de l'ensemble des échantillons du Tabl. I donne une reproductibilité externe de $\pm 9,6 \times 10^{-6}$ (10 mesures).

On peut souligner la présence vers le sommet du Chattien d'un plateau dans les courbes océaniques $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ vs âges, bien visible par exemple dans les forages ODP 608 et 747A (respectivement Miller *et al.*, 1991 et Oslick *et al.*, 1994; Fig. 10); en plus de cette dispersion des points ODP, la limite présumée Chattien-Aquitaniens a été malheureusement trouvée près d'une limite de carottes (carottes n° 13 et 14) dans le forage 747A. La courbe isotopique de Sr n'est donc pas

linéaire pendant cet intervalle de temps. Oslick *et al.* (1994) proposent deux régressions linéaires différentes (équations 7 et 3a/4a, Fig. 10) dont la séparation correspond précisément à la limite stratigraphique présumée. Les âges calculés selon l'équation 3a/4a ne sont repris ici (Tabl. I) qu'à titre indicatif (cf. discussion in Cahuzac *et al.*, 1997). Des estimations d'âge par «cubic spline» non paramétrique, avec ses enveloppes d'erreur associées, apparaissent préférables. Le Tabl. I indique ces âges (sur les données ODP 747A) avec l'erreur analytique, qui est la seule à prendre en compte pour intercomparer les résultats. En revanche, la justesse de l'âge sur l'échantillon doit prendre en compte l'intervalle de confiance sur le cubic spline intégrant l'erreur analytique, ce qui donne une erreur nettement plus grande: par exemple, l'échantillon AQ 21-1 a 95% de chance d'avoir un âge vrai compris entre 21,2 et 24,0 Ma (soit 22,7 Ma +1,3 - 1,5 Ma); l'erreur est asymétrique du fait de la forme de la courbe (Fig. 10). Ces âges estimés (du niveau basal du Moulin d'Augey) sont proches de l'âge, géochronologiquement déduit, de la limite Oligo-Miocène (tel qu'indiqué sur la Fig. 10).

On peut noter aussi que les rapports Sr des échantillons issus des trois coupes examinées à la base du stratotype aquitainien (Fig. 9) suivent globalement la succession stratigraphique observée sur le terrain, i. e. l'ordre de superposition des niveaux. Par exemple, dans l'affleurement situé en amont du Moulin d'Augey dans le même ruisseau principal, l'analyse AQ 86 fournit un rapport Sr de 0,708356, un peu plus élevé que dans la coupe aval (âge de 22,2 Ma en cubic spline sur les données ODP 747A et avec la GPTS de Cande & Kent, 1992). La coupe sus-jacente dans l'affluent du ruisseau du Saucats (AQ 94, 95, 98) donne des rapports Sr d'environ 0,708360 à 0,708380 (âge moyen par cubic spline de 21,9 à 22 Ma, plus récent donc que l'âge des niveaux de base). Par ailleurs, ces trois coupes montrent un faciès (très) côtier, à influences lagunaires plus ou moins fortes, ce qui tendrait à indiquer que les âges estimés pour ces échantillons pourraient en fait être des âges minimum (éventuellement un peu rajeunis du fait de ce faciès).

Enfin, des données préliminaires dans l'Aquitainien du Bassin du Tage, Portugal, d'obédience atlantique également (Antunes *et al.*, 1997) fournissent des âges Sr de 22,1 ou 22,3 Ma, proches de nos estimations en Aquitaine, et qui là aussi ne correspondraient pas à l'extrême base de l'étage tel que défini en domaine océanique (base à 23,8 Ma in Berggren *et al.*, 1995).

Léognan Le Thil

Le falun aquitainien analysé a fourni un rapport de 0,708359 (AQ 111), correspondant à un âge estimé de 21,9 Ma (équation 4a, Tabl. II) et de 22,1 Ma (cubic spline, Fig. 10). Ce niveau pourrait être corrélé avec la partie médiane du stratotype de Saucats-La Brède, i. e. serait plus ancien que les coupes classiques de Bernachon et de L'Ariey (dont l'âge estimé est de 21,4 à 21,0 Ma: cf. discussion sur le stratotype aquitainien in

Cahuzac *et al.*, 1997). Au Thil, cela est accrédité par une première étude des Miogypsines, dont la population (*Miogypsina gunteri*, *M. tani*) montre dans ce niveau des caractères népioniques plus primitifs que dans les deux coupes citées à Saucats. De ce fait, ce résultat apparaît intéressant, et incite à compléter ultérieurement les analyses dans ce secteur de Léognan où les dépôts sont richement fossilifères, afin d'évaluer l'intervalle chronologique de l'Aquitainien marin localement.

La Brède Brousteyrot inférieur

L'estimation d'âge obtenue dans ce sable falunien est de 21,4 Ma (AQ 24: rapport de 0,708393); elle est très proche (et non significativement différente) de celle du falun de L'Ariey à Saucats (AQ 02: 21,3 Ma, rapport de 0,708399, cf. Cahuzac *et al.*, 1997). Les malacofaunes de ces deux horizons ont du reste été reconnues comme très voisines (cf. réf. *supra*). Dans les associations de miogypsines, les *Miogypsina tani* dominant dans les deux niveaux, avec des moyennes comparables des paramètres biométriques des spires népioniques (observ. pers.). Il est à noter qu'à Brousteyrot comme à L'Ariey, les niveaux faluniens sont sus-jacents à un calcaire (sableux) induré beige montrant dans les deux cas des figures d'érosion particulière (cavités et puits cylindriques: cf. Cahuzac *et al.*, 1996). Ce calcaire semble être un horizon-repère dans le secteur géographique considéré.

Saucats L'Ariey supérieur (niveau 12)

Ce niveau est franchement lagunaire, contenant quelques espèces de mollusques euryhalins et d'ostracodes saumâtres. La première analyse de ce niveau, sur un Bivalve (AQ 52), avait fourni un âge estimé (20,5 Ma) qui avait fait l'objet d'une discussion car apparemment trop récent pour la partie supérieure du stratotype aquitainien, eu égard à l'ensemble des données issues des niveaux marins sous- et sus-jacents (Cahuzac *et al.*, 1997).

Nous avons voulu faire une deuxième analyse, comparative, sur un autre taxon, en l'occurrence de la famille des Potamididae. Le rapport Sr obtenu (AQ 26: 0,708586, non reporté sur le Tabl. II) montre une incohérence encore plus forte: l'âge indicatif (18,6 Ma) est ici tout à fait aberrant et cet échantillon est à considérer comme un «outlier». Cela confirme d'une part que les coquilles des gastéropodes ne sont pas un matériel très fiable pour cette méthode et surtout d'autre part que des conditions lagunaires tendent à modifier (ou fausser) sensiblement les teneurs en isotopes du strontium dans le milieu par rapport aux valeurs du strontium océanique. Ce phénomène a été souvent mis en évidence dans de nombreux travaux (e. g., Hodell *et al.*, 1989; Ingram *et al.*, 1996; cf. discussion in Cahuzac *et al.*, 1997).

Aquitainien du Sud Aquitain

Haut-Bernet: en stratigraphie Sr, ce niveau marneux

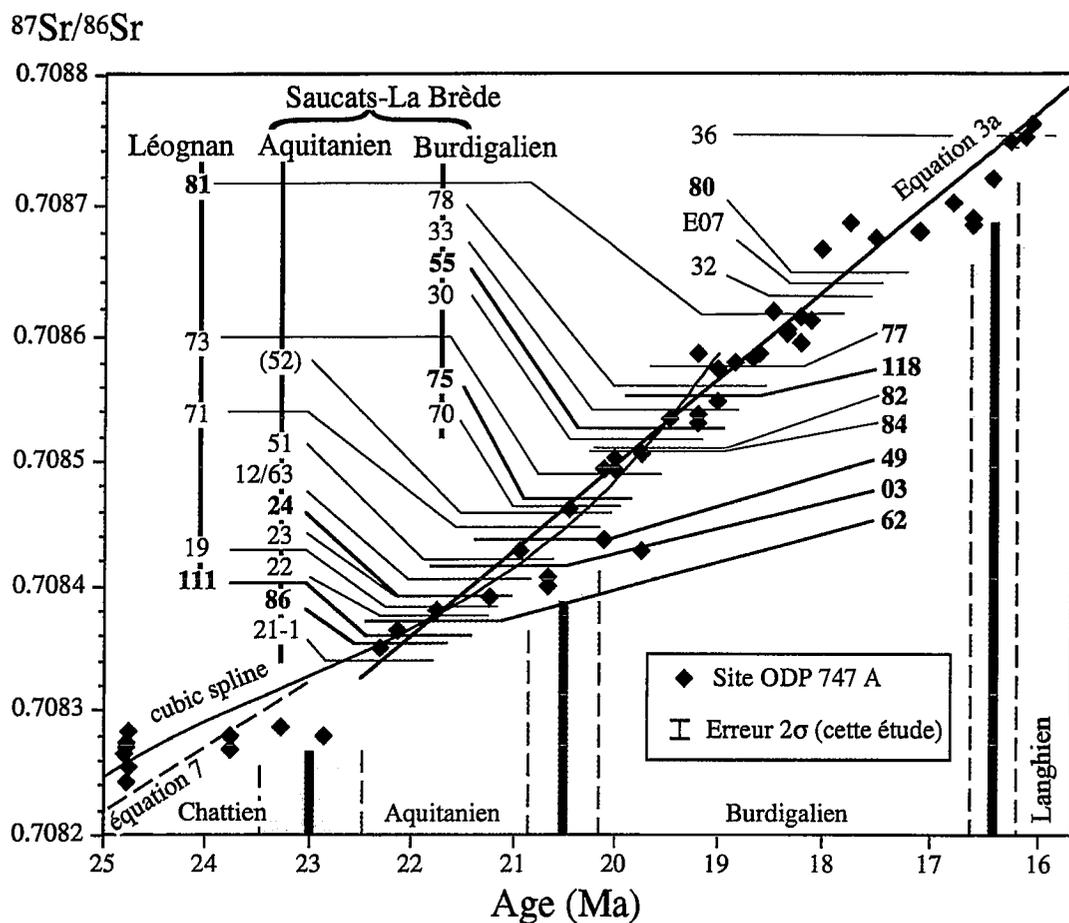


Figure 10- Rapports $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de quelques échantillons miocènes du Bassin d'Aquitaine, reportés avec les données du forage ODP 747A (standard de référence SRM-987 = 0,710254) et les droites de régression menant aux équations 3a et 7 (Oslick *et al.*, 1994). [Échantillon «(52)»: dépôt lagunaire; aussi ce rapport Sr est-il douteux. Échantillon «E07»: analyse par H. Elderfield, incluse in N. Goldsmith *et al.*, note en préparation]. Les traits épais sont les meilleures estimations d'âge, avec leurs intervalles de confiance, des limites d'étage (cf. Cahuzac *et al.*, 1997). Sur cette figure, la limite Burdigalien-Langhien est placée à 16,4 Ma, cf. discussion et réfs dans le texte et in, e.g., Fornaciari *et al.*, 1996. La barre d'erreur indiquée pour le présent travail (2σ = reproductibilité externe) = $1,6 \times 10^{-5}$. Les données de nos échantillons sont figurées par un trait horizontal; les nouvelles analyses présentées ici sont en caractères gras.

date de 21,8 Ma (AQ 62; équation 4a) ou 21,9 Ma (cubic spline); cela confirme bien son âge aquitanien. Le gisement de Haut-Bernet témoigne d'un faciès assez profond (circalittoral à épibathyal, d'où l'absence des miogypsines), et son âge avait été précédemment discuté: chattien ou aquitanien (cf. Cahuzac *et al.*, 1995). L'estimation d'âge Sr s'accorde bien avec le rattachement aux zones N 4 Blow d'une part et NN 1 (ou NN 1-2) Martini d'autre part, proposé par Müller & Pujol (1979) et Cahuzac *et al.* (1995). Ce site correspond aux dépôts de la bordure S-W du paléogolfe de Saubrigues (paléocanyon creusé à la base du Chattien, et colmaté au Miocène dans le secteur considéré, Fig. 2).

St-Martin-d'Oney: le falun récifal, à faunes marines très riches et très diversifiées, date d'environ 21,1 Ma, i. e. de l'Aquitanién supérieur (Tabl. II). Par rapport au stratotype de l'étage aquitanien, c'est avec les associations fauniques du gisement de L'Ariey (d'âge proche) qu'il y a le plus de ressemblances. L'âge Sr estimé est de plus conforté par le rattachement de ce dépôt de St-Martin-d'Oney aux zones N 4 Blow et SB 24-supérieure (zonation des grands foraminifères néritiques: Cahuzac & Poignant,

1997), avec la forme *Miogypsina tani* dominante (= *M. borneensis*, in Cahuzac & Gautret, 1993).

2)- Burdigalien

Bazadais

L'analyse AQ 118 fournit un âge estimé de 19,4 Ma. Ce niveau s'avère donc plus ou moins synchrone des coupes de Saucats Pont-Pourquey et La Bourasse: il est d'âge burdigalien inférieur, l'étage étant considéré au sens moderne. Une bonne cohérence existe avec l'association de *Miogypsinidae*, qui comporte dans ce sédiment des *Miogypsina* bispiralées (formes *M. globulina* et *M. intermedia*, observ. pers.), comme dans le stratotype bordelais du Burdigalien. Il s'agit là d'un résultat nouveau et important, car il infirme de nombreux travaux antérieurs sur le Bazadais, où l'étage burdigalien était présumé avoir un faciès continental, avec un rattachement à l'Aquitanién de l'ensemble du Miocène inférieur marin de cette région (réf. in Vigneaux, 1953; Caralp *et al.*, 1960). Par ailleurs, on peut noter au-dessus du niveau examiné la présence d'une épaisse série de grès calcaires et sables beiges assimilable au faciès «grès de Bazas» bien représenté

régionalement. L'analyse AQ 118 fournit aussi une indication pour la datation localement de cette série détritique, qui par suite est d'âge au moins -[aussi récent que]- burdigalien inférieur (et non Aquitainien «moyen» ou «supérieur», cf. Degrange-Touzain, 1888; Lubet, 1949). Cela rejoint et conforte diverses données préliminaires présentées par Drooger (1963, 1964) qui signalait dans cette série des miogypsines de type burdigalien.

A la lumière de ces éléments, une révision stratigraphique plus générale s'avère nécessaire régionalement, et des analyses détaillées de nombreuses coupes du Bazadais sont en cours pour y préciser notamment la limite des séquences aquitanienne et burdigalienne.

Extension et datation du Burdigalien en Centre et Est aquitain

Les deux analyses effectuées à Sos (AQ 84) et à Estrepouy (AQ 82) dans les «marnes supérieures à *Crassostrea aginensis*» sus-jacentes au calcaire gris lacustre, donnent un rapport remarquablement identique (Tabl.7 II), alors que ces deux localités sont très éloignées, séparées par une distance de 25 km d'Ouest en Est. L'âge estimé est de 19,8 Ma, ce qui correspond à du Burdigalien très inférieur; la présence de *Miogypsina globulina* dans le dépôt d'Estrepouy (Gourinard *et al.*, 1987) conforte cette donnée. On peut ainsi dater la phase marine la plus transgressive vers l'Est de l'Aquitaine, en soulignant que cette formation marneuse à huîtres est largement représentée en affleurement à l'Est de l'anticlinal de Roquefort jusqu'à la Garonne (Fig. 1).

De plus, l'estimation de 19,8 Ma apparaît comme un âge minimum. En effet, *Crassostrea aginensis* est une espèce euryhaline et peut supporter des conditions plus ou moins lagunaires; du reste, l'ostracofaune associée, observée dans ce faciès en quelques localités, admet la présence de nombreuses formes saumâtres. Or, dans de telles conditions, le rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, s'il est modifié, ne peut être qu'augmenté par suite des apports hydriques continentaux, ce qui tend à rajeunir l'âge estimé de l'échantillon. Pour les deux niveaux examinés, leur âge sera donc de 19,8 Ma ou un peu plus ancien. Précédemment, Gourinard *et al.* (1987) proposaient pour Estrepouy une estimation d'âge de 19 Ma, qui paraît en conséquence trop récente. L'utilisation par ces auteurs de cette dernière estimation pour argumenter un éventuel diachronisme, d'Ouest en Est, du calcaire gris lacustre sous-jacent (ainsi que des marnes à huîtres) ne semble par suite pas valable.

D'autre part, l'âge estimé de $\geq 19,8$ Ma des marnes marines d'Estrepouy peut être examiné par rapport au niveau riche en mammifères terrestres situé au-dessus de ces marnes, donc un peu plus récent (Roman & Viret, 1930). Une telle estimation s'accorde bien avec le rattachement récemment proposé de ce niveau à mammifères à la base de la biozone mammalienne MN 3 (Bulot & Ginsburg, 1996). On peut noter que d'autres gisements aquitains à mammifères, tels que Cestas ou

Pessac Cap-de-Bos (= Magonty) ont été placés nettement au-dessus d'Estrepouy au sein de la zone MN 3, et sensiblement en équivalence avec Wintershof-West, localité-repère de cette zone (Duranthon & Cahuzac, 1997). Les âges (Sr) estimés des deux gisements aquitains cités (respectivement 18,9 et 17,9 à 18 Ma) confortent les observations faites pour la coupe d'Estrepouy.

Base du Burdigalien à Saucats - La Brède

- La Brède Brousteyrot supérieur (AQ 75)

Il s'agit là du premier horizon marin burdigalien, reposant sur le calcaire lacustre fini-aquitain qui est aussi présent notamment dans le stratotype aquitain (Mayer, 1858). Localement à La Brède Brousteyrot, la première phase de la transgression burdigalienne date d'environ 20,3 Ma (AQ 75). Cette estimation d'âge est très voisine (et non significativement différente) de celle obtenue pour les premiers niveaux transgressifs analysés à Saucats: à Péloua base, un âge de 20,4 Ma a été noté (AQ 70, Fig. 10, et cf. Cahuzac *et al.*, 1997) pour des marnes coquillières sus-jacentes à des dépôts lacustres. La phase la plus précoce de l'avancée de la mer burdigalienne apparaît donc globalement synchrone dans le secteur de Saucats-La Brède, après l'épisode continental existant entre Aquitainien et Burdigalien. On peut noter qu'à Léognan en revanche, il semble que la transgression marine burdigalienne ait débuté un peu plus tôt, vers 20,5 à 20,6 Ma (AQ 71, Fig. 10), ce qui correspond précisément à l'âge de base de l'étage tel qu'il est actuellement daté en domaine océanique (Berggren *et al.*, 1995): dans le secteur de Léognan, l'existence d'une phase lacustre antérieure (finie-aquitainienne) n'est pas démontrée de manière certaine.

- Saucats La Bourasse

La deuxième analyse (AQ 55) du falun à Turritelles donne un rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de 0,708529 sur un Bivalve aragonitique; il était de 0,708517 dans la première analyse (AQ 30, Fig. 10) précédemment effectuée sur une Turritelle. Les deux âges estimés (respectivement 19,4 et 19,6 Ma) sont proches dans ce cas. L'estimation obtenue sur le Bivalve semble toutefois plus fiable que celle concernant un gastéropode (cf. *supra*, choix des échantillons), et plus propice à des comparaisons avec d'autres analyses réalisées sur du matériel de même type.

Ces valeurs trouvées à La Bourasse peuvent en outre être discutées dans un cadre (paléo) géographique. Localement, on peut noter que les deux coupes de Péloua et de La Bourasse, bien que proches géographiquement (situées à un peu plus de 100 m de distance, cf. coupe *in* Cahuzac *et al.*, 1997), montrent, au-dessus de formations lacustres fini-aquitainiennes corrélables entre elles, des dépôts burdigaliens diachrones (20,2 Ma pour la couche récifale de Péloua et 19,4 Ma pour le falun à Turritelles de La Bourasse). D'une manière préliminaire, on peut évoquer divers éléments pour expliquer cette différence, due au non-dépôt ou à une érosion de la séquence marine inférieure à La Bourasse: petit haut-fond à La Bourasse formé par un calcaire lacustre très induré et plus épais,

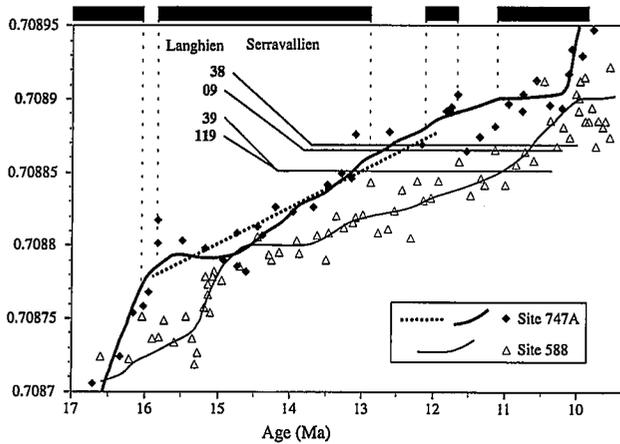


Figure 11- Synthèse de données de deux sites ODP de référence (Sites 747A et 588, d'après respectivement Oslick *et al.*, 1994, et Hodel *et al.*, 1991), et rapports $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de quelques échantillons serravalliens du Bassin d'Aquitaine. La droite en pointillés est la régression linéaire (méthode des moindres carrés) proposée par Oslick *et al.*, 1994 (équation 2a). Les deux courbes sont des «cubic splines» réalisés sur les points des sites 588 et 747A. Toutes ces données sont normalisées au NIST SRM-987 = 0,710254. Les barres noires en haut de la figure sont les portions du leg 747A considérées comme continues, séparées par des lacunes (Harwood *et al.*, 1992).

que l'on voit actuellement un peu plus élevé en altitude en cette localité, (et plus généralement paléoreliefs tourmentés du toit de l'Aquitainien dont les calcaires ont été érodés et en partie karstifiés lors de la phase d'exondation suivant leur dépôt), et/ou petits mouvements tectoniques verticaux provoquant le jeu de compartiments relevés ou abaissés, et/ou transgression burdigalienne plus importante dans sa deuxième phase d'avancée, avec une tranche d'eau plus forte, laissant des dépôts coquilliers sur une plus grande étendue, etc.

Niveaux supérieurs du Burdigalien de la région-type (Gironde)

a)- Deux analyses nouvelles viennent compléter les données déjà disponibles:

- Cestas: le falun analysé date de 18,9 Ma (AQ 77); cela correspond bien à la partie supérieure du stratotype bordelais de l'étage, et en particulier aux niveaux supérieurs présents à Saucats. Les malacofaunes de ces divers horizons sont du reste très comparables.

- Léognan: le falun de Sangsueyre (AQ 81) fournit une estimation d'âge de 18,3 Ma. On peut souligner le caractère récent de cet âge par rapport à toutes les données précédemment connues dans ce secteur. C'est un résultat nouveau et très intéressant pour évaluer la durée de la présence marine régionalement. La faune de ce niveau témoigne de conditions franchement marines, bien ouvertes vers l'océan, avec un plancton relativement fréquent. Il semble qu'aucune influence lagunaire n'ait pu perturber, en l'augmentant, le rapport isotopique du strontium (ce qui aurait rajeuni artificiellement l'âge). Ce niveau, situé le plus à l'Ouest et le plus en amont dans le vallon de l'Eau Blanche, correspond donc à la phase la plus récente actuellement connue de la transgression burdigalienne localement.

b)- «Burdigalien supérieur» *auctores*

D'une manière générale, dans le Nord aquitain, les affleurements classiques attribués par les anciens auteurs au «Burdigalien supérieur» (*sic*) de Gironde (Benoist, Tournouer, Fallot, Depéret, Dollfus..., cf. réf. in Daguin, 1948) donnent des rapports $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ d'environ 0,708540 à 0,708608 (d'environ 19,2 à 18,3 Ma; cf. Tabl. II et Cahuzac *et al.*, 1997). C'est le cas à Saucats: Pont-Pourquey supérieur (n°05; 19,2 Ma), Lassime (haut de la séquence burdigalienne: n°33 sur la Fig. 10; 19,2 Ma), Coquilleyre (n°78; 19,0 Ma); à Léognan: Sangsueyre (n°81; 18,3 Ma), ainsi qu'à Cestas (n°77; 18,9 Ma)... Cette partie «supérieure» du stratotype bordelais de l'étage correspond en fait à la partie moyenne du Burdigalien pris dans son acception moderne, i. e. s'étendant au total sur un intervalle de 20,5 Ma à environ 16,4 Ma.

Implications biostratigraphiques:

Une importante conséquence de ces données concerne la dernière apparition (= la présence la plus récente) des *Miogypsina* dans le Burdigalien d'Aquitaine. Les espèces de ce genre de grand foraminifère benthique sont considérées comme d'excellents marqueurs stratigraphiques en domaine néritique. On peut rappeler que par exemple en Europe les formes bispiralées sont très largement distribuées dans la majorité des bassins au Burdigalien inférieur-moyen, alors que les taxons plurispiralés (*M. cushmani*, *M. mediterranea*) apparus dans la partie supérieure de l'étage, ne se rencontrent que dans les bassins les plus méridionaux, du Portugal à la Méditerranée (Cahuzac, 1984; Lauriat-Rage *et al.*, 1993). En Aquitaine, les miogypsines burdigaliennes bispiralées (*M. globulina*, *M. intermedia*) sont connues, parmi les niveaux les plus récents, notamment dans les localités de Pont-Pourquey, Lassime, Coquilleyre, Cestas (Drooger *et al.*, 1955; Cahuzac & Poignant, 1997). Mais elles sont apparemment absentes, dans l'état actuel des recherches, au sein des dépôts un peu plus récents de Léognan Sangsueyre et de Pessac Magonty (AQ 32, âge de 17,9 à 18 Ma, Fig. 10), qui présentent pourtant un faciès néritique très coquillier favorable au développement des grands foraminifères, ainsi que dans le Burdigalien supérieur de St-Jean-de-Marsacq (17,7 Ma: Pinot, Le Bragas). La disparition des *Miogypsina* se ferait donc en Aquitaine entre 18,9 Ma (Cestas) et 18,3 Ma (Sangsueyre), ce qui complète les données relatives à la biozone SB 25 définie par Cahuzac & Poignant (1997) sur la base de ces marqueurs.

Conclusions: intervalle de variation des rapports isotopiques de strontium de l'étage burdigalien en Aquitaine

Ces données intègrent les présents résultats et ceux exposés précédemment (Cahuzac *et al.*, 1997; cf. aussi DePaolo & Ingram, 1985).

- Région du stratotype historique:

Dans la zone de Saucats/Léognan, la limite Aquitainien-Burdigalien correspond à un intervalle $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ d'environ 0,708440 à 0,708445, i. e. à un âge (basé

Référence analyse	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (SRM = 0,710264)	Ages estimés (Ma) [Equations de Oslick et al., 1994]			Ages estimés (Ma) [Cubic spline sur le site 747A]			Ages estimés (Ma) [Cubic spline sur le site 588: Fig. 11]			N° échantillon	Localité/Coupe	Fossile analysé [a] = Bivalves	Etage
		2a	12,3	0,72	± 2σ	12,6	+1,0	-0,8	10,7	+0,7				
AQ 38	0,708888	2a	12,3	0,72	12,6	+1,0	-0,8	10,7	+0,7	-0,8	GA 34410	Pessac Cap-de-Bos supérieur	<i>Glycymeris bimaculata</i> [a]	Serravallien
*AQ 39	0,708851	2a	12,9	0,72	13,2	+0,8	-0,7	11,1	+0,7	-1,4	GA 34420	Saucats Lassime supérieur	<i>Glycymeris bimaculata</i> [a]	Serravallien
AQ 09	0,708864	2a	12,4	0,72	12,8	+1,0	-0,8	10,8	+0,7	-0,9	Moulin Debat (falun)	Salles	<i>Glycymeris cor</i> [a]	Serravallien
AQ 119	0,708851	2a	12,9	0,72	13,2	+0,8	-0,7	11,1	+0,7	-1,4	GA 34490	St-Sever Pipoulan supérieur	<i>Megacardita jouaneti</i> [a]	Serravallien

Tableau III - Données analytiques $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de quelques échantillons issus des niveaux du Miocène moyen (Serravallien) d'Aquitaine. (*: donnée reprise de Cahuzac *et al.*, 1997). Indications d'écart-type sur les âges: cf. texte.

sur les données ODP 747A) de $20,6 \pm 0,23$ Ma, et à un âge «cubic spline» d'environ 20,5 Ma (Fig. 10).

Dans cette région, et au moins pour les échantillons que nous avons analysés, les rapports $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ des affleurements burdigaliens de Saucats varient d'environ 0,708460 à 0,708560 (i. e. d'environ 20,4 à 19 Ma). Ces rapports dans les affleurements de Léognan varient de 0,708446 à 0,708608 (i. e. d'environ 20,6 -ou 20,5- à 18,3 Ma).

- S-W de l'Aquitaine:

Dans la partie S-W du Bassin, des dépôts plus récents ont été mis en évidence. A St-Jean-de-Marsacq (Pinot: AQ 80, Le Bragas: AQ 07, cf. Fig. 10), des niveaux de Burdigalien supérieur attribués respectivement aux zones NN3-4 et NN4 Martini donnent des rapports $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ très voisins, d'environ 0,708645 (environ 17,7 Ma). Dans cette région, nous avons déjà noté (Cahuzac *et al.*, 1997) que la limite Burdigalien-Langhien se trouvait dans un intervalle d'environ 0,708650-0,708750. Ce dernier rapport (0,708750) correspond à l'échantillon langhien de Saubrigues-Lafaurie (que nous avons situé sur la Fig. 2; AQ 36), dans la partie N-W du golfe miocène de Saubrigues.

3)- Serravallien

A partir d'environ 16 Ma, le taux de croissance des rapports Sr dans l'océan commence à baisser sensiblement (Fig. 11). Hodell & Woodruff (1994) soulignent que globalement la courbe isotopique de strontium semble non-linéaire pendant l'ensemble Miocène moyen et supérieur. Ils notent qu'après un aplanissement de la courbe entre 15 et 13 Ma, une petite période d'augmentation de pente se produit entre 12 et 9 Ma.

En outre, si l'on considère par exemple les données issues des forages ODP 588 et 747A où les valeurs isotopiques de strontium sont bien documentées, on constate qu'il y a une forte dispersion des points (Fig. 11; cf. Hodell *et al.*, 1991; Hodell & Woodruff, 1994; Oslick *et al.*, 1994). Cette dispersion peut être due à de nombreuses causes: bioturbations, phénomènes diagénétiques, calage chronologique incertain des séries ODP, variabilité à court terme accrue durant cette période (du type de celle mise en évidence pour le Néogène terminal: Farrell *et al.*, 1995). L'obtention de données complémentaires issues d'études très détaillées de nouveaux sites ODP est nécessaire pour comprendre les phénomènes évoqués.

Corrélativement, c'est au Miocène moyen que sont observées en domaine océanique de fortes fluctuations à la fois dans les courbes de $\delta^{18}\text{O}$, de $\delta^{13}\text{C}$ et dans les courbes eustatiques globales. Des événements majeurs sont reliés à ces variations: mise en glace de l'Antarctique, refroidissement climatique océanique, changements dans les circulations d'eau profonde, cyclicité probable dans l'enfouissement de matière organique, etc. (Woodruff & Savin, 1991; Oslick *et al.*, 1994; Flower & Kennett, 1994, et réf. incluses dans ces travaux).

Toutefois, on peut remarquer en outre qu'au Miocène moyen les valeurs isotopiques du strontium correspondant au site 747A sont clairement décalées par rapport à celles du site 588 (Fig. 11); il en résulte que les courbes de régression fournissent à cette époque des âges décalés vers des valeurs plus récentes, de l'ordre de 1 à 1,5 Ma, pour le site 588 que pour le site 747A. La cause précise de tels écarts n'est pas connue avec certitude. Les mêmes raisons que pour la dispersion des points (cf. *supra*) peuvent être invoquées pour expliquer ce décalage des enregistrements Sr. Une influence éventuelle de la situation géographique (le site 747A est en plus hautes latitudes Sud: plateau de Kerguelen dans le Sud de l'Océan Indien, que l'autre site, 588: Est de l'Australie), du fait des changements océanographiques et climatiques survenus, n'a pourtant pas été examinée par les auteurs. Oslick *et al.* (1994) soulignent que l'enregistrement magnétostratigraphique du forage 747A au Miocène inférieur apparaît comme très fiable et montre le contrôle d'âge le moins ambigu de tous les enregistrements des rapports Sr actuellement disponibles. En revanche, de nombreuses lacunes (présumées) sont repérées dans le forage 747A au Miocène moyen-supérieur (cf. Harwood *et al.*, 1992). Sur la Fig. 11, nous avons considéré de manière préliminaire, comme Oslick *et al.* (1994; équation 2a de ces auteurs), que pour un petit intervalle (ici de 16 à 12 Ma) les variations de ces rapports pouvaient schématiquement être traduites par une droite de régression qui est donc ici relative aux seules données ODP 747A. Deux courbes de «cubic spline» non paramétriques sont également calculées globalement sur ces mêmes points d'une part, et sur les points du forage 588 d'autre part (Fig. 11). Sur la période 15-10 Ma, les données du site 588 pourraient être plus fiables, si l'on a confirmation d'un bon calage magnétostratigraphique.

Suite à ces diverses considérations, il est clair que la chimiostratigraphie du strontium fournit une résolution sensiblement moindre au Miocène moyen qu'au Miocène

inférieur, avec les données disponibles aujourd'hui. Les quatre niveaux examinés ici (Tabl. III) montrent des rapports Sr assez voisins, de 0,708850 à 0,708870. Par suite, les âges estimés seront assez proches, compris dans l'intervalle 12 à 13 Ma avec l'équation 2a. L'écart-type sur ces âges (2σ) est de $\pm 0,72$ Ma en première approximation (i. e. en appliquant seulement l'intervalle de confiance, 2σ , de la mesure analytique aux équations). D'autre part, l'estimation d'âge par le «cubic spline» sur les points ODP 747A (Fig. 11) donnerait un intervalle de 12,6 Ma (AQ 38) à 13,2 Ma (AQ 39 et 119), avec une erreur (asymétrique) sur le spline de: + 0,8 à + 1 Ma et - 0,7 à -0,8 Ma.

Pour comparaison, si l'on prend en compte la courbe Sr (cubic spline) établie avec les données du site 588 (Hodell & Woodruff, 1994; Fig. 11, Tabl. III), l'intervalle d'âge estimé des 4 niveaux étudiés ici serait alors d'environ 10,7 à 11,1 Ma (erreur 2σ sur le «spline» de + 0,7 Ma et de -0,8 à -1,4 Ma). On rappellera ici que les incertitudes sur les données du forage ODP 747A pourraient faire préférer pour cet intervalle de temps les âges estimés d'après le forage 588; cela nous amènerait à reconsidérer l'âge précédemment proposé pour l'échantillon AQ 39 (Cahuzac *et al.*, 1997). [Toutefois, de tels âges correspondraient globalement à un intervalle eustatique de relatif bas niveau marin (cycle TB 2-6; Haq *et al.*, 1988), ce qui serait assez peu cohérent avec le caractère très largement transgressif de la mer en Aquitaine].

En première analyse, on peut souligner que la situation de ces échantillons dans la partie supérieure à sommitale, d'une part des coupes affleurantes et d'autre part des successions complètes de Miocène moyen marin reconnues en Aquitaine (forages et affleurements, Ducasse & Cahuzac, 1997), s'accorde avec une attribution au Serravallien moyen à supérieur. De même, il y a une bonne corrélation avec les associations mammaliennes mises en évidence dans certains sites (biozones MN 7/8: Duranthon & Cahuzac, 1997).

Conclusions

La description dans le Bassin d'Aquitaine de certains stratotypes miocènes historiques conduit à rechercher une caractérisation approfondie de ces dépôts. Notre programme d'investigations systématiques des rapports $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ dans les séries marines oligocènes et miocènes de ce bassin, bien qu'encore en cours, s'avère très prometteur. En particulier, il fournit un solide ensemble de données en excellent agrément avec la stratigraphie à la fois reconnue sur le terrain et basée sur les éléments micropaléontologiques. Dans ce travail, ont pu être précisés les données sur les dépôts types de l'Aquitainien et du Burdigalien, ainsi que les intervalles de variation des rapports $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ pour ces étages. De plus, diverses analyses effectuées dans d'autres régions du bassin mènent à de premières discussions fructueuses et à des remises en question d'attributions stratigraphiques

anciennes, que l'on devra maintenant conforter par de nouvelles recherches, déjà en cours. Dans les échantillonnages réalisés, une corrélation des méthodes bio- et chemostratigraphiques est nécessaire afin de parvenir à des datations fiables. La prise en compte des conditions de paléomilieux de sédimentation, surtout dans les faciès littoraux, est importante pour discuter les rapports isotopiques obtenus. Concernant le Miocène moyen (dépôts «helvétiques» *auctores* bien représentés en Aquitaine), la première approche effectuée confirme la nécessité de réaliser de nouvelles analyses susceptibles de préciser régionalement les éléments chemostratigraphiques de cette époque. De plus, des incertitudes demeurent quant à nos connaissances sur l'évolution globale des rapports Sr dans les eaux marines océaniques pendant tout le Miocène moyen.

L'ensemble de données disponibles permettra par ailleurs des comparaisons intéressantes avec d'autres régions atlantiques comme le Bassin ligérien (N-W de la France) ou le Portugal, ainsi qu'avec le domaine méditerranéen, tant sur le plan stratigraphique que paléogéographique et paléo-eustatique notamment.

Nous remercions vivement: -pour leur aide dans l'échantillonnage de terrain ou le prêt de matériel récolté récemment, A. Cluzaud, J.P. Dupuy, L. Lagarde, M. Lenoir, L. Londeix, P. Rocher; -pour les informations fournies, A. Cluzaud, J. F. Lesport; -N. Goldsmith, chairman de «Anthracothere Hill project», qui a mis en oeuvre les premières Sr analyses réalisées par H. Elderfield (Cambridge University); -D. Mercier et le Groupe Géoprospective/Ecole des Mines/Andra pour leur coopération et la prise en charge de l'analyse n° AQ 119; -la «Réserve Naturelle Géologique de Saucats - La Brède» (Commission scientifique), son conservateur Y. Gilly, et le Ministère de l'Environnement, qui ont soutenu cette étude et permis le financement d'une partie des analyses; -P. Bonhomme, qui a réalisé les manipulations au C. F. R. (Centre des Faibles Radioactivités) de Gif-sur-Yvette; -J. Pais, rapporteur, et J. P. Calvo pour ses conseils éditoriaux.

Bibliographie

- Antunes, M. T., Elderfield, H., Legoinha, P. & Pais, J. (1997): A chronostratigraphical framework for the Miocene of the Lower Tagus basin (Portugal). *Communication au 2nd Congress R. C. A. N. S.: «Regional Committee of the Atlantic Neogene Stratigraphy»*, Salamanca, Oct. 1997. Vol. résumés, p. 25-27 (Univ. Salamanca édit.).
- Benoist, E. (1874): Note sur la constitution géologique du vallon de Moras. *Proc.-Verb. Soc. Linn. Bordeaux*, 29: 139-142.
- Benoist, E. (1881): Compte-rendu de la 63e fête linnéenne célébrée à Léognan, le 26 juin 1881. *Proc.-Verb. Soc. Linn. Bordeaux*, 35: 42-45.
- Benoist, E. (1886): Note sur la succession des niveaux géologiques au ruisseau de Moras. *Proc.-Verb. Soc. Linn. Bordeaux*, 40: 71-72.
- Benoist, E. (1889): Compte-rendu géologique de la Fête Linnéenne à Villandraut. *Proc.-Verb. Soc. Linn. Bordeaux*, 43: 76-90.
- Berggren, W. A., Kent, D. V., Swisher, C. C. & Aubry, M.-P. (1995): A Revised Cenozoic Geochronology and

- Chronostratigraphy. In: «Geochronology, Time Scales and Global Stratigraphic Correlations: A Unified Temporal Framework for an Historical Geology» (Berggren W. A., Kent D. V., Aubry M. P. and Hardenbol J., eds). *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Volume 54*, Tulsa: 129-212.
- Blow, W. A. (1969): Late Middle Eocene to Recent planktonic foraminiferal biostratigraphy. *Proceed. 1st Intern. Conf. Planktonic Microfossils* (Geneva, 1967), Ed. Brill, Leiden, vol. 1: 199-422.
- Bongrain, M., Cahuzac, B. & Freneix, S. (1994): *Amussiopecten* (*Costellamussiopecten*) *praeahaueri* nov. subgen., nov. sp. (Pectinidae, Bivalvia) de l'Aquitanién basal d'Aquitaine. Considérations sur la lignée des *Costellamussiopecten*. *Revue de Paléobiologie*, Genève, 13, 1: 97-115.
- Bulot, C. & Ginsburg, L. (1996): Précisions sur l'âge des gisements à mammifères miocènes de Saint-Vincent-de-Lamonjoie (Lot-et-Garonne) et de Navère (Gers). *Bull. Muséum national Hist. Natur.*, Paris, (4), section C, 18, 4: 615-628.
- Cahuzac, B. (1984): Les faunes de Miogypsinidae d'Aquitaine méridionale (France). In: Benthos'83, 2e Symp. Intern. Foraminifera (Pau). H.J.Oertli Ed., Pau, p. 117-129.
- Cahuzac, B. (1995): Les grands traits de la Chalosse à l'Oligocène et au Miocène. *Colloque «La Chalosse»*, 5-6 juin 1993, Montfort et Dax. Volume du Colloque, *Bull. Soc. Borda*, Dax, 120e année, 439, 3: 393-422.
- Cahuzac, B., Carbonel, P., Cluzaud, A., Colin, J.-P., Faury, B., Gilly, Y., Lesport, J.-F., Londeix, L., Martin, N. & Rocher, P. (1996): La Réserve Naturelle Géologique de Saucats-La Brède (Gironde). *Sud-Ouest Nature*, Bordeaux, (SEPAANSO: Soc. Etude, Prot., Aménag. Nature Sud-Ouest, édit.), 92: 64 p.
- Cahuzac, B. & Gautret, P. (1993): Découverte, dans le Miocène inférieur des Landes (Bassin Aquitain, France) de constructions squelettiques flottantes attribuées aux Hydrozoaires et signalées pour la première fois dans le Cénozoïque français. *C. R. Acad. Sci.*, Paris, 316, Série II (6): 853-860.
- Cahuzac, B., Janin, M.-C. & Steurbaut, E. (1995): Biostratigraphie de l'Oligo-Miocène du Bassin d'Aquitaine fondée sur les nannofossiles calcaires. Implications paléogéographiques. *Géologie de la France*, Orléans (B.R.G.M. et Soc. géol. Fr., eds.), 2: 57-82.
- Cahuzac, B. & Pognant, A. (1996): Foraminifères benthiques et Microproblematica du Serravallien d'Aquitaine (Sud-Ouest de la France). *Géologie de la France*, Orléans (B.R.G.M. et Soc. géol. Fr., eds.), 3: 35-55.
- Cahuzac, B. & Pognant, A. (1997): Essai de biozonation de l'Oligo-Miocène dans les bassins européens à l'aide des grands foraminifères néritiques. *Bull. Soc. géol. Fr.*, Paris, 168, 2: 155-169.
- Cahuzac, B., Turpin, L. & Bonhomme, P. (1997): Sr isotope record in the area of the Lower Miocene historical stratotypes of the Aquitaine Basin (France). In: *Miocene Stratigraphy: an Integrated Approach* (Montanari A., Odin G. S. and Coccioni R., eds). *Developments in Paleontology and Stratigraphy*, 15, Elsevier, Amsterdam. Chapter A 4: 33-56.
- Cande, S. C. & Kent, D. V. (1992): A new geomagnetic polarity time scale for the Late Cretaceous and Cenozoic. *J. Geophys. Res.*, Washington, 97: 13 917-13 951.
- Cande, S. C. & Kent, D. V. (1995): Revised calibration of the geomagnetic polarity timescale for the Late Cretaceous and Cenozoic. *J. Geophys. Res.*, Washington, 100, B4: 6093-6095.
- Caralp, M., Moyes, J. & Vigneaux, M. (1960): Les séquences biolithologiques du Miocène inférieur du Bazadais. *Bull. Soc. géol. France*, Paris, (7), 2: 71-75.
- Caralp, M. & Vigneaux, M. (1959): La géologie du Bazadais. *Actes Soc. Linn. Bordeaux*, 98: 91-113.
- Carbonel, P., Colin, J.-P., Danielopol, D. L. & Londeix, L. (1986): *Kovalevskiella* (Ostracoda, Timiriasevinae), genre à mode de vie benthique depuis l'Oligocène, son adaptation à la vie interstitielle. *Geobios*, Lyon, 19, 6: 677-687.
- Chaix, C., Cahuzac, B. & Cluzaud, A. (1999): Les Scléractiniaires du Serravallien de Pessac (Nord-Aquitaine, France); approche paléocéologique. *Geobios*, Lyon, 32, 1: 33-62.
- Croizier, (M. ?) (1886): Compte-rendu géologique de la 68e Fête Linnéenne (Moras). *Proc.-Verb. Soc. Linn. Bordeaux*, 40: 80-88.
- Daguin, F. (1948): *L'Aquitaine occidentale*. Paris, Hermann et Cie éd., 227 p.
- Degrange-Touzain, A. (1888): Notes géologiques sur le Bazadais. *Proc.-Verb. Soc. Linn. Bordeaux*, 42: 72-81; 88-92; 93-111; 111-113.
- Degrange-Touzain, A. (1895): Note sur deux affleurements de falun situés dans le voisinage du château du Thil, à Léognan. *Proc.-Verb. Soc. Linn. Bordeaux*, 48: 64-76.
- Degrange-Touzain, A. (1909): Faune du falun de Cestas. *Proc.-Verb. Soc. Linn. Bordeaux*, 63: 93-103.
- Delbos, J. (1854): Essai d'une description du Bassin de l'Adour, suivi de considérations sur l'âge et le classement des terrains nummulitiques. *Thèse Sciences*, Univ. Paris: 162 p.
- DePaolo, D. J. (1986): Detailed record of the Neogene Sr isotopic evolution of seawater from DSDP Site 590B. *Geology*, Boulder, 14: 103-106.
- DePaolo, D. J. & Ingram, B. L. (1985): High-Resolution Stratigraphy with Strontium Isotopes. *Science*, Washington, 227: 938-941.
- Dollfus, G. F. (1912): Recherches nouvelles sur l'Aquitainien en Aquitaine. *Bull. Soc. géol. France*, Paris, (4), 12: 472-500.
- Dollfus, G. F. (1920): Réunion Extraordinaire de la Société géologique de France à Bordeaux, du 23 au 28 août 1920. *C. R. somm. Soc. géol. Fr.*, Paris, (4), 20, 13: 141-160.
- Drooger, C. W. (1963): Evolutionary trends in Miogypsinidae. In: *Evolutionary trends in Foraminifera* (von Koenigswald, G. H. R. et al., eds). Elsevier Publ. Comp., Amsterdam: 315-349.
- Drooger, C. W. (1964): Les transgressions du Miocène inférieur en Aquitaine. (2e Réunion du Comité du Néogène Méditerranéen, Sabadell-Madrid, 1961), *Cursillos y Conferencias del Instituto «Lucas Mallada»*, Madrid, fasc. IX: 51-59.
- Drooger, C.W., Kaasschieter, J.P.H. & Key, A.J. (1955): The microfauna of the Aquitanian-Burdigalian of southwestern France. *Verhand. Konink. Nederl. Akad. Wetensch.*, Amsterdam, 21, 2: 136 p.
- Ducasse, O. & Cahuzac, B. (1997): Les ostracodes indicateurs des paléoenvironnements au Miocène moyen (Serravallien en Aquitaine (Sud-Ouest de la France)). *Rev. Micropal.*, Paris, 40, 2: 141-166.
- Duranthon, F. & Cahuzac, B. (1997): Eléments de corrélation entre échelles marines et continentales: les données du Bassin d'Aquitaine au Miocène. In: *Actes du Congrès Biochrom'97*, Montpellier (J.-P. Aguilar, S. Legendre & J. Michaux, eds). *Mémoires et Travaux de l'E.P.H.E.*, Institut de Montpellier, 21: 591-608.
- Dutertre, A. P. (1929): Sketch of the Tertiary formations of the Bordelais. Excursion to Bordeaux. *Proc. Geol. Assoc.*, London, XL, 3: 269-298.
- Farrell, J. W., Clemens, S. C. & Gromet, L. P. (1995): Improved chronostratigraphic reference curve of Late Neogene seawater ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr. *Geology*, Boulder, 23, 5: 403-406.
- Flower, B. P. & Kennett, J.P. (1994): The middle Miocene climatic transition: East Antarctic ice sheet development, deep ocean circulation and global carbon cycling. *Palaeogeography*,

- Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Amsterdam, 108: 537-555.
- Folliot, M., Pujol, C., Cahuzac, B. & Alvinerie, J. (1993): Nouvelles données sur le Miocène moyen marin («Sallomacien») de Gironde (Bassin d'Aquitaine, France). Approche des paléoenvironnements. [*1st Congress of Regional Committee of the Atlantic Neogene Stratigraphy*, Lisbonne, 1992]. *Ciências da Terra*, Universidade nova de Lisboa, 12: 117-131.
- Fornaciari, E., Di Stefano, A., Rio, D. & Negri, A. (1996): Middle Miocene quantitative calcareous nannofossil biostratigraphy in the Mediterranean region. *Micropaleontology*, New York, 42, 1: 37-63.
- Fornaciari, E. & Rio, D. (1996): Latest Oligocene to early middle Miocene quantitative calcareous nannofossil biostratigraphy in the Mediterranean region. *Micropaleontology*, New York, 42, 1: 1-36.
- Gourinard, Y., Magné, J. & Wallez, M.-J. (1987): Présence de la mer burdigalienne dans le centre de l'Aquitaine. *Bull. Soc. Hist. nat. Toulouse*, 123: 147-150.
- Hag, B. U., Hardenbol, J. & Vail, P. R. (1988): Mesozoic and Cenozoic chronostratigraphy and eustatic cycles. In: «Sea-level changes: an integrated approach» (Wilgus C. K., Hastings B. S. et al., eds). *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Volume 42*, Tulsa: 71-108.
- Harwood, D. M., Lazarus, D. B., Abelmann, A., Aubry, M.-P., Berggren, W. A., Heider, F., Inokuchi, H., Maruyama, T., McCartney, K., Wei, W. & Wise, S. W. (1992): Neogene integrated magnetobiostratigraphy of the central Kerguelen Plateau, leg 120. In: Wise S. W., Schlich R. et al., *Proceed. Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 120: 1031-1052.
- Hodell, D. A., Mueller, P. A., Mckenzie, J. A. & Mead, G. A. (1989): Strontium isotope stratigraphy and geochemistry of the late Neogene ocean. *Earth Planet. Sci. Lett.*, Amsterdam, 92: 165-178.
- Hodell, D. A., Mueller, P. A. & Garrido, J. R. (1991): Variations in the strontium isotopic composition of seawater during the Neogene. *Geology*, Boulder, 19: 24-27.
- Hodell, D. A. & Woodruff, F. (1994): Variations in the strontium isotopic ratio of seawater during the Miocene: Stratigraphic and geochemical implications. *Paleoceanography*, Washington, 9, 3: 405-426.
- Ingram, B. L., Conrad, M. E. & Ingle, J. C. (1996): Stable isotope and salinity systematics in estuarine waters and carbonate: San Francisco Bay. *Geochim. Cosmochim. Acta*, London, 60: 455-467.
- Lauriat-Rage, A., Brebion, P., Cahuzac, B., Chaix, C., Ducasse, O., Ginsburg, L., Janin, M.-C., Lozouet, P., Margerel, J.-P., Nascimento, A., Pais, J., Poignant, A., Pouyet, S. & Roman, J. (1993): Paleontological data about the climatic trends from Chattian to Present along the Northeastern Atlantic frontage. [*1st Congress of Regional Committee of the Atlantic Neogene Stratigraphy*, Lisbonne, 1992]. *Ciências da Terra*, Universidade nova de Lisboa, 12: 167-179.
- Linder, O. (1872): Des dépôts lacustres du vallon de Saucats. *Actes Soc. Linn. Bordeaux*, 27: 451-525.
- Lozouet, P. (1997): Le domaine atlantique européen au Cénozoïque moyen: diversité et évolution des gastéropodes. *Thèse Doct. Mus. Nation. Hist. Natur.*, Paris, 309 p., Annexe 52 p.
- Lubet, P. (1949): Les faciès du Chattien et de l'Aquitainien dans la basse vallée du Ciron (Gironde). *Bull. Soc. géol. France*, Paris, (5), 19: 75-84.
- Ludwig, K. R. (1992): ISOPLOT. A plotting and regression program for radiogenic-isotope data. *United States Geological Survey Open file report*, Washington, 91-445.
- Mc Arthur, J. M. (1994): Recent trends in strontium isotope stratigraphy. *Terra Nova*, Oxford, 6: 331-358.
- Malvesin-Fabre, G. (1939): Aperçu géologique sur Léognan et la vallée de l'Eau Blanche. *Proc.-Verb. Soc. Linn. Bordeaux*, 91: 159-172.
- Martini, E. (1971): Standard Tertiary and Quaternary calcareous nannoplankton zonation. In: *Proceedings of the Second Planktonic Conference* (Farinacci, A., ed.), Roma (1970), vol. 2: 739-785.
- Mayer (= Mayer-Eymar), K. (1858): Versuch einer neuen Klassifikation der Tertiär- Gebilde Europa's. *Verhandl. der Allgemeinen Schweiz. Ges. f. gesamt. Naturwissensch.*, Trogen, (août 1857): 165-199.
- Miller, K. G., Feigenson, M. D., Wright, J. D. & Clement, B. M. (1991): Miocene isotope reference section, Deep Sea Drilling Project Site 608: an evaluation of isotope and biostratigraphic resolution. *Paleoceanography*, Washington, 6, 1: 33-52.
- Montanari, A., Odin, G. S. & Coccioni, R. (eds) (1997): Miocene Stratigraphy: an Integrated Approach. *Developments in Paleontology and Stratigraphy*, 15, Elsevier, Amsterdam, 694 p.
- Müller, C. & Pujol, C. (1979): Etude du nannoplancton calcaire et des foraminifères planctoniques dans l'Oligocène et le Miocène en Aquitaine (France). *Géol. Méditerr.*, Marseille, VI, 2: 357-368.
- Odin, G. S. (1994): Geological Time Scale (1994). *C. R. Acad. Sc.*, Paris, 318, Série II: 59-71.
- Oslick, J. S., Miller, K. G., Feigenson, M. D. & Wright, J. D. (1994): Oligocene-Miocene strontium isotopes: stratigraphic revisions and correlations to an inferred glacioeustatic record. *Paleoceanography*, Washington, 9, 3: 427-443.
- Poignant, A. (1967): L'Oligo-Miocène d'Aquitaine méridionale. *Thèse Doct. Univ. Paris*, ronéot., 3 tomes, 381 p.
- Poignant, A. & Pujol, C. (1978): Nouvelles données micropaléontologiques (foraminifères planctoniques et petits foraminifères benthiques) sur le stratotype bordelais du Burdigalien. *Geobios*, Lyon, 11, 5: 655-712.
- Rio, D., Cita, M. B., Iaccarino, S., Gelati, R. & Gnaccolini, M. (1997): Langhian, Serravallian, and Tortonian historical stratotypes. In: Miocene Stratigraphy: an Integrated Approach (Montanari A., Odin G. S. and Coccioni R., eds). *Developments in Paleontology and Stratigraphy*, 15, Elsevier, Amsterdam. Chapter A 5: 57-87.
- Roman, F. & Viret, J. (1930): Le Miocène continental de l'Armagnac et le gisement burdigalien de La Romieu (Gers). *Livre jubilaire 1830-1930, Soc. géol. Fr.*, Paris, II: 577-604.
- Silvestre de Sacy, L. (1923): Sur la présence du calcaire d'eau douce dans les gisements néogéniques du Château du Thil, à Léognan (Gironde). *C. R. Congrès Bordeaux 1923*, 47e session, *Ass. Fr. Avanc. Sc.*, Paris: 427-430.
- Tournouer, R. (1862): Note stratigraphique et paléontologique sur les faluns du département de la Gironde. *Bull. Soc. géol. France*, Paris, (2), 19: 1035-1088.
- Tournouer, R. (1874): Note sur les terrains miocènes des environs de Sos et de Gabarret (Lot-et-Garonne et Landes). *Actes Soc. Linn. Bordeaux*, 29: 119-169.
- Vigneaux, M. (1953): La géologie du sous-sol de Villandraut (Gironde). *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, 88, 3-4: 314-328.
- Woodruff, F. & Savin, S. M. (1991): Mid-Miocene isotope stratigraphy in the deep sea: high-resolution correlations, paleoclimatic cycles, and sediment preservation. *Paleoceanography*, Washington, 6, 6: 755-806.

Manuscript received 27 May 1998

Accepted 26 January 1999