
Découverte d'une microflore bartonienne dans le Fossé rhénan supérieur : la formation de Mietesheim (Bas-Rhin, Alsace, France)

A Bartonian microflora record from the Upper Rhine Graben: the Mietesheim formation (Alsace, France)

Jean-Jacques Châteauneuf ⁽¹⁾
François Ménillet ⁽²⁾

Géologie de la France, n° 1, 2014, p. 3-20, 3 fig.

Mots-clés : Bartonien, Fossé rhénan supérieur, France, Alsace, Formation de Mietesheim, palynologie.

Keywords: Bartonian, Upper Rhine Graben, Mietesheim Formation, Palynology (Alsace, France)

Résumé

À la faveur de sondages effectués pour la révision de la carte géologique de Haguenau (Alsace du Nord), les marnes définies à Mietesheim (Formation de Mietesheim), surmontant le Calcaire de Bouxwiller (Formation de Bouxwiller, Lutétien supérieur), ont fait l'objet d'une étude palynologique. Comparée à d'autres successions floristiques du Nord-Ouest européen (Bassin de Paris, bassins armoricains), la microflore des Marnes de Mietesheim, riche de plus d'une centaine d'espèces, présente en comparaison avec celle définie dans le Bassin de Paris, des formes apparaissant à l'Auversien, d'autres disparaissant au Marinésien ainsi que deux espèces limitées à ces deux étages : *Retiovoipollis parisiensis* et *Retitricolporites gibbosus/baviensis*. Les Marnes de Mietesheim, dont l'âge n'était pas connu avec précision dans le Fossé rhénan supérieur, peuvent donc être datées du Bartonien s.s. (Cavelier, 1979 ; Schuler, 1988) par leur microflore qui évoque un milieu lacustre à végétation hygrophile luxuriante dont les bordures sont entourées par une forêt tropicale dense et humide. Cette formation précède les séries partiellement évaporitiques de la formation de la Zone dolomitique déposée au cours de la subsidence tectonique majeure de la partie centrale du Fossé rhénan supérieur qui débute traditionnellement au Priabonien.

Zusammenfassung

Anlässlich von Bohrungen für die Neubearbeitung der geologischen Karte, Blatt Haguenau (Elsass, Frankreich) ist der in Mietesheim ermittelte Mergel (zur Formation von Mietesheim gehörig), der Kalkstein von Bouxwiller überlagert

(Bouxwiller-Formation, Oberlutetium), einer palynologischen Untersuchung unterzogen worden.

Im Vergleich zu anderen floristischen Reihenfolgen in Nordwest-Europa (Pariser Becken, armorikanische Becken) präsentiert sich die Microflora des Mergel von Mietesheim mit mehr als hundert Spezies ziemlich reichhaltig und weist im Vergleich zu der zum Pariser Becken gehörenden microflora Formen auf, die im Auversium vorkommen (unterer Teil des Oberbartoniums), andere, die im Marinesium verschwinden (oberer Teil des Oberbartoniums), wie auch zwei Arten, die auf diese zwei Zeitspannen des Oberbartoniums begrenzt sind: *Retiovoipollis parisiensis* und *Retitricolporites gibbosus/baviensis*.

Der Mietesheimer Mergel, dessen Alter im Oberrheinischen Graben bisher nicht präzise bekannt war, kann daher durch seine microflora auf das Bartonium s.s. datiert werden, denn diese verweist auf einen limnischen Lebensbereich (limnisches Milieu) mit üppiger hygrophiler Vegetation, dessen Randgebiete von einem dichten und feuchten Tropenwald umsäumt werden. Diese Formation geht der evaporitischen Sedimentation des Priaboniums voraus, zu Beginn der Haupttektonikabsenkung des zentralen Abschnitts des oberrheinischen Grabens, die im Priabonium ihren Anfang nahm.

Extended Summary

In the course of Haguenau geological map revision a set of boreholes have been drilled through small Cenozoic basins overlying the Jurassic marls and limestones. These deposits are located in the eastern part of an intensely faulted zone, called Saverne faulting zone, which is limited to

(1) Châteauneuf Jean-Jacques, 8 quai du Châtelet, 45000-Orléans - chateauboy@wanadoo.fr

(2) Ménillet François, 7 rue Sainte Odile, 67000-Strasbourg - jeanne.men@free.fr

* Manuscrit présenté le 2 décembre 2013, accepté le xx mois 2014.

the West by the Vosgian fault and to the East by the West Rhenish fault.

This area consist of lenticular strips limited by N20°E to N40°E fractures, dipping eastward and affecting the mesozoic basement as well as in some places the Eocene deposits, preserved in small grabens. Eocene sediments were reported as soon as the 18th century in the Bouxwiller area from limestones dated from Lutetian by a rich mammalian fauna but also from undated marls from old Iron mines exploitation near Mietesheim and Dauendorf deposited above the limestones.

This continental marly formation, particularly well preserved and nearly 20 m thick, has been cut by the boreholes around the Mietesheim village (therefore called Mietesheim Formation in the regional lithostratigraphic classification) and investigated by palynological analyses in order to compare their microflora content with those of NW European basins.

The Paris basin is firstly concerned owing to his accurate chronostratigraphic framework based on substantial biostratigraphic databases but Armorican Cenozoic basins are also considered in regard of their deposits covering the same age span.

The Mietesheim marls have yielded rich palynological associations involving more than 150 different species of spores and pollen grains from the two boreholes investigated in Stocklach section from Haguenau forest (01986X1046) and Mietesheim (01985X0115) areas. The range of each species is checked with his counterpart in the Paris, Brittany and Rhine graben basins particularly in terms of first occurrences (FO), and last occurrences (LO) which are plotted on the detailed range chart of the Mietesheim samples (Diagram 1-1 to 1-6).

Referring first to the Paris basin, some of the pollen grains species have their first occurrence in the Auversian (Late Bartonian s.s.) such as: *R. parisiensis*, *S. latiporatus*, *T. chandlerae*, *T. microporitus*, *P. striangulus* (the later strictly limited to Auversian) whereas others have their first occurrence in the Marinesian (latest Bartonian s.s.) as *R. nyssoïdes*, associated to *Ephedraceae* and *Graminae* appearance. most of them have their last occurrence at the top of Bartonian s.s. as for example: *P. viesenensis*, *P. laevigatus*, *R. densus*, *R. levicolpus*, *R. gibbosus/baviensis* or *R. parisiensis* and the grains of *Bombacaceae* family.

Similar palynomorphs have been recorded in the sapropelic marls or organic shales overlying the Biarritzian limestones (Lower Bartonian) in the Armorican Campbon, Saffré or Rennes basins. As a consequence, the Mietesheim Formation is clearly Auversian in age for the 11 to 12,5 m (01986X1046) samples and Marinesian in age for 16 to 6 m (01985X0115) samples. An age Bartonian s.s. is therefore demonstrated for the first time for sediments deposited in the Upper Rhine Graben. Similar or very close palynological assemblages were reported from deep wells in green marls (so called Lymneen mergel or Grune mergel) at the base of Lower Salt Formation in the Mulhouse basin. They were generally assigned to the Priabonian without any datation

evidence. The same microflora is also reported from the Lower Salt Formation of Eschau well 10 km south of Strasbourg.

As climate and deposit environment are concerned, the Mietesheim associations suggest a freshwater restricted environment favouring anaerobic organic mud deposition. The lake borders are settled by brackish vegetation involving *Myricaceae*, *Nyssaceae*, *Sparganiaceae* and *Ruppiaceae* whose backside is colonized by a rain forest. A high pluviometry of more than 1500 m/year and a main annual temperature 20°C are typical of tropical climate.

The lack of conifers and the reduced herbaceous vegetation suggest a flat continental landscape covered during Auversian times by broad forest surfaces similar to those of South Eastern Asia. With the onset of Marinesian, a short dry season is attested by a moderate arrival of conifers and development of grassland areas.

On the Saverne faulting zone, above the Mietesheim formation, the Priabonian evaporitic sedimentation seems to be absent, whereas in the central part of the Rhine Graben to the East the thick series of evaporites correspond to the major subsidence phase beginning in that region during the upper Eocene.

INTRODUCTION

Dans le cadre du lever de la 2^{ème} édition de la carte géologique à 1/50 000 de Haguenau, nous avons été conduits à effectuer des sondages dans une formation « argileuse » recouvrant le Calcaire de Bouxwiller (Lutétien), qui avait été signalée à Dauendorf, hameau du Neubourg et Mietesheim par De Dietrich (1789) et Daubrée (1852). Ces « argiles », en réalité des marnes, n'avaient jamais été étudiées. L'un d'entre-nous (F. Ménillet) a suivi et échantillonné ces sondages, réalisés par une équipe du BRGM, au moyen d'une sondeuse mécanique équipée de tarières de 4 pouces. J.J. Châteauneuf en a effectué l'étude palynologique.

1 - GÉOLOGIE ET CONTEXTE STRUCTURAL

Les sondages étudiés se situent dans la partie orientale du champ de fractures de Saverne, partie modérément effondrée sur la marge occidentale du Fossé rhénan supérieur, au Nord-Ouest de Strasbourg (fig. 1). La faille vosgienne sépare, à l'Ouest, cette unité structurale du massif vosgien et la faille rhénane occidentale la limite à l'Est du Fossé rhénan principal où s'est déposée l'épaisse série tertiaire, connue par les nombreux sondages pétroliers du champ de Pêchebron et au sud de l'Alsace par les sondages de recherche de potasse (Sittler, 1965 ; Durringer, 1988 ; Schuler, 1990 ; Blanc-Valleron, 1991 ; Berger *et al.*, 2005). La fracturation est essentiellement déduite des observations cartographiques et les rares failles observées ne se sont pas prêtées à des mesures structurales. La connaissance de l'histoire tectonique du champ de fractures de

Saverne transparaît au travers de celle du Fossé rhénan supérieur et des mesures de microtectonique sur les rares fronts de carrières abandonnées encore visibles dans les dernières décennies (Bergerat, 1985 et 1987 ; Villemin, 1986 ; dernières synthèses sur le Fossé rhénan dans les publications du colloque « Continental extension », Behrmann *et al.*, 2005 et Bernouilli *et al.*, 2007). L'extension des Marnes de Mietesheim, limitée à deux petits fossés et à un secteur du Fossé rhénan principal proche de la faille rhénane occidentale, conduit à placer leur formation dans un contexte distensif ou décrochant (probablement de type « pull-apart ») à l'époque de leur formation, c'est-à-dire au Bartonien s.s. (voir définition ci-après).

Constitué par une série de lanières de formes lenticulaires à pendage Est, limitées par des failles de direction N°20 à N°40E, le champ de fractures de Saverne met à l'affleurement, pour l'essentiel, des formations du Trias et du Jurassique. Les dépôts tertiaires (écènes) ne sont connus dans le Bas-Rhin que par une demi-douzaine d'affleurements mal conservés, notamment à Obernai (Bischenberg), à Scharrachbergheim (Scharrachberg), à Bouxwiller sur le Bastberg, célèbre pour avoir fourni des ossements de vertébrés à Georges Cuvier (Jaeger, 1971 ; Trauth *et al.*, 1977 ; Ménillet *et al.*, 1979) et à Mietesheim, Bitschhoffen et Dauendorf (De Dietrich, 1789 et Daubrée, 1852 ; fig. 2), par les travaux souterrains effectués aux XVIII^e et XIX^e siècles pour la recherche de minerai de fer. Il existe également un très bel affleurement à Kleinkems le long de la rive allemande du Rhin dans lequel affleure en continuité le socle jurassique supérieur, le Calcaire à Planorbes (Lutétien) et une grande partie sinon la totalité de la zone fossilifère (Oligocène inférieur ; Düringer, 1988).

Les sondages effectués montrent que les anciennes minières de Bitschhoffen et Mietesheim appartiennent à un petit fossé d'effondrement (fig. 2) que nous nommons « Fossé de Mietesheim » sur la nouvelle carte géologique Haguenau où les marnes étudiées affleurent sous un faciès altéré.

Ce fossé est probablement dissymétrique, la base des Marnes de Mietesheim s'abaissant au moins d'une dizaine de mètres du Nord-Ouest (mine profonde) au sondage 5-115 (voir ci-dessous). Plus au Sud-Est, le sondage 01986X1044 (6-1044) retrouve ces mêmes marnes sur une lanière effondrée (Fossé de Dauendorf) jalonnée par les affleurements tertiaires de Dauendorf. Enfin, le sondage 01986X1046 les a retrouvées sous une dizaine de mètres d'alluvions sableuses du Pléistocène supérieur. Ici, dans le Fossé rhénan principal, à proximité de la faille rhénane, comme les « argiles » observées au dessus du Calcaire de Bouxwiller par De Dietrich (1789) et Daubrée (1852) dans les anciennes minières du Neubourg, sur la commune de Dauendorf à 1 km au sud de ce sondage.

1.1. Coupe de la mine profonde à Mietesheim

À Mietesheim, Daubrée (1852) donne une coupe synthétique de la mine profonde (*Tiefe Grube*) dont nous proposons une interprétation de haut en bas (situation sur la fig. 2, log en fig. 3 ; épaisseurs en mètres).

Couverture d'âge pléistocène

2,00 – loess renfermant à sa base des débris calcaires.

Ensemble argileux que nous rattachons aux Marnes de Mietesheim (13,1 m)

3,30 – marnes grises, se débitant avec facilité ;

6,50 – marnes gris foncé, renfermant des restes de plantes fossiles et quelques fois de petits lits de lignite, de taille centimétrique (notamment à la « mine du jardin », près du village) ;

2,00 – argile bleu verdâtre, très plastique ;

1,30 – minerai de fer en grains, de couleur olive, abondant, dans une argile verdâtre semblable à celle qui le recouvre ; grains de pyrite fréquents ; gypse plus rare.

Calcaire que nous attribuons à la Formation de Bouxwiller (Lutétien)

3,00 à 5,00 – calcaire gris très compact, à cassure bréchiforme, à cavités renfermant des pisolithes calcaires ? ou ferrugineux ? (Daubrée ne précise pas) ; ce calcaire est imprégné de pyrite de fer.

Substrat constitué par un calcaire oolithique, la structure « bréchiforme » évoque plus franchement la formation du Calcaire à planorbes du Lutétien, retrouvé en surface dans les anciens déblais de la mine avec des pisolites de fer, qu'un calcaire du Jurassique.

1.2. La Formation de Mietesheim, constitution et lithologie

Définies aux alentours du village où nous les avons reconnues, les Marnes de Mietesheim affleurent sous une couverture de loess ou de sables plus ou moins limoneux, épaisse de 0,5 à 6 m, dans les petits fossés de Mietesheim et de Dauendorf (fig. 2). Plusieurs forages de reconnaissance, effectués dans le cadre des travaux de lever de la carte géologique à 1/50 000 de Haguenau, les ont pénétrées sans atteindre leur base. Le plus profond d'entre-eux (5-115), est resté dans la formation, sous 0,50 m de sables argileux colluvionnés, et a atteint la profondeur de 18 m. Compte tenu de la position du forage en bas d'un versant entaillé dans les altérites de la Formation, celle-ci dépasse vraisemblablement 20 m, peut-être même 25 m, ces couches étant ici subhorizontales. Très molles et assez homogènes, les Marnes de Mietesheim présentent, à l'état humide, une teinte gris bleu sombre semblable à celle de certaines vases (gleys) comblant des bras morts de rivières. Quelques passées varvées, probablement de signature lacustre, s'intercalent dans la partie inférieure du sondage 5-115 (voir tableau 1 ci-après). Les Marnes

de Mietesheim contiennent de 20 à plus de 40 % de CaCO₃ (calcimétrie et évaluation aux RX). Ce carbonate se trouve en partie sous forme de grains et petits fragments à contours rugueux de calcaire gris à grain fin (2 à 10 % de la phase carbonatée). Ces éléments constituent une série hétérométrique s'échelonnant de quelques dixièmes de millimètres à 15 mm de longueur. Cette répartition granulométrique et leur aspect rappellent ceux que nous avons observés dans des altérites du Bathonien de Ringeldorf à 6 km au SSW de Mietesheim, mais avec une teinte oxydée beige. À partir de la malacofaune, Lepsius (1875) et Schlippe (1888) ont identifié des dépôts bathoniens à l'Est de Mietesheim, à proximité du fossé de Mietesheim. Ces fragments calcaires pourraient donc être remaniés de marnes du Bathonien, mais sans tri granulométrique, ce qui implique aussi une discontinuité du Calcaire de Bouxwiller, fait largement observé dans le Fossé rhénan supérieur. Au sud de l'Alsace, le Calcaire à Planorbis de Bouxwiller est réduit à deux ou trois mètres à peine (Düringer, 1988). D'autres éléments proviennent de la cimentation des grains de calcaire gris par du calcaire plus clair. Liées au lessivage des carbonates lors de l'altération météorique, les concrétions de calcaire blanc apparaissent beaucoup moins abondantes. Irrégulièrement réparties, elles se présentent sous forme de petites concrétions sub-sphériques, souvent infra-millimétriques ou de traînées blanchâtres. La teneur en quartz des Marnes de Mietesheim ne dépasse guère 5 %, vraisemblablement sous forme de silts très fins, les grains de sable et les silts grossiers étant rares. Elles renferment des traces de pyrite, de dolomite, de feldspaths (orthose probable) et du gypse secondaire, plus abondant dans leur partie inférieure. La diagénèse a développé des cristaux de pyrite, largement détruits par une altération modérée qui a oxydé ce minéral, dont le soufre se lie au calcium de la calcite pour former du gypse. Le fer s'est vraisemblablement fixé à la base de la formation en concrétions pisiformes, comme l'indique la coupe de l'ancienne « mine profonde » de Mietesheim (Daubrée 1852, voir ci-dessus).

2. SONDAGES ÉTUDIÉS : COUPES ET POSITION DES ANALYSES PALYNOLOGIQUES

Les forages 01985X0115 et 01986X1046 (fig. 1, 2 et 3) ont été échantillonnés en vue d'une étude palynologique. Sur l'ensemble des échantillons soumis à l'analyse, quatre ont livré des restes de microflore déterminables, dont la superposition stratigraphique, déduite des données de terrain et de la microflore, est la suivante : 6-1046, profondeur 11 à 12,50 m ; 5-115, profondeur 16 à 16,50 m, 14 à 14,50 m et 6 à 6,50 m.

SÉRIES	ÉTAGES	Secteur de Pêchebronn		Bassin potassique	Bassin de Paris
OLIGOCÈNE	CHATTIEN	Couches de Nizderroedem			CHATTIEN
		Série grise			
	RUPÉLIEN	Couches de Pêchebronn supérieures		Salifère supérieur	STAMPIEN
		Couches de Pêchebronn moyennes		Salifère moyen	
ÉOCÈNE SUPÉRIEUR	PRIABONIEN	Couches de Pêchebronn inférieures		Salifère inférieur, avec, à la base, les marnes à Lymnées inférieures (?)	LUDIEN
		Couche rouge			
		Zone dolomitique			
ÉOCÈNE MOYEN	BARTONIEN s.s.	Formation de Mietesheim	Sondage 5-115		MARINÉSIEN
			6-1046		AUVERSIEN
	LUTÉTIEN	Calcaire de Bouxwiller		Calcaire de Bouxwiller	LUTÉTIEN
		Argiles à lignites			

Tableau 1 : La formation de Mietesheim dans la stratigraphie de l'Éocène moyen et supérieur du Fossé rhénan supérieur (partie alsacienne) et du Bassin de Paris.

Table 1: Mietesheim Formation in Upper Rhine Graben (Alsacian part) and Paris Basin Middle and Upper Eocene Stratigraphy.

La microflore pollinique est généralement bien conservée, à l'exception du niveau 16 à 16,50 m du sondage 5-115 où la matière organique est partiellement oxydée. Les diagrammes polliniques sont fournis en fin de texte (diagrammes 1-1 à 1-6).

2.1. Le sondage 01986X1046 (6-1046), forêt indivise de Haguenau, massif occidental (Stocklach)

Le sondage 6-1046 (fig. 1, 2 et 3) se situe en bas d'un versant en très faible pente à 5 m environ au-dessus du fond de la vallée de la Moder. La coupe géologique est la suivante, de haut en bas (épaisseurs en mètres).

Alluvions du Pléistocène supérieur

7,00 – sable rose à grain moyen prédominant ;
4,00 – sables humiques gris-brun à noirâtre, avec des passées fines et grossières.

Marnes de Mietesheim

1,50 – marne grise à vert bleuté clair (23 % de CO₃Ca en calcimétrie), à granules calcaires.

2.2. Sondage 01985X0115 (5-115) à Mietesheim

Le sondage 5-115 (fig. 1, 2 et 3) se situe sur un bas de versant en pente douce, à 50 m du ruisseau qui draine le vallon. 2 m au plus en contrebas, l'entaille du lit mineur offre, sur 1 à 1,5 m de hauteur, quelques coupes dans des limons alluviaux qui reposent sur des marnes vertes ou des calcaires à limnées et planorbis de la Formation de Bouxwiller.

La coupe est décrite de haut en bas (les épaisseurs sont en mètres) et les teintes sont déterminées à l'état humide.

Elles diffèrent des teintes à sec indiquées par la fiche du sondage sur le site Internet « Infoterre » du BRGM. Les teneurs en CO_3Ca sont déterminées par calcimétrie :

Colluvions

0,50 – sables argileux brun beige à taches ocre rouille, remaniés d'alluvions anciennes du Pléistocène moyen.

Marnes de Mietesheim altérées (6 m)

1,00 – argile panachée gris vert et rouille à granules calcaires ;
 0,90 – calcaire argileux beige ocreux ;
 1,10 – argile brun clair, panachée de gris clair ;
 1,70 – argile brun rouille, panachée de gris clair puis de kaki ;
 0,60 – argile panachée brun beige, brun chocolat et gris bleu sombre à concrétions calcaires.

Marnes de Mietesheim très peu altérées (12 m)

0,50 – marnes gris-bleu sombre à rares et petites concrétions calcaires ; 28 % CaCO_3 ;
 1,60 – marnes gris-bleu sombre et parties brun sombre à granules calcaires, en partie cimentées en concrétions inférieures à 2 cm (4 % du sédiment) ;
 8,20 – marnes gris bleu sombre, partiellement brun sombre avec des granules et fragments de calcaires inférieurs à 5 mm (1 à 4 % du sédiment) et très rares débris de test de mollusques à coquilles fines évoquant plutôt des espèces continentales hygrophiles. L'analyse minéralogique de ces marnes est la suivante : argile 55 % (dont illite et micas 67 %, kaolinite 28 %, vermiculite 5 %) et calcite 40 % ;
 1,80 – marnes gris bleu sombre et parties brun sombre à nombreux granules de calcaire gris et gypse fibreux ou en cristaux monocliniques, certains maclés, composées d'argile 55 % (dont illite et micas 58 %, kaolinite 33 %, vermiculite 9 %) et de calcite 40 %.

L'arrêt dans les marnes à -18,50 m est lié au manque de puissance de la sondeuse.

3. RÉSULTATS DE L'ÉTUDE PALYNOLOGIQUE DES QUATRE NIVEAUX FOSSILIFÈRES (diagrammes 1-1 à 1-6)

Nous avons compté l'ensemble des spores et des grains de pollen qui ont été ensuite classés par groupes de morphotypes. Chaque forme pollinique identifiée a été rapportée dans la mesure des connaissances actuelles à une espèce, un genre ou une famille botanique existante, ce qui permet des interprétations paléoclimatiques et environnementales. Les études palynologiques détaillées sur cette époque du Paléogène sont relativement peu abondantes. Il s'agit des travaux sur le Tertiaire germanique de l'équipe de W. Krutzsch de 1957 à 1976, de ceux de M. Schuler (1983 et 1988), M. Schuler et M.F. Ollivier-Pierre (1981) et Cl. Sittler (1965) sur le Fossé rhénan supérieur, de J.J. Châteauneuf (1980) et C. Gruas-Cavagnetto (1977) sur les bassins anglo-belge et parisien et enfin ceux de M.F. Ollivier-Pierre (1980) sur le

Paléogène armoricain. Le découpage stratigraphique adopté est celui du Bassin parisien, car il est le seul à présenter une série synthétique détaillée et couverte par des associations palynologiques des formations d'âge équivalent à celui des Marnes de Mietesheim.

3.1. Sondage 01986X1046 (6-1046) : profondeur 11 à 11,50 m (diagrammes 1-1 à 1-6)

La microflore des Marnes de Mietesheim, ici riche et bien conservée, est essentiellement dominée par les Myricacées, les Juglandacées, les Fagacées et les Cupressacées-Taxodiées. Les formes ancestrales issues de l'Éocène inférieur (Myricacées, Juglandacées) et de la base de l'Éocène moyen sont encore bien représentées, telles que : *Plicapollis pseudoexcelsus* ou *Subtriporopollenites constans*. Les Pinacées sont quasi-absentes, tandis que les formes aquatiques ou bordant les surfaces d'eau sont diversifiées (Sparganiacées, Restionacées, Ruppiales, Cypéracées). Les formes d'angiospermes tropicales et subtropicales sont nombreuses : Bombacacées, Icacinacée, Palmées, Rubiacées, Mastixiacées, Sapotacées, Anacardiées, Simaroubacées, Symplocacées, etc.

Les spores de Ptéridophytes sont essentiellement représentées par des formes arborescentes (Cyathéacées), associées aux Ptéridacées, Schizéacées, Selaginellacées et Lycopodiées. L'une des caractéristiques les plus typiques de ce niveau est la rareté des conifères et celle des herbacées : Poacées, Ericacées, Plantaginacées ou Alismatacées, dont on notera ci-après l'apparition timide, un peu plus haut dans la série. Le groupe des angiospermes, très diversifié (on note plus de 75 formes différentes), appartient pour la grande majorité aux formes arborées de la forêt tropicale humide, marécageuse ou sempervirente à feuillage persistant. Cette flore, qui a encore de fortes affinités avec celles qui ont été décrites dans le Lutétien de Bouxwiller ou les Marnes et Caillasses du Bassin de Paris (Lutétien supérieur), est comparable à celle des sables d'Auvers-Beauchamp (Auversien) du Bassin de Paris. On peut également en trouver un équivalent dans les petits bassins armoricains de Campbon, de Rennes ou de Saffré, au-dessus du Lutétien terminal calcaire, à la base de l'épaisse série d'argiles organiques ou sapropèles inférieures, déposées dans un milieu comparable à celui des Marnes de Mietesheim. Cette association floristique est caractérisée par un milieu lacustre imperméable aux apports fluviaux et anémogames dans un paysage sans reliefs, où se succèdent une flore de bordure d'eau riche en Myricacées, Sparganiacée, Ruppiales, Cyrrillacées, Nyssacées puis une forêt dense, humide à Araliacées, Anacardiées, Aquifoliacée, Ebenacées, Fagacées, Icacinacées, Méliacées, enfin une forêt mixte de substrat plus sec à Juglandacées, Araliacées, Hamamélidacées, Ulmacées, Vitacées, Cistacées, Oléacées, Bombacacées et Théacées.

3.2. Sondage 01985X0115 (5-115) à Mietesheim, profondeurs 6 à 16,50 m (diagrammes 1-1 à 1-6)

L'échantillon le plus profond (17,9 à 18,1 m) qui contient 42,5 % de CaCO₃, est exempt de matière organique. Les trois niveaux fossilifères à 16, 14 et 6 m de profondeur présentent des différences notables dans la composition de la matière organique et la conservation du matériel sporo-pollinique :

- de 16 à 16,50 m, la matière organique amorphe est bien conservée, mais le matériel pollinique est oxydé, ce qui pourrait être un indice de la présence du Calcaire de Bouxwiller un peu en-dessous de ce niveau, car nous avons très souvent observé l'oxydation des marnes à leur base quand elles recouvrent un calcaire, que ce soit en coupe ou en sondage ;
- de 14,50 à 6 m, les composants organiques sont très proches : une matière organique amorphe abondante mais carbonisée et partiellement minéralisée sous forme de pyrite en petits grains. Par contre, les grains de pollen et les spores sont bien conservés. La fraction principale de la microflore est représentée par les Myricacées et les Juglandacées, puis en pourcentages moindres, par les Cuprèssacées-Taxodiées, les Fagacées, Nyssacées, Simaroubacées (diverses formes du genre *Pentapollenites*) et les spores de Ptéridophytes.

Plusieurs éléments différencient cet intervalle de la flore précédente identifiée dans le sondage 6-1046 : les pourcentages de Pinacées bien qu'encore faibles ont progressé, les Cuprèssacées-Taxodiées diminuent nettement tandis que les herbacées progressent timidement. Certaines formes polliniques, qui apparaissent au Bartonien s.s. dans le Bassin de Paris, sont ici relativement abondantes, telles : *Psilatricolpites* sp. (P301 in Châteauneuf, 1980) et *Tetracolporopollenites* cf. *rotundus* (P840bis in Châteauneuf, 1980). Les Ruppiaées de type *Aglaoreidia cyclops*, reconnues dans les niveaux comparables des bassins de Paris et de Rennes, sont plutôt de type ancestral et rapportées au genre *Retiovoipollis*.

L'environnement de dépôt de ces sédiments est proche de celui du niveau que nous avons étudié dans le sondage 6-1046. Cependant, un certain nombre d'éléments nouveaux tels que les pourcentages accrus de Pinacées, l'apparition de plusieurs formes d'herbacées (Poacées, Astéracée, Œnothéracées, Ericacées et Ephédracées) attestent d'une première ouverture du milieu marécageux et d'un début de dépôt et fossilisation des grains anémophiles. Cette évolution est connue dans le Bassin de Paris au cours du dépôt des sables bartoniens (Châteauneuf, 1980), toutes proportions étant gardées, compte tenu des différences importantes d'environnement de dépôts entre ce bassin et les fossés conservés dans la zone du champ de fractures de Saverne.

Elle est aussi constatée dans le Bassin de Rennes au sein des sables, puis des argiles sapropéliques surmontant les calcaires datés du Biarritzien (Ollivier-Pierre, 1980) et attribués aujourd'hui au Bartonien inférieur selon la nomenclature stratigraphique internationale (Serra-Kiel *et al.*, 1998).

4. INTERPRÉTATION STRATIGRAPHIQUE (diagrammes 1-1 à 1-6)

La répartition stratigraphique des formes de spores et des grains de pollen identifiés dans les Marnes de Mietesheim a été comparée à celles des mêmes espèces reconnues dans les coupes du Fossé rhénan supérieur, du Bassin de Paris et des bassins armoricains, en privilégiant les références au Bassin de Paris, dont la litho- et biostratigraphies ainsi que les âges sont établis de longue date. Dans le Fossé rhénan supérieur, entre la série de Bouxwiller, datée du Lutétien moyen (Schuler et Ollivier-Pierre, 1983) et le Salifère inférieur attribué au Ludien (Schuler, 1990), aucun sédiment n'est rapporté au Bartonien s.s., étage correspondant aux Barton beds d'Angleterre, entre le Lutétien et le Priabonien/Ludien, et comprenant deux sous-étages Auversien et Marinésien dans le Bassin de Paris (Cavelier, 1979 ; Châteauneuf, 1980 ; Schuler, 1988 ; charte ICS 2012). Si l'existence de cet étage a été envisagée, en particulier par Berger *et al.* (2005), aucun argument biostratigraphique ne l'avait étayée.

Toutes les formes identifiées dans les Marnes de Mietesheim ont fait l'objet d'une comparaison avec les extensions maximales des mêmes espèces dans les bassins précités et en particulier avec les deux sous-étages Auversien et Marinésien du Bassin de Paris. Un certain nombre d'espèces-guides, dont les distributions sont restreintes dans le temps (surlignées en jaune dans le diagramme de répartition des formes ci-joint), ont été sélectionnées. Elles sont :

- soit limitées à l'un, à l'autre ou aux deux sous-étages mentionnés ci-dessus ;
- soit elles apparaissent à la base de l'un ou de l'autre des deux sous-étages (FO = first occurrence des anglo-saxons) ;
- soit leur disparition intervient au sommet de l'un ou de l'autre des deux sous-étages (LO = last occurrence des anglo-saxons).

L'ensemble des niveaux étudiés sur les deux coupes est rapporté au Bartonien s.s. (*sensu* Bassin de Paris) à savoir : à l'Auversien pour le niveau du sondage 6-1046 (11 à 12,50 m) et au Marinésien pour les trois niveaux du forage 5-115, ces datations étant fondées sur la répartition des espèces-guides suivantes :

- première apparition dans l'Auversien de *Subtriporopollenites latiporatus*, *Tricolporopollenites chandlerae* et *T. microporitus*, *Eocenipollis* spp. et *Trillites multivalatus*. D'autre part, *Pentapollenites striangulus* est strictement limité à l'Auversien dans le Bassin de Paris. Deux autres facteurs sont en faveur d'un âge auversien : l'absence ou la très faible représentation des Pinacées (de l'ordre de 1 %) et l'abondance relative de *Plicapollis pseudoexcelsus* par rapport à la répartition ultérieure de cette forme ;
- première apparition dans le Marinésien de *Retistephanocolporites nyssoides*, des Poacées et des Ephédracées ;
- dernière présence dans le Marinésien de *Carya triangulus/rugatus*, *Polycopites viesenensis*, *Pentapollenites laevigatus* et des grains de pollen de Bombacacée. Par ailleurs,

sont limités au Marinésien : *Psilatricolpites* sp. 914 (Châteauneuf, 1980), *Retitricolporites densus* et *Retitricolporites levicolpus* ;

- enfin, sont limitées à l'ensemble des deux sous-étages, les formes suivantes : *Retiovoipollis parisiensis*, *Retitricolporites* sp. (cf. Saffré 252 m) et *Retitricolporites gibbosus/baviensis*.

5. INTERPRÉTATION DES CLIMATS ET MILIEUX DE DÉPÔT

La végétation évoquée par la microflore des Marnes de Mietesheim est très proche de celle qui a été décrite dans le Lutétien terminal de la partie alsacienne du Fossé rhénan supérieur (Sittler, 1965 ; Schuler, 1990 ; Schuler et Ollivier-Pierre, 1981) et des bassins parisiens (Gruas-Cavagnetto, 1977) ou armoricain (Ollivier-Pierre, 1980).

Dès la base, elle caractérise un environnement lacustre colonisé par une végétation hygrophile luxuriante et variée à Inaperturés du genre *Ovoidites*, à Sparganiacées, Restionacées, Ruppiaçées, Nymphaeacées et Cyperacées.

Cet espace aquatique semble relativement confiné. En effet, on n'y trouve aucun des restes algaires peuplant habituellement les étendues d'eau claires favorables à la photosynthèse tels les restes de *Botryococcus* ou de *Pediastrum*. Par ailleurs, il ne contient aucun apport anémogame lointain caractérisant les grandes surfaces lacustres qui concentrent généralement ces formes. Les rivages de ce lac sont colonisés par une flore palustre à Myricacées, Nyssacées, Cupressacées-Taxodiacées, Sparganiacées et Ruppiaçées, en arrière de laquelle se développe un épais couvert forestier, sous la forme d'une forêt sempervirente humide à larges feuilles persistantes. La pluviométrie élevée (plus de 1 500 mm d'eau/an), l'absence de saison marquée et les températures moyennes annuelles supérieures à 20 °C, caractérisent un climat tropical à subtropical (Mosbrugger *et al.*, 2005). Par ailleurs, l'absence d'une part de conifères de basse et moyenne altitude, d'autre part de formes herbacées, militent respectivement en faveur d'une absence totale de reliefs à proximité du milieu de dépôt de ces marnes et d'une épaisse couverture forestière entourant les rivages du lac, telle que celles qui existent en Asie du Sud-Est. La subsidence tectonique rhénane, embryonnaire, n'a pas encore différencié morphologiquement le Fossé rhénan et l'absence d'apports détritiques grossiers qui arriveront plus tard, au Priabonien (« Conglomérats côtiers ») (Düringer, 1988), infirme la présence de reliefs notables sur les bordures du fossé, comme le confirment les dernières synthèses (Berger, 2005 ; Sissingh, 2006), les horsts des Vosges et de la Forêt noire n'étant pas encore ébauchés.

Au cours du Marinésien, le climat commence à évoluer vers une saison sèche probablement courte mais mieux marquée, se traduisant par l'arrivée des conifères et des herbacées, alternant avec un régime de mousson qui peut perdurer pendant sept à dix mois par an, favorisant un début d'ouverture dans la forêt tropicale humide.

6. CORRÉLATION DE LA FORMATION DE MIETESHEIM AVEC LES DÉPÔTS SIMILAIRES DE L'EUROPE DE L'OUEST

Les facteurs floristique et climatique régissant le dépôt et la fossilisation de la microflore des Marnes de Mietesheim, que nous avons corrélés à ceux de l'Auversien-Marinésien du Bassin de Paris, sont également très proches de ceux de certaines des formations épicontinentales ou continentales du Fossé rhénan supérieur et ses prolongements dans la région de Mayence ou en Hesse, ainsi que des petits bassins armoricains. Les études palynologiques réalisées par Sittler (1965) et Schuler (1988) font état d'une flore comparable à celle des Marnes de Mietesheim à la base des sondages profonds du bassin potassique de Mulhouse (Wittelsheim, Schoenensteinbach et Staffelfelden), plus précisément dans une formation désignée comme marnes à Limnées I ou Marnes à Limnées inférieures, équivalentes des Marnes bleues et vertes inférieures du horst de Mulhouse et du Belfortais (Düringer, 1988) et situées à la base du Salifère inférieur, au-dessus de niveaux à *Planorbis pseudoammonius* attribués au Lutétien supérieur (Calcaires à Planorbes de Bouxwiller).

Du point de vue palynologique, cette formation se caractérise par une association riche en Juglandacées, Myricacées, Fagacées et en spores de Ptéridophytes (Schizeacées). Il existe encore des formes de *Normapollis*. Les pourcentages de coniférales sont peu élevés et on note l'absence d'herbacées. On retrouve cette association à la base des forages d'Eschau et d'Entzheim, au sud de Strasbourg, dans le Salifère inférieur avec, outre l'association précédente, la présence des genres *Retiovoipollis* (Ruppiaçée), *Bombacidites* (Bombacacée) et *R. gibbosus/baviensis*. Dans la partie septentrionale du Fossé rhénan supérieur, en Palatinat, dans la zone de Messel, il existe au-dessus des schistes bitumineux, datés du Lutétien par une riche faune et microflore, des calcaires lacustres et des marnes vertes à limnées dont l'analyse palynologique a été réalisée sur une tranchée routière près de Landau. L'association microfloristique est tout à fait comparable à celle des marnes à Limnées de la partie alsacienne du Fossé rhénan supérieur. La présence dans ces niveaux de kystes de dinoflagellés du genre *Spinidinium*, très abondant au Crétacé supérieur, pourrait être consécutive à des remaniements du Mésozoïque.

Dans le Massif armoricain, le bassin de Campbon a livré au-dessus du Biarritzien (Bartonien inférieur) daté par les foraminifères, une association dite supérieure (Ollivier-Pierre, 1980) à Juglandacées, Myricacées, Sparganiacées et Araliacées, pauvre en herbacées et dont les pourcentages en coniférales sont plus élevés que ceux des Marnes de Mietesheim et qui est attribuée par l'auteur à la base du Bartonien s.s. À une trentaine de kilomètres à l'Est de Campbon, le bassin de Saffré a été reconnu par un sondage qui a recoupé plus de 330 m de Tertiaire. Au-dessus du Biarritzien, comparable à celui de Campbon, se déposent des sables et des argiles dont la microflore peut être attribuée

également au Bartonien s.s. en raison de la présence de *Nagyipollis globus*, de spores cicatricosées et d'un certain nombre de formes ancestrales communes dans l'Éocène inférieur et moyen, associés à l'abondance des Myricacées, Juglandacées et Fagacées. Dans le Bassin de Rennes, le forage hydrogéologique de Bain-de-Bretagne, réalisé par le BRGM dans les années 1990, a été complété en 2010 par un nouveau forage qui a atteint le socle, après avoir traversé des dépôts d'âge Biarritzien. L'étude micropaléontologique et palynologique de ce sondage a mis en évidence, au-dessus de ces dépôts marins attribués au Bartonien inférieur selon la charte internationale (voir mise au point ci-dessus), une épaisse série de marnes organiques, tout à fait comparables à celles de Mietesheim et datées du Bartonien s.s. (Bauer *et al.*, 2012).

7. CONCLUSIONS

Les Marnes de Mietesheim, vases peu lithifiées de milieu très probablement lacustre, conservent une riche microflore, à éléments hygrophiles et forestiers tropicaux.

Dans le sondage 01986X1046, situé dans le Fossé rhénan principal, à proximité de la faille rhénane occidentale (fig. 1), les Marnes de Mietesheim ont livré une association végétale lacustre, bordée d'une frange palustre et forestière (ci-dessus paragraphe 5), quasiment dépourvue d'espèces herbacées et de conifères. Le milieu lacustre confiné se trou-

ve entouré par une forêt dense, riche en Angiospermes arborés très diversifiés et dominés par les Myricacées, les Juglandacées et les Fagacées, associées aux Cupressacées et Taxodiacées. Cette flore est apparentée à celle présente dans les sables auversiens du Bassin de Paris d'âge Bartonien s.s.

Dans le sondage 01985X0115, localisé dans le petit fossé de Mietesheim (fig. 1), la partie médiane des Marnes de Mietesheim a livré une flore assez semblable à celle du forage 6-1046, mais montrant une légère progression des pollens anémophiles de conifères (Pinacées), l'apparition d'espèces herbacées, ce qui pourrait indiquer une légère ouverture du milieu, semblable à celle que l'on observe dans le Bartonien s.s. supérieur du Bassin de Paris et des bassins armoricains.

D'un point de vue stratigraphique, la présence d'éléments apparaissant à l'Auversien, associés à d'autres disparaissant au Marinésien et à deux formes limitées à ces deux étages : *Retiovoipollis parisiensis* et *Retitricolporites gibbosus/bavien-sis* permettent d'attribuer avec certitude les Marnes de Mietesheim au Bartonien s.s.

Dans certains des sondages des environs de Mulhouse et de Strasbourg, Schuler (1988) a trouvé, au-dessus des Calcaires lutétiens de Bouxwiller dans les Marnes à Limnées inférieures, une flore assez semblable à celle de Mietesheim, bien que plus pauvre, qui pourrait être rapportée également au Bartonien s.s.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bauer H., Châteauneuf J.J., Bourdillon Ch., Saint-Marc P., Guillocheau F.** (2012) - Palaeoenvironments and palaeoclimate records at the Eocene and Oligocene transition from the Rennes basin (France): new insight from the CDB1 borehole (CINERGY project) – 4th. Int. Geo. Belgica meeting, sept. 2012, Brussels, Belgium.
- Behrmann J.H., Ziegler P.A., Schmid S.M., Heck B., Granet M. ed.** (2005) - Continental extension. *Int. J. Earth Sci* (Geol Rundsch), vol. 94, 4, p. 505-778.
- Berger J.B., Reichenbacher B., Becker D., Grimm M., Grimm K., Picot L., Tornì A.** (2005) - Éocène-Pliocène time scale and stratigraphy of the upper Rhine Graben (URG) and the Swiss molasse Basin (SMB). *International Journal of Earth Sciences*, 94, 4, p. 711-731.
- Bergerat F.** (1985) - Déformations cassantes et champ de contraintes dans la plate-forme européenne. *Mém. Sci. Terre, Univ. Pierre et Marie Curie*, 85-07, 315 p. 15 pl., Thèse sciences Paris, 1987.
- Bergerat F.** (1987) - Stress field in the European Platform at the time of Africa-Eurasia collision. *Tectonics*, 6, p. 99-132.
- Bernouilli D., Brun J.P., Burg J.P. ed.** (2007) - Continental extension. *Int. J. Earth Sci.* (Geol Rundsch), vol. 96, 6, p. 977-1031.
- Blanc-Valleron M.M.** (1991) - Les formations paléogènes évaporitiques du bassin potassique de mulhouse et des bassins plus septentrionaux d'Alsace. Document du BRGM n° 204, 349 p., XXV pl., X annexes. Orléans (thèse Strasbourg, 1990).
- Châteauneuf J.J.** (1980) - Palynologie et paléoclimatologie de l'Éocène supérieur et de l'Oligocène du bassin de Paris. *Mém. BRGM*, n° 116, p. 292-299, Orléans.
- Daubrée A.** (1852) - Description géologique et minéralogique du département du Bas-Rhin. Simon éd., Strasbourg, 501 p.
- Dietrich P.F. de** (1789) - Description des gîtes et minerais de la Haute et Basse-Alsace. Paris, Didot éd. ; réédition 1986, 417 p., 1 p. errata, 3 tab. h.t., Champion-Slatkine éd., Paris, Genève – Mines de fer en Basse Alsace, p. 275-301.
- Düringer Ph.** (1988) - Les conglomérats des bordures du rift cénozoïque rhénan. Dynamique sédimentaire et contrôle climatique. Thèse Sciences naturelles Strasbourg, 278 p., XVI pl. h.t.
- Gruas-Cavagnetto C.** (1977) - Étude palynologique de l'Éocène du bassin anglo-parisien. Doctorat es Sciences de l'Université de Paris VI, 287 p., 20 pl., 22 fig.
- Jaeger J.-J.** (1971) - La faune de mammifères du Lutétien de Bouxwiller (Bas-Rhin) et sa contribution à l'élaboration de l'échelle des zones biochronologiques de l'Éocène européen. *Bulletin du Service de la Carte géologique d'Alsace et de Lorraine* 24 (2-3) : p. 93-105.
- Krutsch H.W.** (1970) - Die stratigraphische verwertbaren Sporen- und Pollenformen des mitteleuropäischen Alttertiärs. *Jb. Geol.* 3, p. 309-379.
- Lepsius R.** (1875) - Beiträge zur Kenntnis der Juraformation im Unter-Elsass. Leipzig, 64 p., 1 pl. h.t.
- Ménillet F., Bucking H., Schumacher E., Werveke L. van, Haug E., Vogt H., Gross J.J., Reichelt R., Schirardin J., Petry F., Thevenin A.** (1979) - Carte géol. France (1/50 000), feuille Bouxwiller (197) et notice explicative par Ménillet F., Vogt H., Adloff C., Andreieff P., Boudot J.P., Châteauneuf J.J., Gall J.C., Geissert F., Lefavrais-Raymond A., Petry F., Thevenin A. et Schwoerer P. (1979) – Publication BRGM, Orléans.
- Mosbrugger V., Utescher T., Dilcher D.L.** (2005) - Cenozoic continental evolution of Central Europe. *Proc. Nat., Acad., Sci., USA*, vol. 2, n° 42, p. 14964-14969.
- Ollivier Pierre M.F.** (1980) - Étude palynologique (spores et pollen) de gisements paléogènes du Massif armoricain. Stratigraphie et paléogéographie. *Mém. Soc. Geol. Min. de Bretagne*, n° 25, 239 p.
- Schlippe O.** (1888) - Die fauna des Bathonien in Oberrheinischen Tieflande. *Abh. Z. Spezialkarte v. Els. Lothr.* IV, 4, 267 p., VIII pl. h.t.
- Schuler M.** (1983) - Pollen et spores des séries salifères (Éocène-Oligocène) du bassin potassique de Mulhouse (France). *Sci. Géol. Bull.*, 36, 4, p. 255-26, Strasbourg.
- Schuler M.** (1988) - Environnements et paléoclimats paléogènes. Palynologie et biostratigraphie de l'Éocène et de l'Oligocène inférieur dans les fossés rhénan, rhodanien et de Hesse. Thèse Sci. Univ. Strasbourg, 1988 et Documents du BRGM, 1990, 503 p., 14 pl. h.t., 80 p.
- Schuler M. et Ollivier-Pierre M.F.** (1981) - Étude palynologique (pollen et spores) du Lutétien continental de Bouxwiller (Bas-Rhin, France). *Sci. Géol. Bull.*, 34, 4, p. 219-238, Strasbourg.
- Serra-Kiell J. et al.** (1998) - Larger foraminiferal biostratigraphy of the Tethyan Paleocene and Eocene. *Bull. Soc. Géol. France*, T. n 169, n° 2, p. 281-299.
- Sissingh W.** (2006) - Syn-kinematic palaeogeographic evolution of the West European platform: correlation with Alpine plate collision and foreland deformation. *Nether. Journal of geosciences*, 85-2, p. 131-180.
- Sittler Cl.** (1965) - Le Paléogène des fossés rhénan et rhodanien ; études sédimentologiques et paléoclimatiques. *Mém. Serv. Carte géol. Als.-Lorr.*, 24, 392 p., Strasbourg.
- Trauth N., Cavelier C., Sommer F., Tourencq J., Pomerol C., Thiry M.** (1977) - Aperçu sur la sédimentation paléogène du synclinal de Bouxwiller comprise entre les marnes à rhynchonelles (Bathonien) et le conglomérat du Bastberg (Oligocène). *Sci. Géol. Bull.*, 30, 2, p. 91-100, Strasbourg.
- Villemin T.** (1986) - Tectonique en extension, fracturation et subsidence : le Fossé rhénan et le bassin de Sarre-Nahe, thèse Univ. Paris VI.

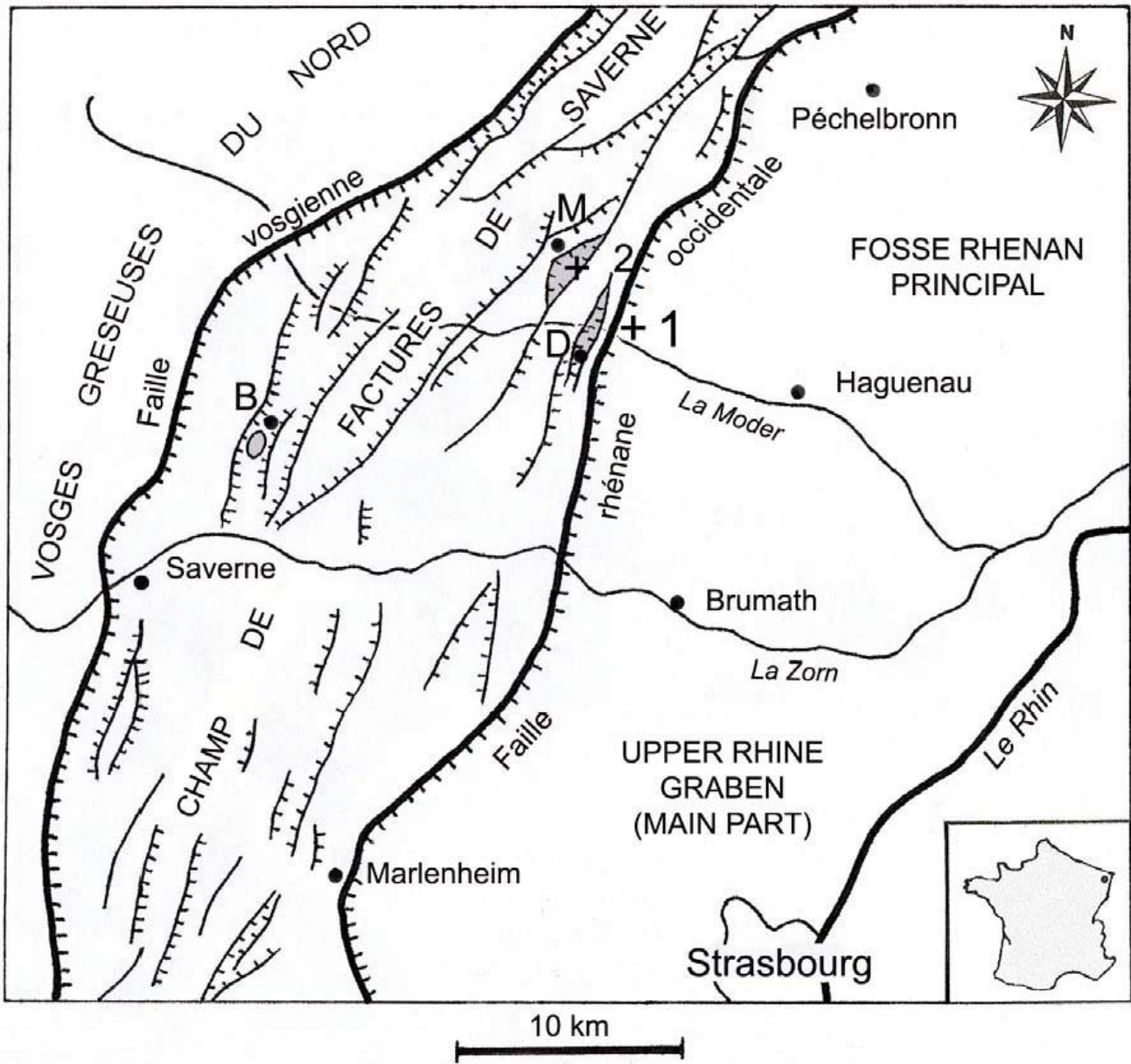


Fig. 1. Sondages recoupant les marnes du Bartonien dans le Fossé rhénan supérieur, au nord de Strasbourg (Bas-Rhin, France). Fossés de Mietesheim et de Dauendorf, selon F. Mênillet (inédit, 2010). **B** : Bouxwiller, **D** : Dauendorf, **M** : Mietesheim, **1+** : Forage 6-1046, **2+** : Forage 5-115.

Fig. 1. Studied wells and exposures of Bartonian Mietesheim Marls associated with the major structural elements in the Upper Rhine Graben (North of Strasbourg, France). Mietesheim and Dauendorf grabens after F. Mênillet (in preparation). **B**: Bouxwiller, **D**: Dauendorf, **M**: Mietesheim, **1+**: Forage 6-1046, **2+**: Forage 5-115.

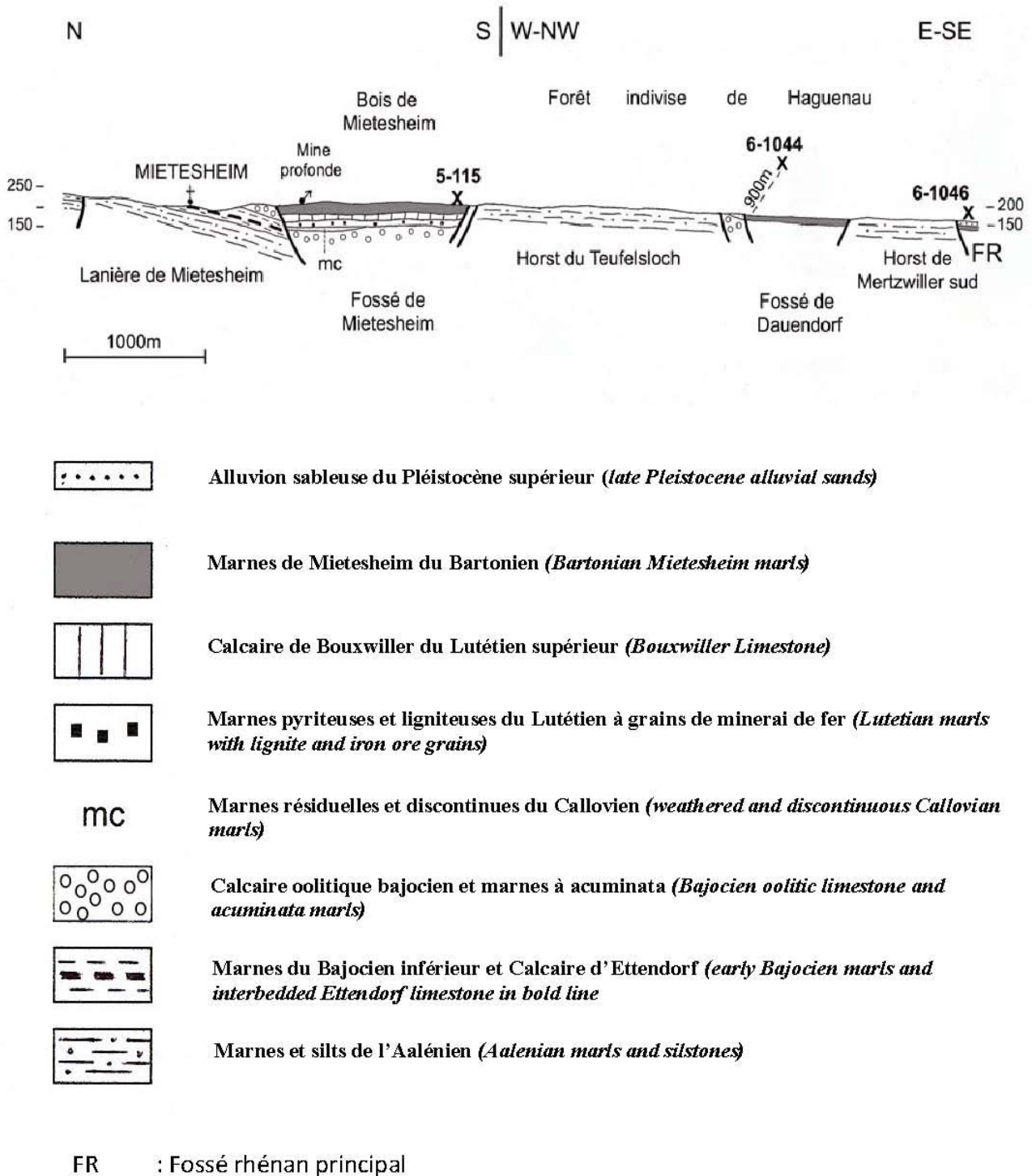


Fig. 2. Coupe géologique perpendiculaire aux structures dans le secteur de Mietesheim (Bas-Rhin, France) montrant les fossés de Dauendorf et de Mietesheim contenant des formations tertiaires.

Fig. 2. Geological section crossing structural trends and showing the Tertiary sediments of Dauendorf and Mietesheim grabens.

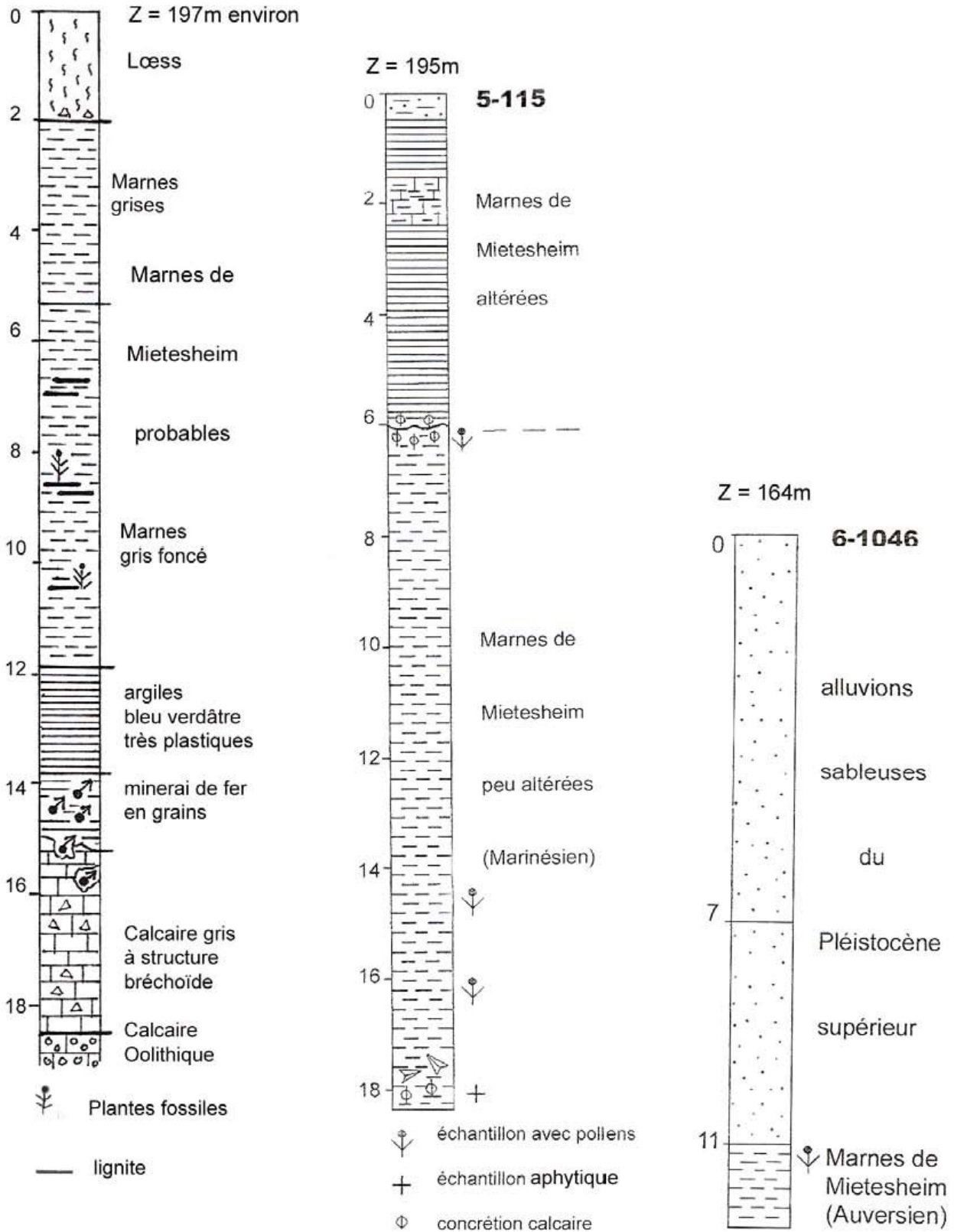


Fig. 3. Bartonien du champ de fractures de Saverne (Bas-Rhin, France) et position des échantillons étudiés dans les sondages 5-115 et 6-1046. La coupe de la mine profonde de Mietesheim est tirée de Daubrée (1852).

Fig. 3. Bartonian of Saverne fracture field and location of the studied samples in the 5-115 and 6-1046 boreholes. Section of the deep mine of Mietesheim from Daubrée (1852).

6-1046, 11-12,5	5-115, 16-16,5	5-115, 14-14,5	5-115, 6-6,5	ARGILES DE MIETESHEIM : ECHANTILLONS ETUDIÉS	UMITE REPARTITION DES MARQUEURS
X	1 X	3 2	3 1 X X	CONIFERES Pinus type sylvestris (Pinaceae) Cathaya (Pinaceae) Picea (Pinaceae) Podocarpus (Podocarpaceae)	
X			X X	Sciadopitys eocenicus / serratus (Taxodiaceae)	
1	1	1	X	Cycadaceae	
20	2	6	9	Cupressaceae	
				INAPERTURES LACUSTRES	
4	1	3	4	Plantes hygrophiles	
				POLLEN MONOPORE	
1	X	X	X	Sparganiaceae pollenites reticulatus (Sparganiaceae)	
X	X	X	X	Sparganiaceae pollenites magnoides (Sparganiaceae)	
X	X	X	X	Sparganiaceae pollenites sparganioides (Sparganiaceae)	
X	X	3	1	Milfordia incerta / hungarica (Restionaceae)	
X		2	X	Retiovoipollis loburgensis (Ruppiaceae)	
X			X	Retiovoipollis parisiensis (Ruppiaceae)	Auverisien à Marnésien
X			X	Cyperaceae	
			X	Emmapollis pseudoemmanensis (Cyperaceae)	
			X	Poacées	FO Marnésien
				POLLEN TRIPORES	
2	10	2	7	Autres Juglandaceae	
2	3	2	2	Engelhardtia (Juglandaceae)	
X	2	2	1	Plicatopollis plicatus / hungaricus (Juglandaceae)	
X	X		1	Platycarya (Juglandaceae)	
2	3	2		Carya / Pterocarya (Juglandaceae)	
2	3		X	Carya triangulus / rugatus (Juglandaceae)	LO Marnésien
2	3	2	X	Subtripropollenites constans (Juglandaceae)	
1				Subtripropollenites latiporatus (Moraceae)	FO Auverisien
300	210	300	280	Total des grains comptés par lame	
AUVERSIEN	MARNESIEN				AGÉS
LEGENDE:	FO: First occurrence			LO: Last occurrence	Auverisien à Marnésien : répartition limitée à ces deux étages

Diagramme 1-1 à 1-6. Distribution quantitative des spores et des grains de pollen dans les échantillons des Marnes de Mietesheim analysés.

Diagram 1-1 to 1-6. Quantitative distribution of spores and pollen grains in the Mietesheim marls samples analyzed.

6-1046, 11-12,5	5-115, 16-16,5	5-115, 14-14,5	5-115, 6-6,5	ARGILES DE MIETESHEIM : ECHANTILLONS ETUDIÉS	UMITE REPARTITION
X	3	2	X	Subtriopollenites campbonensis (Juglandaceae)	
4	7	6	5	Triatriopollenites saueriae (Myricaceae)	
2			2	Triatriopollenites rurensis (Myricaceae)	
X				Triatriopollenites hians (Oleaceae)	
			3	Triatriopollenites fuscus (Myricaceae)	
			2	Triatriopollenites intermedius (Myricaceae)	
X			X	Triatriopollenites bituitus (Myricaceae)	
			2	Triatriopollenites spinosus/intermedius (Myricaceae)	
X			X	Triatriopollenites hiatus (Juglandaceae)	
			1	Triatriopollenites pusulatus (Myricaceae)	
4	X	X	1	Ulmus-Zelkova (Ulmaceae)	
X	X	X	X	Subtriopollenites ulmoides (Ulmaceae)	
4				Celtis	
X				Acer	
X			X	Bombacaceae	LO Marinésien
X	X			Tilia (Tiliaceae)	
X	2		2	Corylus (Corylaceae)	
10	17	2	6	Autres Myricaceae	
2	1	1	X	Plicapollis pseudoxcelis (Myricaceae)	Abondance Auversien
		X	X	Corsiniopollenites oculis-noctis (Oenotheraceae)	
		X		Compositopollenites sp.900 (Icacnaceae?)	
				POLLEN PERIPIRES	
X				Magyropollis globus (Buxaceae type bahamensis)	
X				Orapollis denticulatus (Amaranthaceae)	
X				Malvacipollis acutus (Malvaceae)	
X		X		Plantaginaceae/Aismataceae	
				POLLEN MONO COLPES	
X	X	X		Monocolpopollenites tranquillus (Palmae)	
X	X	X		Arecipites microreticulatoides (Sabal; Palmae)	
300	210	300	280	Total des grains comptés par lame	
AUVERSIEN	MARINESIEN				AGES

6-1046, 41-42,5	5-115, 46-46,5	5-115, 44-44,5	5-115, 6-6,5	ARGILES DE MIETESHEIM : ECHANTILLONS ETUDIÉS	UMITE REPARTITION
X	X	X		Monocolpopollenites ziewelensis (palmae)	
X				Arecipites sp. (Palmae)	
	X	X	X	Nupharipollis sp. (Nymphaeaceae)	
2	X	X	X	POLLEN TRICOLPES	
	X			Rettricolpites henisensis ou verum (Hamamelidaceae)	
1	X		X	Rettricolpites rauscheri (Hamamelidaceae?)	
10	X		X	Parrotia cf. persica (Hamamelidaceae)	
2			X	Pollenites ventosus (Fagaceae)	
X			X	Quercus (Fagaceae)	
X			X	Tricolpopollenites asper (Fagaceae)	
X				Tricolpopollenites retiformis (Salicaceae-Platanaceae)	
	2	X	X	Tricolpopollenites libranensis/asper (Quercus-Fagaceae)	
	X	X		Tricolpopollenites groupe microhemici (Fagaceae)	
X		2	X	Scabratricolpites cf. pudicus (Fagaceae)	
		2		Scabratricolpites circulus (Mimosaceae?)	
X	X		2	Tricolpopollenites parmularius (Eucommiaceae)	
		X		Tricolpopollenites convolvuloides (Convolvulaceae)	
	X			Psilatricolpites sp. 914 (in châteauneuf 1980) (famille inconnue)	limité au Marinésien
	2	1	X	Psilatricolpites sp. (P301 in Châteauneuf 1980) (Aizoaceae)	FO Marinésien
		X	X	Ephedraceae	FO Bart.inf.Campbon
			X	Ericaceae	
			X	Polycolpites viesensis (Rubiaceae)	LO Marinésien
			X	POLLEN TRICOLPES	
X				Tricolporopollenites chandlerae (Papilionoidae)	FO Auversien
2				Tricolporopollenites microporus (Euphorbiaceae)	FO Auversien
X		X		Tricolporopollenites laevigatus (Fabaceae)	
		X		Tricolporopollenites pseudoexactus (Myrsinaceae?)	
		X		Tricolporopollenites steruliaceoides (Steruliaceae)	
		X		Tricolporopollenites megaxactus bruhliensis (Cyrillaceae)	
		X		Psilatricolporites psilatus (Ebenaceae)	
AUVERSIEN	MARINESIEN				AGES
LEGENDE:				FO: First occurrence	LO: Last occurrence
				Auversien à Marinésien : répartition limitée à ces deux étages	

6-1046, 11-12,5	5-115, 16-16,5	5-115, 14-14,5	5-115, 6-6,5	ARGILES DE MIETESHEIM : ECHANTILLONS ETUDIÉS	LIMITE REPARTITION
X	X		X	Psilatricolporites crassus (Theaceae ou Apocynaceae?)	Lutétien à Ludien
			X	Psilatricolporites olivignaudi (Rubiaceae?)	
X			X	Scabratricolporites scheffleroides (Araliaceae)	
X	X		X	Scabratricolporites edmundi (Nyssaceae)	
			X	Scabratricolporites scissus (Euphorbiaceae)	
				Scabratricolporites doubingerae (Araliaceae)	
		X		Scabratricolporites vanschepdaeli (Euphorbiaceae)	
		X		Scabratricolporites microfoveolatus (Euphorbiaceae)	
X	2	2	1	Scabratricolporites goupe cingulum (Castanea: Fagaceae)	
			X	Scabratricolporites retriangulus/araliaceoides (Araliaceae)	
6	2	3		Castanea-Castanopsis (Fagaceae)	
X	X	1		Psilatricolporites kruschi (Nyssaceae)	
	X			Scabratricolporites sp. 4 (Mastixiaceae)	
4	X	X	2	Autre Nyssaceae	
	X	X	X	Tricolporopollenites reticolum ou huangi (Araliaceae)	
4	9	6	20	Tricolporopollenites oleoides (Oleaceae)	
X				Caesalpinia (Leguminosae)	
X				Ceratonia silica (Leguminosae)	
X			X	Hoernackeria (Umbelliferae)	
X	X			Tricolporopollenites cf. baculiferus ou pacatus (Simaroubaceae?)	
X		X		Tricolporopollenites cf. irregulatus (Euphorbiaceae)	
X				Tricolporopollenites crassixinus (Artemisia: Asteraceae)	
X	X	1		Tricolporopollenites pseudocingulum (Rhus: Anacardiaceae)	
	X	X		Tricolporopollenites satzweyensis (Mastixiaceae)	
		X		Tricolporopollenites angki (Araliaceae)	
		X		Tricolporopollenites cf. pseudomentaldensis (Rhizophoraceae?)	
		X		Tricolporopollenites cf. ludensis (Umbelliferae)	
X	X	1	2	Ilex (Aquifoliaceae)	
300	210	300	280	Total des grains comptés par lame	
AUVERSIEN	MARINESIEN				
LEGENDE:	FO: First occurrence	FO: First occurrence	LO: Last occurrence	Auversien à Marinesien : répartition limitée à ces deux étages	AGES

6-1046, 11-125	5-115, 16-165	5-115, 14-145	5-115, 6-65	ARGILES DE MIETESHEIM : ECHANTILLONS ETUDIÉS		UMITE REPARTITION
X					Iacinaceae	
1	X	X	2		Sapotaceae	
1			2		Euphorbiaceae	
	X				Xanthophyllum (Rutaceae)	
	X	1			Tricolporopollenites milonii (Sapotaceae)	
X			X		Tricolporopollenites rhombus (Calyceaceae)	
	X	X			Tricolporopollenites dolium (Anacardiaceae)	
	X		X		Retitricolporites jeanninae(Bupleurum;Umbelliferae)	
			X		Retitricolporites cf. spinus (Rutaceae)	
	X		X		Retitricolporites densus(Araliaceae)	Limité au Marinésien
			X		Retitricolporites sp. cf. saffré 252m (Euphorbiaceae)	Limité au Bartonien
	X		X		Retitricolporites germeradi/duvigneaudi(Araliaceae)	
	X	X	X		Retitricolporopollenites gibbosus/baviensis (Araliaceae)	Auversien à Marinésien
	X	X	X		Retitricolporites leviculus (P899 in Châteauneuf 1980)(Araliaceae)	Limité au Marinésien
			X		Retitricolporopollenites globosus(Greewia;Tiliaceae)	
X		X	X		Verrutricolporites irregularis/constrictus (Theaceae)	
			X		Retistephanocolporites nyssoides (Nyssaceae)	
	1	2	X		Tetracolporopollenites grambasti (Sapotaceae)	FO Marinésien
		X			Tetracolporopollenites cf. pflugii (Sapotaceae)	
		X			Tetracolporopollenites cf. biconus (Sapotaceae)	
	X	X	X		Tetracolporopollenites cf. rotundus (P840bis) (Sapotaceae)	FO Auversien
					POLLEN SYNCLIPORES	
X			X		Syncliporites spp. (Elaeagnaceae)	
X			X		Slowakipollis sp.(Elaeagnaceae)	
	X	X	X		Cupamieidites eucalyptoides (Myrtaceae)	
X					Pentapollenites striangulus(Simaroubaceae)	Limité Auversien
	2	2	2		Pentapollenites laevigatus(Simaroubaceae)	LO Marinésien
X	X	X	X		Pentapollenites striatus (Simaroubaceae)	
300	210	300	280		Total des grains comptés par lame	
AUVERSIEN	MARINESIEN					AGES
LEGENDE:				FO: First occurrence	LO: Last occurrence	Auversien à Marinésien : répartition limitée à ces deux étages

6-1046, 11-125	5-115, 16-165	5-115, 14-145	5-115, 6-65	ARGILES DE MIETESHEIM : ECHANTILLONS ETUDIÉS		UMITE REPARTITION
X		X		Pentapollenites regulatus (Simaroubaceae)		
X	2		2	Pentapollenites pentangulus (Simaroubaceae)		
X	X	X	X	Eocenipollis spp. (Meliaceae)		FO Auversien
		X	X	Polycoplites viesenensis (Rubiaceae)		LO Marinésien
		X	X	Porocolpopollenites calauiensis (Symplacaceae)		
			X	Perisyncolporites constrictus (Malpighiaceae?)		
		X		Fagraea (Portulacaceae) PL 143		
2	15	25	5	POLLEN INDETERMINES		
				SPORES		
X	1	2	X	Cicatricosisporites paradrugensis (Schizaceae)		
1	X			Triletes multivallatus S3925 (Schizaceae)		FO Auversien
1	2	2	X	Leiotriletes adriennis (Cyatheaceae)		
1				Toripunctisporites sp. (Gleicheniaceae)		
				Baculatisporis gemmatus/quintus (Osmundaceae)		
1			X	Echinatisporis sp. (Selaginellaceae)		
1	2	6	9	Bifacialisporites retrugulatus (Pteridiaceae)		
		X	X	Camarozonosporites heskemensis (Lycopodiaceae)		
	X			Totrisporis sp.		
	1			Polypodiaceae		
300	210	300	280	Total des grains comptés par lame		
AUVERSIEN		MARINESIEN				
LEGENDE:		FO: First occurrence		LO: Last occurrence Auversien à Marinésien : répartition limitée à ces deux étages		
				AGES		