

Mise en évidence d'un interglaciaire du Pléistocène inférieur dans une formation fluviatile du Seuil du Cotentin (Normandie, France)

Evidence of an Early Pleistocene Interglacial Event Within a Fluvial Formation of Cotentin (Western-Normandy, France)

Nachweis eines Interglazials im frühen Pleistozän in fluviatilen Bildungen der Schwelle von Cotentin (Normandie, Frankreich)

Martine Clet-Pellerin, Stéphane Baize, Anne-Véronique Walter, Olivier Dugué et Jean-Pierre Coutard

Volume 51, numéro 3, 1997

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/033136ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/033136ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Les Presses de l'Université de Montréal

ISSN

0705-7199 (imprimé)

1492-143X (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Clet-Pellerin, M., Baize, S., Walter, A.-V., Dugué, O. & Coutard, J.-P. (1997). Mise en évidence d'un interglaciaire du Pléistocène inférieur dans une formation fluviatile du Seuil du Cotentin (Normandie, France). *Géographie physique et Quaternaire*, 51(3), 363–378. <https://doi.org/10.7202/033136ar>

Résumé de l'article

La découverte dans le Seuil du Cotentin (Minières, Normandie) d'une nouvelle formation sablo-graveleuse située sous une tourbe holocène et reposant en discordance sur des séries marines plio-pléistocènes met en évidence un interglaciaire du Pléistocène inférieur. Cette formation fluviatile appelée « Sables de La Lande de Millières » recèle des niveaux tourbeux et organiques intercalés parmi les silts et argiles du Membre supérieur. Cette formation enregistre les premiers stades de la sédimentation fluviatile quaternaire dans cette région. Elle recouvre des faciès sableux marins actuellement attribués au Complexe des Sables de Saint-Vigor, eux-mêmes surmontant les dépôts marins du Reuvérien-Prétiglien, déjà définis à Marchésieux. Une étude pluridisciplinaire, alliant tectonique, sédimentologie, palynologie et géochimie sur les niveaux tourbeux et organiques a permis de comprendre leur milieu sédimentaire et les différentes étapes de leur mise en place. Par comparaison avec les enregistrements connus du Plio-Pléistocène de l'Europe du Nord-Ouest (Angleterre, Pays-Bas, Allemagne), l'étude palynologique a permis de dater les niveaux tourbeux d'un interglaciaire du Pleistocene inférieur, de la fin du Waalien au début du refroidissement ménapien.

MISE EN ÉVIDENCE D'UN INTERGLACIAIRE DU PLÉISTOCÈNE INFÉRIEUR DANS UNE FORMATION FLUVIATILE DU SEUIL DU COTENTIN (NORMANDIE, FRANCE)

Martine CLET-PELLERIN*, Stéphane BAIZE, Anne-Véronique WALTER, Olivier DUGUÉ et Jean-Pierre COUTARD, ER 109 CNRS, Géomorphologie et Géosciences de la surface, 24, rue des Tilleuls, 14000 Caen, France.

RÉSUMÉ La découverte dans le Seuil du Cotentin (Millières, Normandie) d'une nouvelle formation sablo-graveleuse située sous une tourbe holocène et reposant en discordance sur des séries marines plio-pléistocènes met en évidence un interglaciaire du Pléistocène inférieur. Cette formation fluviale appelée « Sables de La Lande de Millières » recèle des niveaux tourbeux et organiques intercalés parmi les silts et argiles du Membre supérieur. Cette formation enregistre les premiers stades de la sédimentation fluviale quaternaire dans cette région. Elle recouvre des faciès sableux marins actuellement attribués au Complexe des Sables de Saint-Vigor, eux-mêmes surmontant les dépôts marins du Reuverien-Prétilgien, déjà définis à Marchésieux. Une étude pluridisciplinaire, alliant tectonique, sédimentologie, palynologie et géochimie sur les niveaux tourbeux et organiques a permis de comprendre leur milieu sédimentaire et les différentes étapes de leur mise en place. Par comparaison avec les enregistrements connus du Plio-Pléistocène de l'Europe du Nord-Ouest (Angleterre, Pays-Bas, Allemagne), l'étude palynologique a permis de dater les niveaux tourbeux d'un interglaciaire du Pléistocène inférieur, de la fin du Waalien au début du refroidissement ménapien.

ABSTRACT *Evidence of an Early Pleistocene interglacial event within a fluvial formation of Cotentin (western-Normandy, France).* A new formation referred to as the "Sables de La Lande de Millières" and made of fluvial sands and gravels has been discovered in the western part of the Cotentin region close to Millières. This formation is overlain by Holocene peat and unconformable with underlying Plio-Pleistocene marine sandy strata (so-called "Sables de Saint-Vigor"). These sands overlay Reuverian-Praetigian marine deposits which were defined at Marchésieux. In its upper part, the Sables de La Lande de Millières Formation contains peaty and organic levels within clays and silts. In western Normandy, this formation is the first evidence for fluvial sedimentation during an Early Pleistocene interglacial event. A multidisciplinary approach (palynology, tectonic, sedimentology and geochemistry) has been carried out on peaty and organic levels. It allows us to understand their sedimentary environment and the different stages of their emplacement. Compared with known English, Dutch and German Plio-Pleistocene deposits, the palynological study shows evidences for a late Waalian and early Menapian age.

ZUSAMMENFASSUNG *Nachweis eines Interglazials im frühen Pleistozän in fluviatilen Bildungen der Schwelle von Cotentin (Normandie, Frankreich).* In der Schwelle von Cotentin (Millières, Normandie) hat man neue sandig-kiesige Bildungen unter einem Holozän-Torf entdeckt, die in Diskordanz auf marinen Plio-Pleistozän-Serien lagern. Dies weist auf ein Interglazial im frühen Pleistozän. Diese « Sables de La Lande de Millières » genannten fluviatilen Bildungen enthalten torfige und organische Ebenen, welche in den Schlamm und den Lehm des oberen Teils eingefügt sind. Sie registrieren die Anfänge der fluviatilen Quartär-Sedimentation in diesem Gebiet. Sie bedecken sandige marine Fazies, die gegenwärtig der Einheit der Sables de Saint-Vigor zugeschrieben werden, die ihrerseits die marinen Ablagerungen des Reuverium-Praetegelen überlagern, welche schon bei Marchésieux bestimmt wurden. Ein multi-disziplinäres Vorgehen, das Tektonik, Sedimentologie, Palynologie und Geochemie bei der Studie der torfigen und organischen Ebenen vereint, erlaubte ihr Sedimentationsmilieu und die verschiedenen Etappen ihrer Etablierung zu verstehen. Durch Vergleich mit den bekannten Ablagerungen aus dem Plio-Pleistozän in Nordwest-Europa (England, Niederlande, Deutschland) konnte die palynologische Studie die Torf-Niveaus eines Interglazials im frühen Pleistozän datieren, vom Ende der Waal-Warmzeit bis zum Beginn der Menap-Abkühlung.

INTRODUCTION

Le domaine étudié se situe en Normandie, dans le Seuil du Cotentin, sur la bordure occidentale du Bassin parisien dans la sablière de La Lande, sur la commune de Millières dans le département de la Manche ($X=1^{\circ}27' W$ et $Y=49^{\circ}13' N$). Les formations néogènes sont accumulées dans un vaste graben E-W et les sédiments sont souvent conservés au sein de petits bassins kilométriques limités par des failles d'origine cadomienne ou varisque (fig. 1). Ces dépôts détritiques fluviaux à marins reposent généralement en discordance sur les séries antécénozoïques et caractérisent le remplissage d'un fossé d'effondrement plio-quadernaire, au cours d'une déformation syn-sédimentaire en extension. Le plus souvent, ils ne sont accessibles que par forage (forage de Marchésieux, par exemple). La reprise récente des études sédimentaires et structurales dans le Seuil du Cotentin a favorisé la découverte d'une nouvelle formation détritique, dans la sablière de La Lande. Son épaisse série silto-sablo-graveleuse enregistre plusieurs milieux de dépôts, estuariens à fluviaux, sous l'emprise à la fois de paramètres tectoniques et climatiques.

ÉTAT DE LA QUESTION

Dans le Seuil du Cotentin (fig. 2), la série stratigraphique plio-pléistocène n'est pas entièrement reconnue sur une même verticale et ne peut être donc reconstituée qu'à la faveur de levés cartographiques, d'affleurements temporaires dans des sablières ou de forages (Bigot, 1935 ; Dangeard et Vattier, 1957). Jusqu'à ces dernières années, tous les dépôts

argileux à argilo-sableux étaient regroupés sous le faciès des Marnes du Bosq d'Aubigny, avec le symbole P' sur les cartes géologiques régionales. En 1991, sur la commune de Marchésieux, non loin de la sablière de La Lande de Millières, un forage carotté dépassant les 160 m de profondeur a traversé une épaisse série d'argiles et de sables argileux gris fossilifères. L'étude de la microfane et du pollen de ce forage a permis de proposer un âge pliocène supérieur : Reuvérien B et C, entre -159 et -45 m et limite Reuvérien-Prétigien entre -45 et -33 m (Clet *et al.*, sous presse ; Farjanel *et al.*, sous presse).

Il existe également dans la région, une série sableuse azoïque de teinte jaunâtre, sus-jacente à ces marnes symbolisée par la notation P₀ et datée du Pliocène. Elle était désignée localement dans le Seuil du Cotentin et aux environs de Bayeux sous l'appellation de faciès des Sables de Saint-Vigor et n'avait fait l'objet que d'études minéralogiques (Berthois et Milon, 1935 ; Baudre et Berthois, 1935). L'absence d'études sédimentaires détaillées ne permettait pas de distinguer les milieux de dépôts (Doré *et al.*, 1977), à l'exception de celles de Poncet (1958) dans le secteur de Lessay qui reconnaissait déjà une unité marine basale et une unité fluviale sommitale et de celle de Guery (1960) autour de Bayeux. Ce complexe de Saint-Vigor serait retrouvé dans les premiers dépôts sableux marins de La Lande de Millières recouvrant le substratum paléozoïque.

Le but de cet article est donc de définir et de comparer les évolutions sédimentaires, palynologiques et géochimiques de la Formation des Sables de La Lande de Millières, de replacer cette formation dans son contexte régional puis d'essayer de dater les niveaux organiques qu'elle recèle dans sa partie supérieure par comparaison avec d'autres formations du nord-ouest de l'Europe. La Formation de La Lande de Millières présente un intérêt stratigraphique important puisque le toit du complexe des Sables de Saint-Vigor se trouve ainsi mieux précisé.

PRÉSENTATION DU SITE D'ÉTUDE

La sablière étudiée est située sur le versant sud du ruisseau de Clavids qui circule à travers la vaste surface d'aplanissement d'origine céno-manienne de La Lande de Lessay (Poncet, 1961). Cette sablière est localisée à la croisée de deux principales directions tectoniques NNE-SSW et SE-NW qui ont guidé la formation de deux petits grabens (fig. 3). Ces derniers ont entaillé des alternances grés-feldspathiques subtabulaires attribuées à la Formation des Grès de Lessay, d'âge probablement cambrien (Bigot, 1926 ; Doré et Poncet, 1978).

Les unités sableuses exploitées sont d'épaisseur très variable (10-40 m), en relation avec la topographie du toit du substratum paléozoïque, et un sondage réalisé à quelques kilomètres à l'ouest de l'exploitation a ainsi découvert une accumulation de plus de 70 m de sables. Au sud et à l'est de l'exploitation, le gisement sableux plio-pléistocène est limité par des falaises subverticales de grès paléozoïques. Les contacts tectoniques de direction N-120 présentent des indices d'une déformation syn-sédimentaire en extension comme des

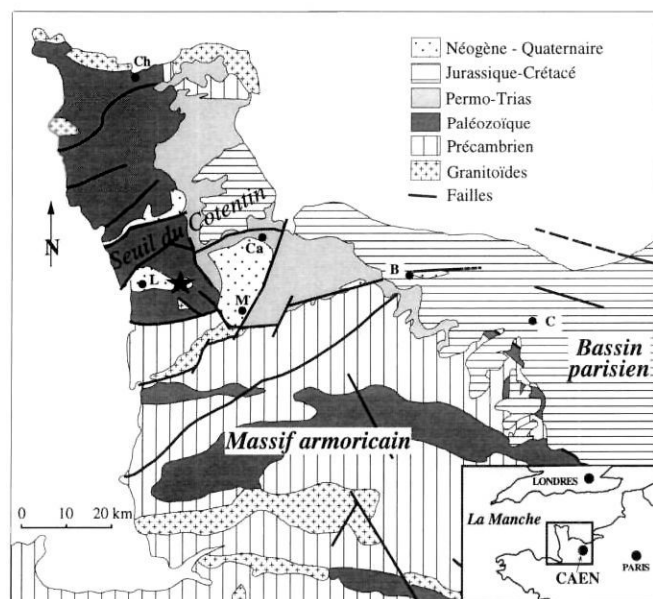


FIGURE 1. Carte géologique simplifiée de la Basse-Normandie (d'après Doré *et al.*, 1977). B. : Bayeux. C. : Caen. Ca. : Carentan. Ch. : Cherbourg. L. : Lessay. M. : Marchésieux. Étoile : localisation de la sablière de La Lande.

Schematic geological map of Basse-Normandie (after Doré *et al.*, 1977). B. : Bayeux. C. : Caen. Ca. : Carentan. Ch. : Cherbourg. L. : Lessay. M. : Marchésieux. Star : location of La Lande sand-pit

FIGURE 2. Localisation du site d'étude dans le Seuil du Cotentin.
Location map of the studied area to "le Seuil du Cotentin".

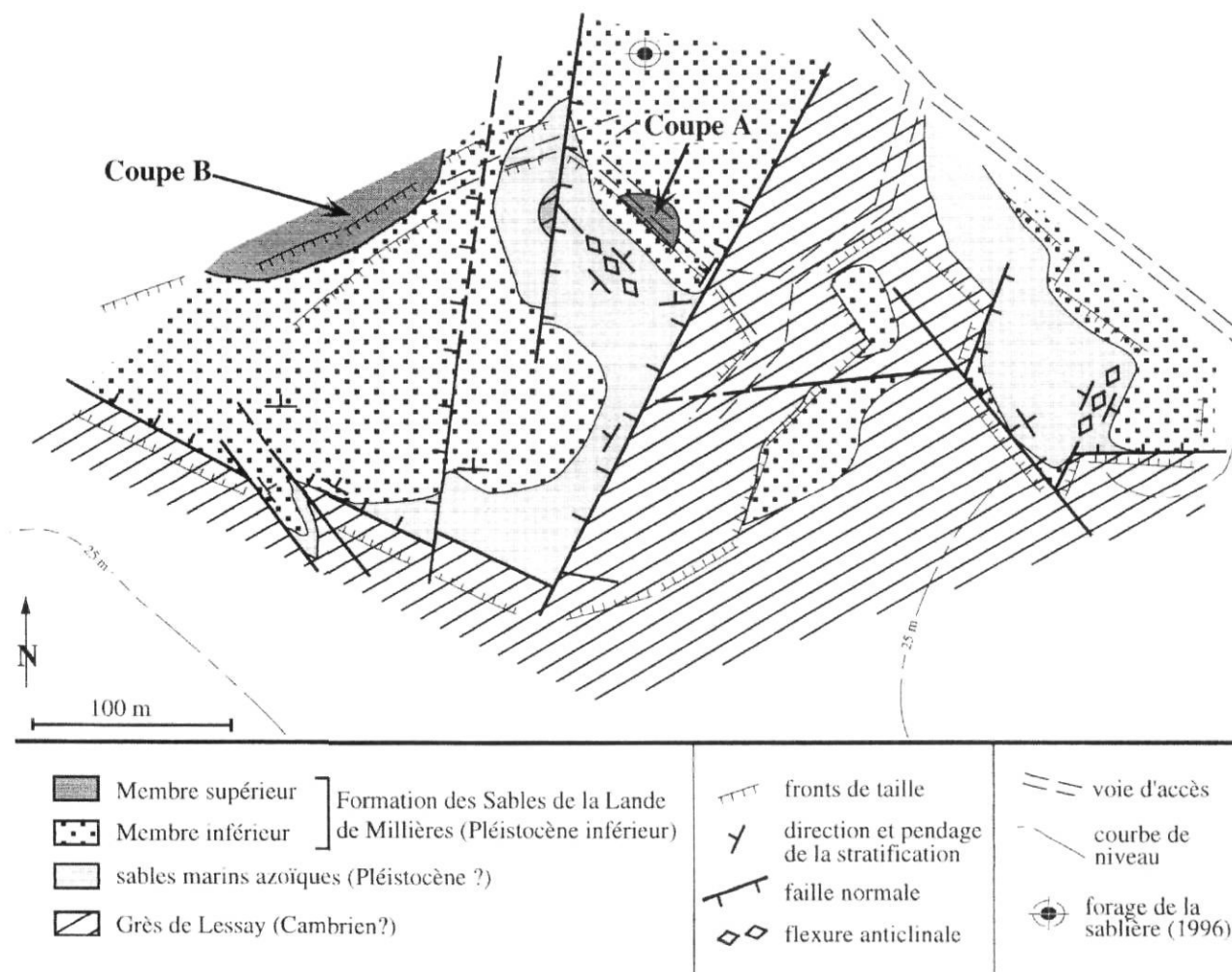
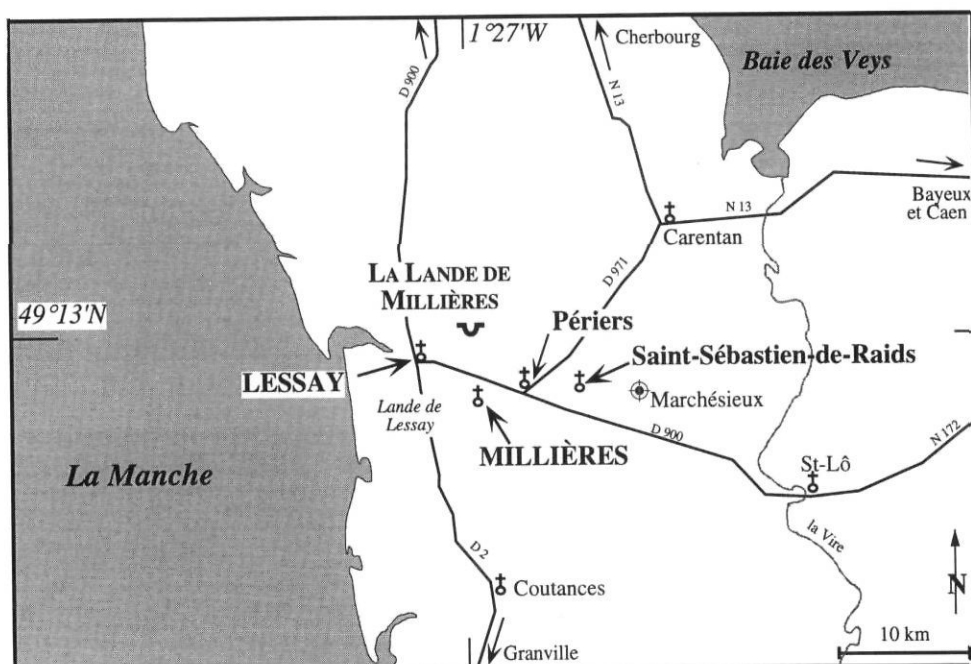


FIGURE 3. Plan de la sablière de La Lande de Millières et localisation des coupes A et B.

General setting of the La Lande de Millières sand-pit and location of profiles A et B.

épaississements de lentilles sableuses et bréchiques en pied de falaise et des failles fossilisées par les niveaux sableux supérieurs (Baize, travaux en cours ; Dugué *et al.*, 1997).

MÉTHODOLOGIE

Plusieurs coupes ont été levées dans les silts et niveaux organiques au sommet de la sablière. Parallèlement à l'étude palynologique de détail, chaque coupe a fait l'objet d'une étude sédimentaire, avec inventaire et interprétation des faciès sédimentaires (structures, discontinuités, reconstitution des paléoenvironnements), d'analyses pétrographiques des matériaux détritiques, minéralogiques de la fraction argileuse et géochimiques.

La détermination des minéraux argileux a été réalisée par diffraction des rayons X (anticathode de cobalt), sur pâte orientée, conjointement au Centre de géomorphologie et au Département de géologie de l'Université de Caen.

Les analyses chimiques (Si, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, Ti, P, Nb, Zr, Y, Sr, Rb, Co, V, Ni, Cr, Ba, Zn, Cu, Ga, Pb, Th) ont été réalisées sur un spectromètre de fluorescence X, Philips PW1480, muni d'un tube RX à anticathode de rhodium, à l'Institut de géologie de l'Université de Rennes.

L'analyse palynologique est basée sur un échantillonnage tous les 10 cm, voire tous les 5 cm, sur des coupes de 7 à 10 m de hauteur affleurant temporairement en fonction de l'exploitation de la sablière. Les 180 prélèvements ont été traités au Centre de géomorphologie, (CNRS, Caen) par une méthode de tamisages, puis traitement à l'acide fluorhydrique. Quelques échantillons ont été ensuite examinés au microscope électronique à balayage (JEOL 6400 F, Centre de microscopie électronique de l'Université de Caen), afin de préciser la détermination de taxons, *Carpinus* et *Pterocarya*, par exemple (fig. 4 et 5). Les données sont traitées par les logiciels G3PAL et TILIA. Le nombre de grains de pollen et de spores comptés dépassent dans la mesure du possible les 200 grains. Les différents taxons rencontrés ont été regroupés graphiquement, en cinq classes, dans la partie médiane des diagrammes :

- 1) les éléments mégamésophiles « exotiques » comprenant surtout *Pterocarya* et *Carya* et quelques taxons à l'état de traces comme *Pinus* type *haploxylon*, *Sciadopitys*, *Tsuga* et *Castanea* ;
- 2) les arbres et arbustes de la forêt mixte tempérée avec :
 - les arbres : *Quercus*, *Tilia*, *Ulmus*, *Carpinus/Ostrya* ;
 - les arbustes occupant les milieux humides de bordure des eaux : *Alnus* et *Myrica* ;
 - les arbustes pionniers et de milieux secs : *Corylus*, *Ilex* et *Hedera* ;
- 3) les conifères, arbres et arbustes de la forêt boréale : *Pinus*, *Picea*, *Abies*, *Betula*, *Salix* ;
- 4) les herbacées telles que :
 - Ericaceae ;
 - Poaceae ;
 - Asteraceae (Liguliflorae et Tubuliflorae) et *Artemisia* ;
 - les autres herbacées xérophiles avec Caryophyllaceae, Apiaceae, Brassicaceae, Geraniaceae ... ;
 - les herbacées de milieu humide (Cyperaceae...) ;
 - les herbacées aquatiques d'eau douce (*Typha*, *Myriophyllum*, *Alisma plantago*) ;
- 5) l'ensemble des spores :
 - spores de Ptéridophytes (spores monolètes de Polypodiaceae, *Osmunda* et *Lycopodium*) ;
 - spores de *Sphagnum*.

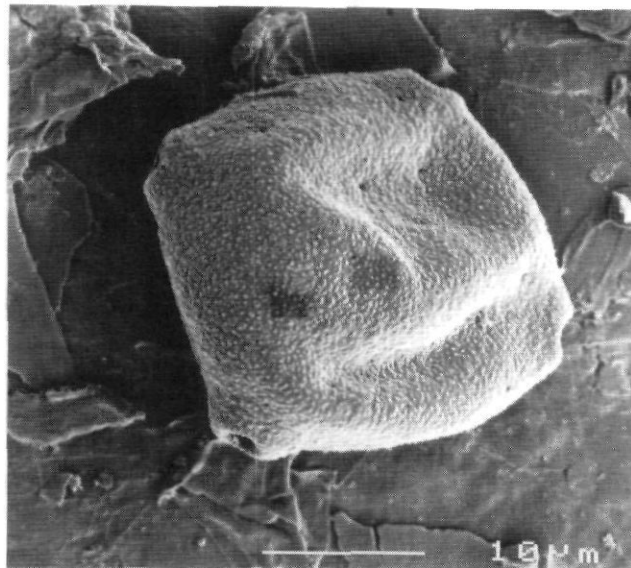


FIGURE 4. *Carpinus/Ostrya* (x 2000). SEM - JEOL 6400F (Centre de Microscopie électronique, Université de Caen).

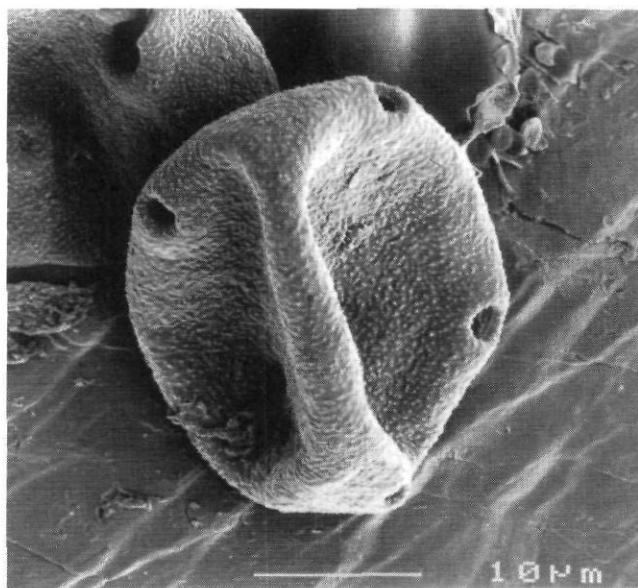


FIGURE 5. *Pterocarya* (x 2000). SEM - JEOL 6400 F (Centre de Microscopie électronique, Université de Caen).

Par ailleurs, l'un des problèmes principaux associé à la reconstitution des anciens paysages végétaux concerne la

détermination des sources du pollen et des spores. Les milieux de dépôts anciens sont différents des tourbières trouvées dans les plaines actuelles pouvant servir de référence. Le transport éventuel des grains de pollen, leur usure ou leur détérioration, sont rarement considérés dans les reconstitutions palynologiques. C'est pourquoi, l'interprétation s'appuie ici, d'une part sur la lithostratigraphie et l'analyse détaillée des différents faciès sédimentaires reconnus et, d'autre part, sur l'analyse de tous les indices susceptibles d'apporter des éléments nouveaux, en complément aux diagrammes polliniques classiques.

Deux autres courbes ont alors été ajoutées à la suite des diagrammes classiques, avec, d'une part, la diversité taxonomique présentant le nombre de taxons d'arbres et celui d'herbacées et, d'autre part, la concentration pollinique mesurée en nombre de grains par gramme de sédiment. En effet, d'une part, un assemblage pollinique pauvre correspond à un paysage végétal désertique et, d'autre part, la faible diversité peut indiquer un transport important des grains de pollen, soit par l'eau, soit par l'air. Les grains de pollen de conifères sont principalement transportés par l'air et se déposent alors sans subir d'altération apparente. Lorsque ces mêmes grains sont repris et remaniés par l'eau, ils sont alors détériorés et généralement dissociés. La concentration pollinique indique la plus ou moins grande proximité d'une source pollinique. Un nombre élevé de taxons et une forte concentration pollinique définiront une source pollinique proximale ; *a contrario*, une faible diversité et une faible concentration

pollinique caractériseront une source plus distale (Clet *et al.*, 1991). Enfin, les variations du pourcentage de grains de pollen d'arbres thermophiles dans un contexte de forte diversité taxonomique traduiront un réchauffement ou un refroidissement climatique (Clet et Occhietti, 1994). L'intégration de toutes ces observations nous permet alors de déterminer l'environnement et la dynamique de dépôt de ces divers sédiments.

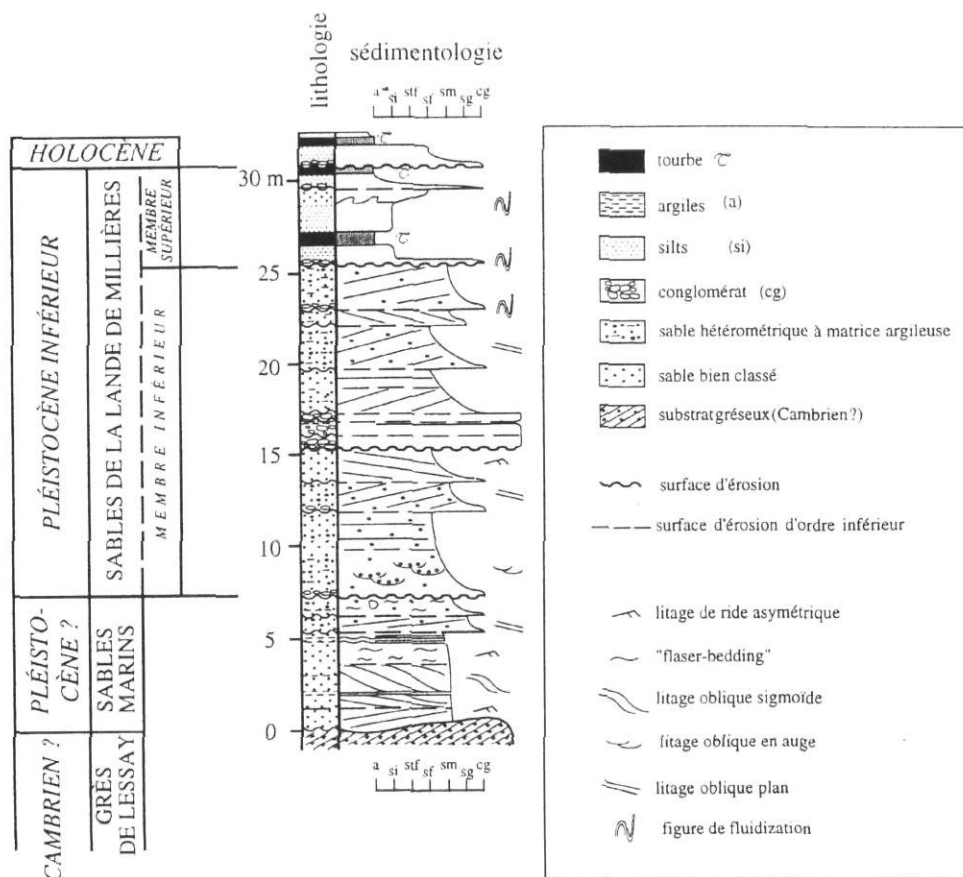
ÉTUDE SÉDIMENTAIRE DES DÉPÔTS SABLO-GRAVELEUX ET SILTEUX DE LA SABLIÈRE DE MILLIÈRES

SÉRIE SABLEUSE MARINE BASALE (environ 6 m)

La base de la série sableuse exploitée à La Lande de Millières est constituée d'alternances pluricentimétriques de sables fins à moyens jaunâtres, assez bien classés et propres et d'interlits argileux millimétriques (fig. 6). Ces sables azoïques présentent soit un litage oblique sigmoïdal, soit un litage de rides de courant de type *flaser bedding* ou *wavy bedding*. Les faisceaux obliques progradants enregistrent des amincissements ou des dilatations progressifs de leur épaisseur ; ils sont séparés par des drapages argileux. La forme sigmoïdale de ces faisceaux, l'existence de drapages argileux, la reconnaissance de structures physiques telles que des *flaser* ou des *wavy bedding*, la variation latérale et verticale progressive des épaisseurs des alternances sablo-argileuses sont autant d'indices d'une dynamique tidale.

FIGURE 6. Coupe stratigraphique synthétique de la série de La Lande de Millières. τ : tourbe. a : argile. si : silt. stf : sable très fin. sf : sable fin. sm : sable moyen. sg : sable grossier. cg : conglomérat.

General stratigraphy of La Lande de Millières Formation.: τ : peat; a : clay. si : silt; stf : very fine sand; sf : fine sand; sm : middle sand; sg : coarse sand; cg : conglomerate.



À la partie supérieure de la série marine, de nombreux graviers dispersés (diamètre moyen entre 1 et 3 mm) ou quelques blocs polygéniques décimétriques de roches d'origine régionale perturbent le litage de rides de courant. Les coupelles argileuses de décantation sont alors poinçonnées et déformées par la descente gravitaire de ces matériaux, indiquant une influence glacielle. Cette série marine sous influence de courants de marée n'est pas encore datée, en l'absence d'éléments faunistiques et palynologiques. Elle est tronquée par la Formation des Sables de La Lande de Millièrès.

FORMATION DES SABLES DE LA LANDE DE MILLIÈRÈS (environ 25 m)

La Formation des Sables de La Lande de Millièrès, également définie dans la sablière de La Lande de Millièrès, désigne un ensemble de faciès argilo-silto-tourbeux et de faciès sableux moyens à grossiers, mal classés, à matrice argileuse importante présentant épisodiquement des passées graveleuses à conglomératiques. Dans la coupe de référence (fig. 6), cette formation (environ 25 m) est intercalée entre les alternances sablo-argileuses de la série marine basale et les tourbes holocènes sommitales. Deux membres sont distingués :

– le *Membre inférieur* (20 m) est une succession de séquences sableuses granodécroissantes, d'échelle métrique. Une séquence typique caractéristique débute à la base par des dépôts conglomératiques hétérométriques et lenticulaires, d'épaisseur décimétrique, constitués de matériaux détritiques d'origine locale et régionale, passant rapidement à des sables argileux grossiers et mal classés, avec un litage oblique souvent frustré, plan ou en auge, puis à des sables argileux moyens à fins, hétérométriques, avec un litage oblique plan mieux exprimé d'angle fort (30°), ou des rides de courant. Ces dépôts grossiers avec une surface basale érosive témoignent de conditions hydrodynamiques de haut régime, avec des écoulements unidirectionnels. Le régime de courant diminue avec les faciès sableux à litage oblique plan. Leurs structures sédimentaires sont formées par la migration de mégarides asymétriques. La granulométrie des dépôts, l'absence de dépôts argileux au sommet des séquences granodécroissantes, la prépondérance des écoulements unidirectionnels indiquent que ces faciès se sont déposés dans un milieu fluvial en tresses, sous forme de barres sableuses (Miall, 1977 ; Walker et Cant, 1979).

Au sein du Membre inférieur, existe dans l'ensemble de la sablière un faciès conglomératique particulier, très mal classé, à blocs polygéniques souvent bréchiques (diamètre maximum : 30 cm). Il apparaît intercalé dans les dépôts fluviaux sableux. Selon les secteurs de la sablière, ces conglomérats sont organisés en une ou trois séquences granodécroissantes décimétriques. La pétrographie des éléments est variée ; ces derniers décrivent l'ensemble de la colonne géologique armoricaine du secteur, depuis les terrains précambriens jusqu'aux terrains crétacés (phtanites précambriennes, Diorite de Coutances, Granite de Millièrès, Grès de Lessay, galets et graviers de quartz et quartzites issus du Trias, silex crétacés... ; S. Baize, travaux en cours).

L'émoussé des matériaux est anguleux à subarrondi. La matrice argilo-sableuse apparaît soit abondante (grains disjoints), soit absente (grains jointifs) ; dans ce dernier cas, un litage oblique plan frustré peut être présent. Ces dépôts détritiques grossiers, variés, très hétérométriques (sables à blocs) et sans organisation interne sont interprétés comme des écoulements gravitaires (écoulement de débris ou de grains ; Lowe, 1982), dans un milieu de cône alluvial.

Le *Membre supérieur* (2-5 m) est caractérisé par des dépôts très fins grisâtres (sables fins à silts argileux), sans litage sédimentaire apparent, mais présentant de fréquentes traces de pédogenèse. Localement, existent des niveaux organiques plus tourbeux étudiés en analyse palynologique, d'épaisseur centimétrique à décimétrique, avec racines ou troncs d'arbres. Au sommet de cette unité, apparaissent épisodiquement des décharges détritiques sableuses millimétriques, voire des lentilles conglomératiques. La granulométrie très fine de ces dépôts, ainsi que l'absence de tout litage physique traduisent des conditions de très faible hydrodynamisme par décantation, dans un milieu de plaine alluviale recevant épisodiquement des décharges détritiques plus grossières lors des crues.

ÉVOLUTION SÉDIMENTAIRE DU MEMBRE SUPÉRIEUR

CARACTÉRISATION ET DESCRIPTION DES FACIÈS

Cinq principaux faciès sédimentaires élémentaires sont distingués dans le Membre supérieur des Sables de La Lande de Millièrès à partir de leurs caractères lithologiques, géométriques, biologiques et les structures sédimentaires qu'ils renferment (fig. 7 et 8). Selon une procédure établie par Miall (1977) dans des dépôts fluviaux, chaque lithofaciès est symbolisé par une ou deux lettres majuscules désignant la granulométrie dominante : G (gravier), S (sable), SI (silt), A (argiles), AT (argiles tourbeuses) et T (tourbes), puis, dans certains cas, par un suffixe, avec une lettre minuscule indiquant le caractère sédimentaire dominant : r (racines), p (pédogenèse)...

– Faciès (S) : sable argileux moyen à grossier sans litage

Ce faciès s'organise en minces horizons centimétriques granocroissants ou décroissants de sable argileux moyen à grossier, assez bien classé. La limite inférieure de ce faciès est souvent nette. Les éléments détritiques sont essentiellement des grains de quartz subarrondis et des lithoclastes gréseux ou quartzitiques.

– Faciès (Slp) : silt argileux pédogénétique avec grains épars de sable moyen

Ce dépôt fin, très hétérométrique, de couleur grisâtre uniforme, sans litage sédimentaire apparent, renferme des sables moyens de quartz subarrondis, dispersés dans une matrice argilo-silteuse dominante. Il présente une texture marmorisée d'origine pédogénétique.

– Faciès (Ar) : argilite silteuse à racines

Ce faciès à dominante argileuse, de couleur gris sombre et sans litage apparent, est bien classé. Les grains de quartz

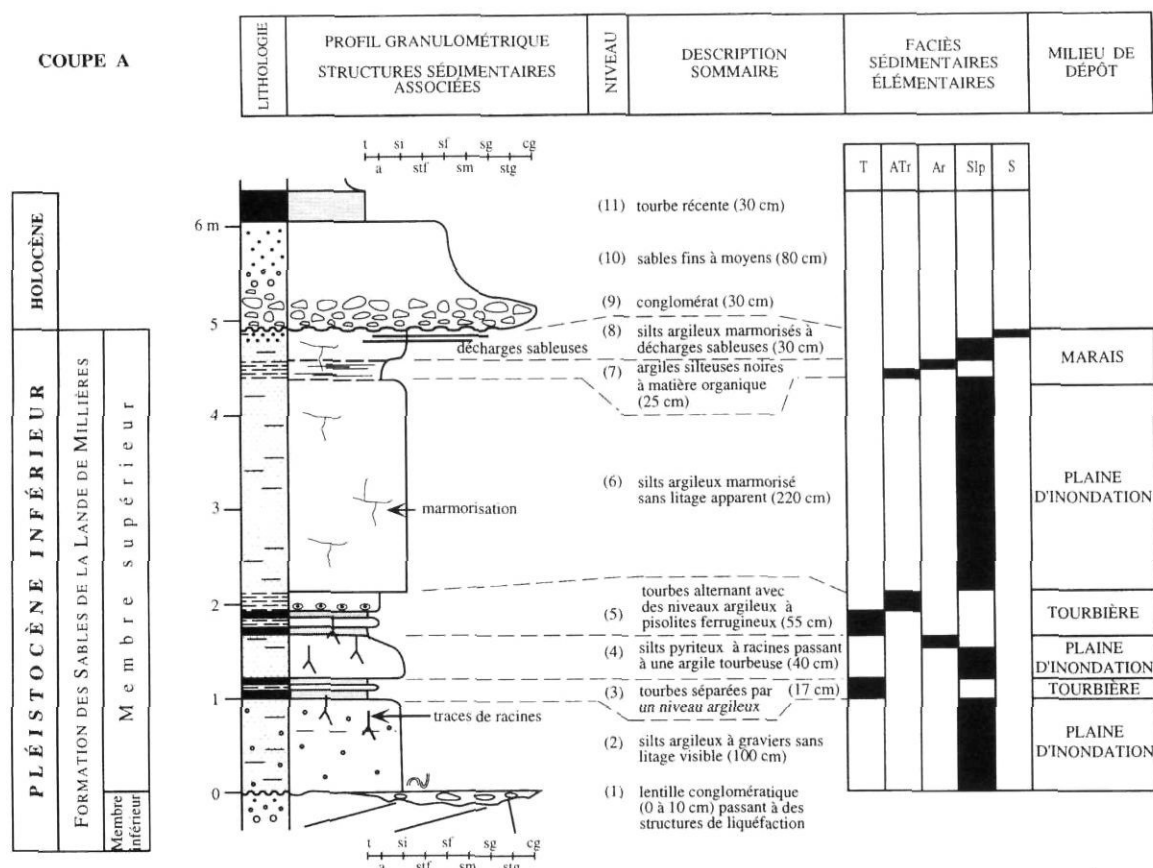


FIGURE 7. Levé stratigraphique détaillé de la coupe A.

Detailed stratigraphy of profile A.

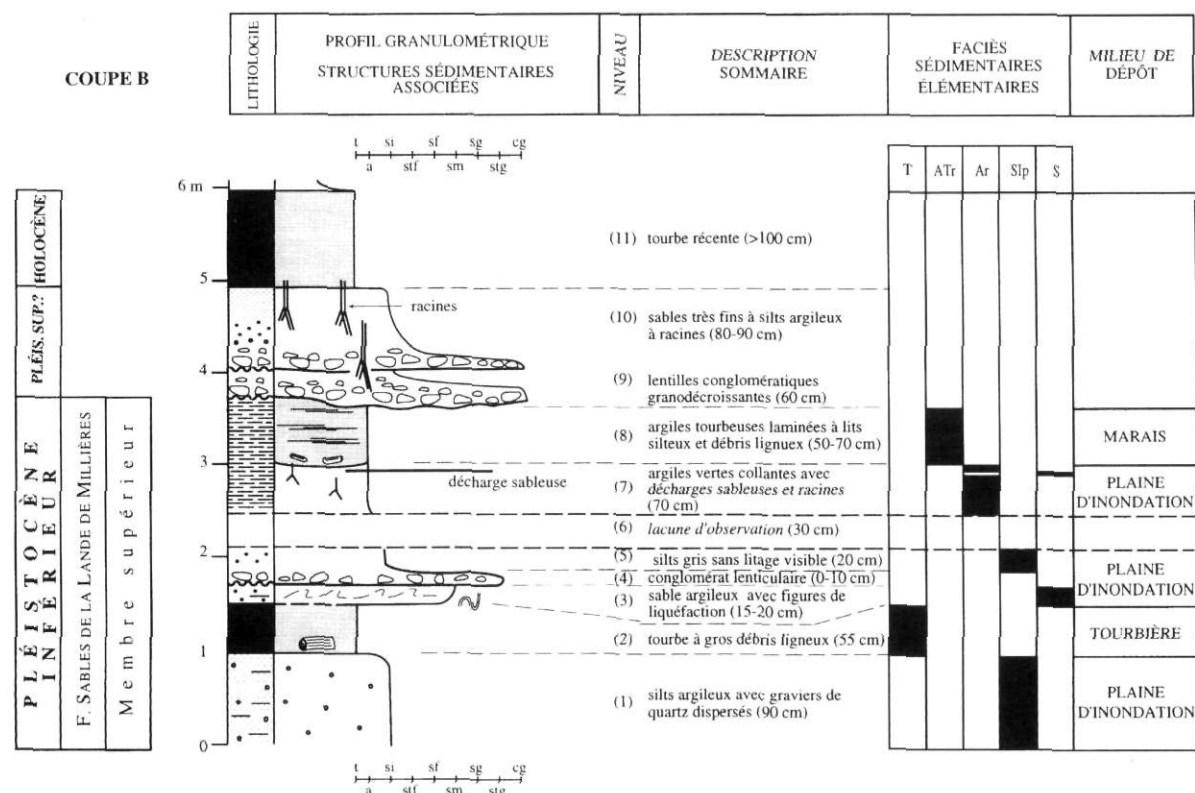


FIGURE 8. Levé stratigraphique détaillé de la coupe B

Detailed stratigraphy of profile B.

détritiques ont disparu et les traces de racines verticales plurimillimétriques ou les débris ligneux deviennent plus fréquents. Ce faciès apparaît souvent dans la continuité verticale du faciès (Slp).

– Faciès (ATr) : argiles tourbeuses avec racines

Ce dépôt argileux de couleur marron sombre présente de nombreux débris ligneux mal conservés, ainsi que des traces de racines plurimillimétriques. Des rencontres pyriteuses sont fréquentes et quelques rares pisolithes limoniteux sont localement observés.

– Faciès (T) : tourbes

Il s'agit d'un dépôt organique, noir, plus ou moins compact, avec nombreuses traces de racines.

PROCESSUS DE DÉPÔT ET ASSOCIATION DE FACIÈS SÉDIMENTAIRES

Le faciès sableux (S) sans litage indique des conditions d'écoulement unidirectionnel rapide et souvent érosif. Le faciès silteux (Slp) très hétérométrique, avec des grains épars de sable moyen dans une matrice argilo-silteuse dominante, correspond à une décantation sous une faible tranche d'eau. Les faciès fins argileux avec traces de pédogenèse (Ar) ou organiques (ATr) et (T) traduisent des processus de décantation sous une tranche d'eau, permanente ou non.

L'ensemble des cinq faciès élémentaires distingués dans le Membre supérieur des Sables de La Lande de Millières est caractérisé à la fois par des processus de décantation, des écoulements rapides lors de débordements épisodiques et des écoulements de grains. Elle définit un milieu de dépôt de *plaine alluviale* à chenaux anastomosés. Ce milieu se caractérise par de nombreux faciès de débordement épisodiques, peu épais, à matériel sableux (Smith, 1983).

Dans le détail, l'association verticale des faciès (Slp) et (Ar) définit un milieu de dépôt de *plaine d'inondation*. Les apports fluviaux les plus fins débordent des chenaux probablement anastomosés et envahissent les domaines latéraux. Ces dépôts argilo-silteux ou argileux de débordement ou de décantation (Slp ou Ar) deviennent de plus en plus fins au fur et à mesure de l'éloignement du chenal sableux. Ils sont progressivement colonisés par la végétation (traces de pédogenèse).

Périodiquement, des soudains apports plus grossiers et mal classés (association des faciès S et Ar) recouvrent ces plaines argileuses, plus ou moins marécageuses. Ils caractérisent des dépôts de débordement de type *crevasse splay* (Smith, 1983) et attestent d'une plus grande proximité du milieu de dépôt vis-à-vis des zones d'apports sableux. Il s'agit de petits chenaux sableux perpendiculaires au chenal principal et qui s'épandent à travers la plaine d'inondation.

L'association verticale des faciès (Ar) et (ATr) définit un milieu de dépôt de *marais* : les sédiments à dominante argileuse sont sombres et riches en matières organiques immatures. Ce milieu peut être facilement envahi par les eaux fluviales, d'où la relative abondance d'un stock argileux dans les dépôts.

Le milieu de dépôt de *tourbière* présente un faciès (T) dominant et peut receler des troncs d'arbres de fort diamètre. La fraîcheur des bois conservés et leur concentration très locale à la base de ce faciès laissent supposer que les tourbières étaient de faible extension latérale, installées dans de petites dépressions et relativement protégées des apports fluviaux.

ANALYSE PALYNOLOGIQUE DES SILTS ET TOURBES

Dans la sablière de La Lande de Millières, deux coupes voisines avec des niveaux tourbeux bien développés ont été étudiées, la coupe A d'orientation N120 et la coupe B, N60 (fig. 3).

COUPE A, N120

La coupe A située dans la partie abandonnée de l'exploitation présente, à la base, deux minces niveaux tourbeux lenticulaires (3 et 5) disparaissant en direction de l'ouest (fig. 7) et un niveau organique plus épais (11), au sommet. Sur l'ensemble de la coupe, 56 échantillons ont été prélevés, selon une maille de 10 cm, y compris dans la tourbe holocène du sommet. La plupart des échantillons se sont révélés stériles. Les diagrammes polliniques établis concernent les niveaux (3) à (5), sur une épaisseur d'environ 1 mètre et le niveau (11), avec 70 cm de tourbe.

Coupe A, niveaux 3 à 5

Sur le diagramme pollinique (fig. 9), trois grands ensembles se distinguent :

1) La zone A-3

La base de cette zone (A-3a) prélevée dans les silt est caractérisée par un assemblage à *Betula-Alnus* caractéristique d'une colonisation des terres émergées. La faible concentration pollinique (environ 5000 grains/gramme) est liée au milieu de sédimentation sous écoulement d'eau.

Au-dessus (A-3b), l'accroissement d'*Alnus* et de *Pinus* couplé à la présence de *Sphagnum*, ainsi qu'une concentration très élevée (plus de 137 000 grains/gramme) traduit l'existence d'une tourbière, dans des secteurs sans eau courante. La diversité taxonomique est plus élevée qu'à la base du diagramme et le nombre de taxons (arbres et herbacées) est assez important (>30). Les grains de pollen se sont déposés *in situ*, sans indice de transport, au début de la formation de la tourbière. Dans la partie supérieure de cette sous-zone, une diminution rapide de la concentration pollinique, alors que l'assemblage pollinique reste le même met en évidence un changement dans la sédimentation.

2) La zone A-4

La zone A-4 avec un assemblage à *Alnus-Betula-Poaceae*, correspond au niveau silteux fin (4). Elle se caractérise par l'augmentation des pourcentages d'*Alnus* (>60 %), des *Poaceae* et des *Cyperaceae*. Le nombre de taxons rencontrés (moins de 10 espèces d'arbres et d'herbacées au sommet de la zone) et la faible concentration pollinique (moins

de 5000 grains/gramme) indiquent une reprise de sédimentation, en milieu fluvial agité. La grande densité des *Alnus* en bordure des parties émergées constitue un filtre vis-à-vis des grains de pollen des autres taxons faiblement représentés ou bien situés en arrière de cette barrière végétale.

3) La zone A-5

La zone A-5 correspond à un épisode tourbeux et se définit par un assemblage à *Pinus-Betula-Picea*. À la base de la sous-zone A-5a, la diminution importante des pourcentages d'*Alnus* et l'augmentation de ceux de *Pinus* et de *Picea*, ainsi que l'apparition d'*Abies* sont les preuves d'un changement du milieu végétal. La concentration pollinique devient très forte (supérieure à 210 000 grains/gramme) et le nombre de taxons augmente parallèlement. Au sommet du niveau organique, l'aulne disparaît alors qu'il formait jusque-là, la presque totalité du couvert végétal. Une forêt de conifères et de *Betula* s'établit, tandis que les fougères se développent. La concentration pollinique diminue (de 107 000 à plus de 58 000 grains/gramme, environ). Dans le même temps, la diversité taxonomique des arbres s'appauvrit, alors que celle des herbacées s'enrichit. Ces faits sont en faveur d'un changement dans le milieu de sédimentation. La tourbière s'assèche et un ou plusieurs chenaux apparaissent, favorisant une circulation d'eau courante, attestée par la présence d'herbacées aquatiques (*Typha* et *Myriophyllum*).

La sous-zone A-5b correspond à une décantation silto-argileuse au sommet de la tourbe. Les tendances observées au sommet de la sous-zone A-5a se confirment. La forêt boréale se maintient et les fougères envahissent le paysage. La concentration pollinique redevient faible.

En résumé, ce diagramme pollinique traduit l'évolution suivante de la végétation :

- 1) présence initiale d'une forêt de *Betula* (A-3a) remplacée par une forêt marécageuse à *Alnus* bordant une rivière ou un plan d'eau ;
- 2) implantation d'une forêt dense d'*Alnus* sur les berges (A-3b et A-4), expliquant les faibles pourcentages des éléments mésophiles exotiques comme *Carya* et *Pterocarya*, de même que ceux de *Sciadopitys*, *Pinus haploxylon*, *Tsuga* et *Castanea* qui n'apparaissent qu'à l'état de traces, à la base du premier niveau tourbeux ;
- 3) remplacement progressif de la forêt à *Alnus* par une forêt de conifères (A-5a), avec association *Pinus-Picea-Betula* et apparition d'*Abies*. Le milieu devenant plus sec, des fougères se développent ;
- 4) présence constante des herbacées et quasi-inexistence des Ericaceae (A-5b) qui disparaissent parallèlement à une nouvelle inondation de la tourbière ;

Avec le développement d'une forêt marécageuse d'aulnes établie au cours d'un épisode plus tempéré, l'implantation d'une forêt de conifères de type boréal, correspond à l'amorce d'un refroidissement climatique.

Coupe A, niveau 11

À la base de ce niveau, dans des sables fins, la zone A-11a est caractérisée par l'assemblage d'arbres et arbustes

pionniers avec *Alnus-Corylus-Betula* dans un milieu d'herbacées. La concentration pollinique est très faible (fig. 10). Après un niveau de galets correspondant à une zone stérile, les pourcentages de *Corylus* deviennent élevés au-dessus. La concentration pollinique s'accroît (plus de 50 000 grains/gramme). Le milieu de sédimentation s'assèche. Ensuite, après une période de défrichement (base de A-11d), attestée par la brusque diminution des pourcentages de *Corylus* et par l'accroissement des Poaceae, des céréales et des herbacées xérophiles, les Ericaceae se développent fortement formant un paysage de lande. La concentration pollinique dépasse les 100 000 grains/gramme (sommet de A-11d). La partie supérieure de ce niveau organique a été vraisemblablement tronquée.

La faible proportion d'arbres et la colonisation du milieu par des espèces pionnières tempérées d'une part, et la présence de *Fagus*, *Carpinus* et de céréales d'autre part, permettent d'attribuer un âge subatlantique à ce niveau.

COUPE B, N60

Cette coupe est localisée dans la partie actuellement exploitée de la sablière (fig. 3). Elle présente deux niveaux tourbeux (2) et (8), sous une épaisse tourbe holocène (11). Quarante-deux échantillons ont été prélevés sur une épaisseur totale supérieure à 5 m, selon une maille de 10 cm. La plupart des échantillons prélevés dans les silts se sont révélés stériles, seuls les niveaux 2 et 11 ayant permis l'élaboration de diagrammes polliniques (fig. 8).

Coupe B, niveau 2

Le diagramme pollinique correspondant au niveau tourbeux (2), est relativement uniforme ; trois sous-zones y sont distinguées (fig. 11) :

- 1) La sous-zone B-2a, à la limite entre les silts et le niveau tourbeux, présente un assemblage particulier à *Pterocarya-Betula-Carpinus/Ostrya*. Les pourcentages de *Pterocarya* atteignent presque 30. La concentration pollinique dépasse 50 000 grains/gramme.
- 2) La sous-zone B-2b sus-jacente, montre que les pourcentages de *Betula* et de *Sphagnum* augmentent fortement tandis que ceux de *Pterocarya* et de *Carpinus/Ostrya* diminuent. La concentration pollinique augmente également et atteint plus de 100 000 grains/gramme.
- 3) La sous-zone B-2c avec l'assemblage à *Betula-Pinus-Pterocarya-Ericaceae* présente un accroissement des pourcentages de *Pinus* et des Ericaceae. Les pourcentages de *Sphagnum* sont encore importants. La concentration pollinique demeure très élevée.

En résumé, le diagramme pollinique fait apparaître les points suivants :

- 1- dans un contexte bien particulier de plaine d'inondation à la base du niveau organique, une forêt à *Pterocarya* puis à *Pterocarya-Carpinus/Ostrya* est progressivement remplacée par une forêt pionnière boréale à *Betula* se développant autour d'une tourbière ;

MILLIÈRES, Carrière de la Lande
Coupe A, niveaux 3,4 et 5

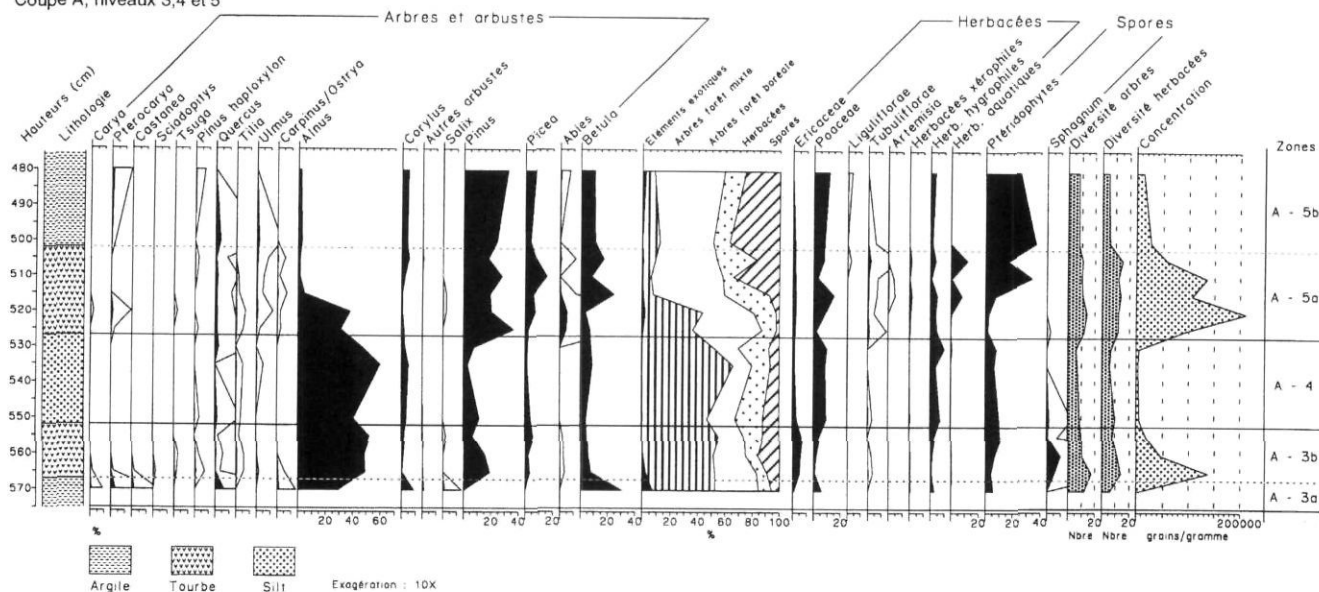


FIGURE 9. Diagramme pollinique des niveaux (3), (4), (5) de la coupe A. *Pollen diagram of profile A, levels (3), (4), (5).*

MILLIÈRES, Carrière de la Lande
Coupe A, niveau 11

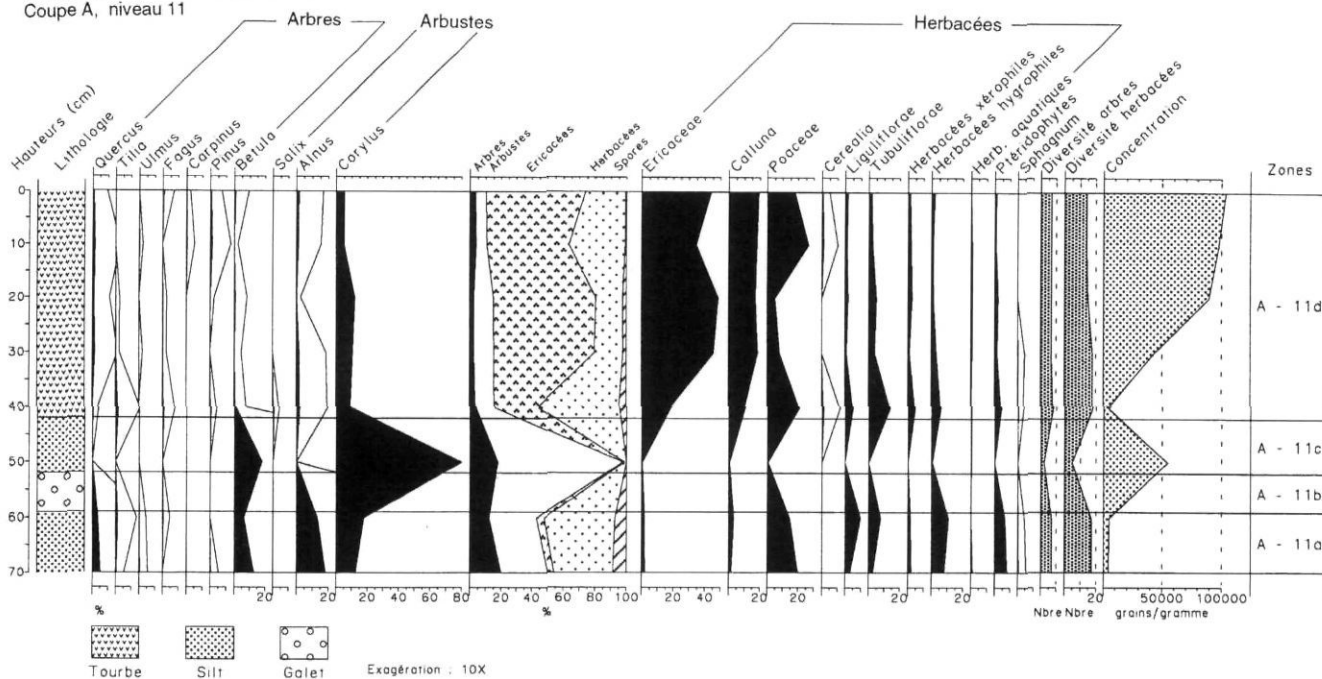


FIGURE 10. Diagramme pollinique du niveau (11) de la coupe A. *Pollen diagram of profile A, level (11).*

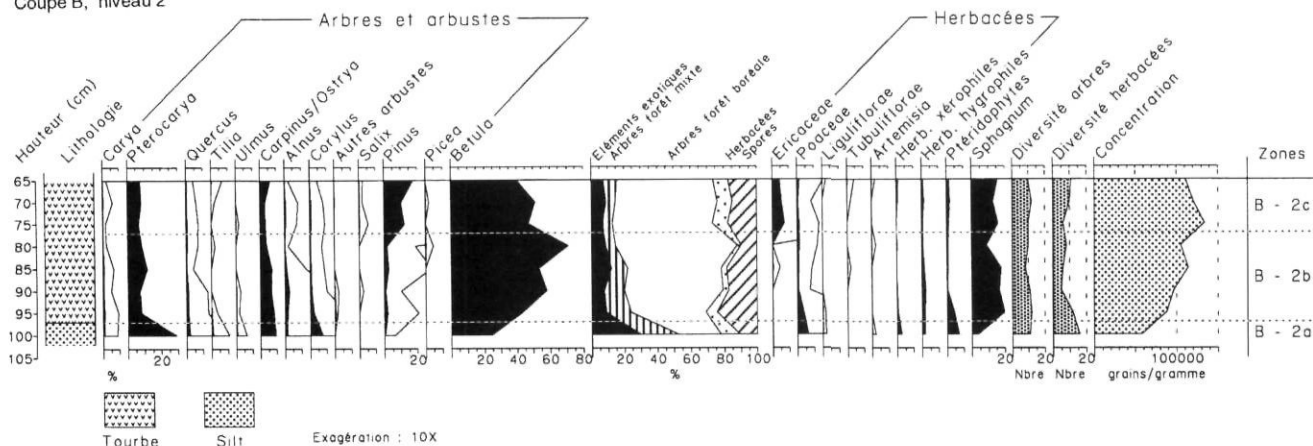
MILLIÈRES, Carrière de la Lande
Coupe B, niveau 2

FIGURE 11. Diagramme pollinique du niveau (2) de la coupe B. Pollen diagram of profile B, level (2).

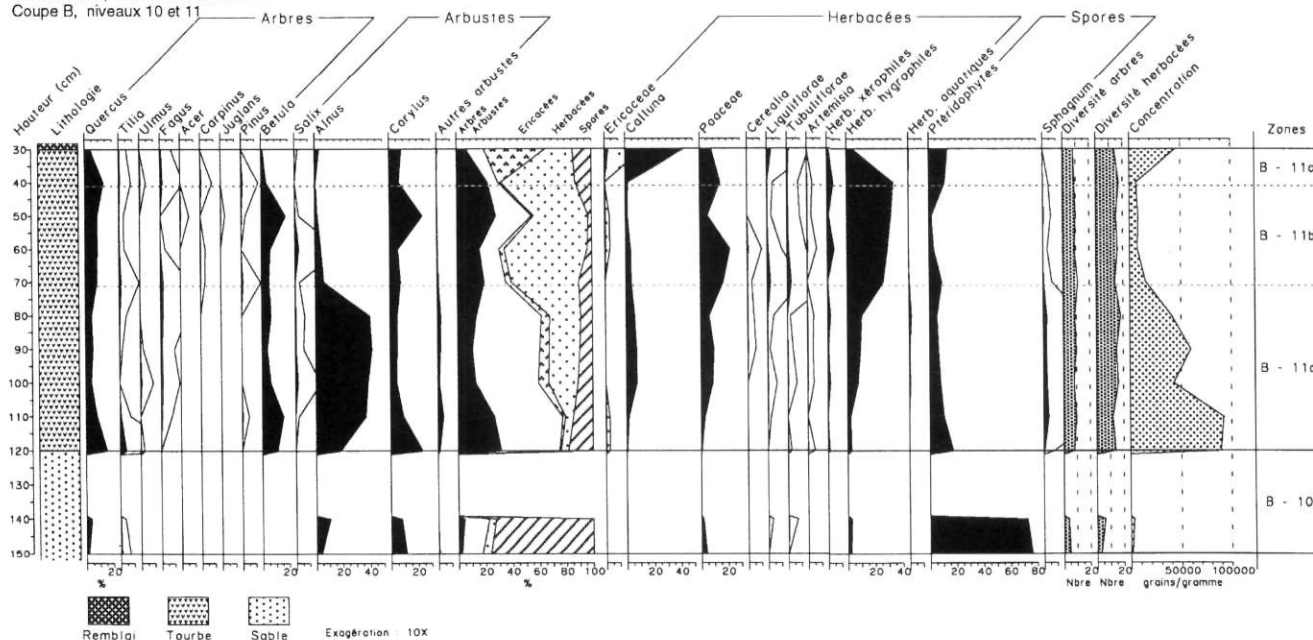
MILLIÈRES, Carrière de la Lande
Coupe B, niveaux 10 et 11

FIGURE 12. Diagramme pollinique des niveaux (10) et (11) de la coupe B.

Pollen diagram of profile B, levels (10) and (11).

2- l'apparition des Ericaceae et le développement de *Pinus* et de *Picea* au sommet, laissent supposer un changement climatique ;

3- la quasi-inexistence des herbacées, la concentration pollinique très élevée et la présence de *Sphagnum* sont les caractéristiques d'un milieu de sédimentation calme, sans écoulement d'eau, ce qui expliquerait l'absence de remaniement du pollen exotique comme celui de *Sciadopitys*, *Tsuga*, *Pinus haploxylon* et *Castanea*. Ce dernier se trouvait à l'état de traces dans la coupe A car il était en partie masqué par l'abondance d'*Alnus*.

Coupe B, niveaux 10 et 11

La tourbe du sommet de la coupe B est plus épaisse que celle de la coupe A (niveau 11). Le diagramme pollinique présente quatre zones distinctes (fig. 12).

1) La zone B-10 est caractérisée par les pourcentages élevés de spores de fougères et par une très faible concentration pollinique. Le niveau sablo-silteux est stérile à la base de ce niveau organique.

2) La zone B-11a est définie par l'association à *Corylus-Betula-Alnus-Quercus*, puis par un développement important

des pourcentages d'*Alnus*. Dans ce niveau organique, les pourcentages de spores de Ptéridophytes diminuent fortement, indiquant un changement significatif du couvert végétal par rapport au niveau précédent. Dans le même temps, la concentration pollinique diminue progressivement vers le sommet de cette zone.

3) La zone B-11b est marquée par l'association à *Betula-Corylus-Quercus* et par l'accroissement des *Cyperaceae* et des *Poaceae*. La concentration pollinique a diminué de façon sensible.

4) La zone B-11c est caractérisée par le développement de *Quercus* et de *La Lande* à *Ericaceae* au sommet.

La présence de Céréales, de *Fagus* et de *Juglans* indiquent un âge subatlantique.

Comparaison des deux coupes A et B

1) Les niveaux tourbeux A3 à A5 et B2 présentent les mêmes faciès sédimentaires. Cependant, les diagrammes polliniques des coupes A et B semblent *a priori* différents. Les forts pourcentages de *Pterocarya* à la base de la coupe B (B-2a) et caractéristiques d'une forêt de plaine d'inondation, sont absents dans la coupe A, tandis que cette dernière enregistre l'implantation d'une forêt marécageuse d'aulnes, sur les berges d'un plan d'eau ou d'un cours d'eau (A-3b et A-4). Ces deux milieux de dépôt coexistent probablement dans un même paysage de plaine alluviale. Dans cette hypothèse, la zone A-4 serait ainsi contemporaine de la zone B-2a, et la végétation présente se serait développée sous climat tempéré. Ultérieurement, ce dernier se dégrade et se refroidit puisqu'une forêt boréale se développe, avec *Pinus* et *Picea* (A-5a et A-5b) ou bien *Betula* et *Pinus* (B-2b et B-2c). L'accroissement des *Ericaceae* et le développement de *Sphagnum* constituent des marqueurs palynologiques de fin d'interglaciaire (coupe B) ; le développement de *Pinus* et de *Picea* traduit le début du refroidissement (coupe A).

2) Les niveaux tourbeux holocènes A11 et B10 et B11 ne sont pas entièrement contemporains. La succession chronologique des différents environnements reconstitués pourraient être la suivante : 1) développement d'une lande recouverte de fougères (B-10) ; 2) développement d'arbustes (*Alnus* et *Corylus*) dans la zone B-11a ; 3) développement des herbacées associé à un accroissement des cypéracées et avec un pic de *Corylus* plus ou moins marqué dans les zones B-11b et A-11c ; 4) poursuite du développement des herbacées avec formation d'une lande plus sèche recouverte de bruyères (A-11d et B-11c).

DONNÉES GÉOCHIMIQUES

Une analyse en composantes principales a été réalisée à partir de la composition géochimique de 18 échantillons prélevés dans la coupe A (fig. 13). Cette analyse met en évidence une différence nette entre les décharges détritiques sableuses (S), les dépôts liés aux niveaux tourbeux (ATr) et les dépôts silteux (Slp) constituant la majeure partie de ce membre. Par ailleurs, il semble y avoir une « évolution » depuis les niveaux tourbeux (milieux les moins oxydés) jusqu'aux passées détritiques les plus oxydées, en passant

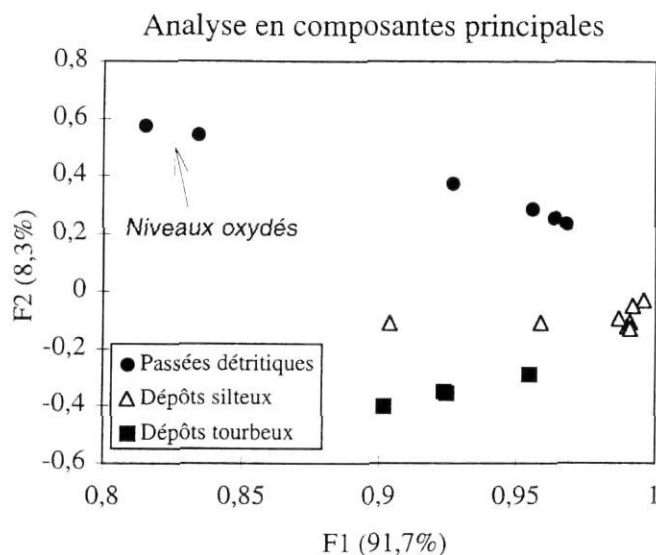


FIGURE 13. Analyse en composantes principales des analyses chimiques réalisées sur 18 échantillons prélevés le long de la coupe A. Le facteur F1 représente 91,7 %, le facteur F2, 8,3 %. Points noirs : niveaux détritiques (8), (9) et (10) ; Triangles blancs : niveaux silteux exempts de tourbe (4), (6) et (8) ; Carrés noirs : niveaux tourbeux (3), (5) et (7).

Factor analysis for chemical compositions of 18 sands and silts sampled in the A profile. Factor F1 means 91,7%; factor F2 represents 8,3%. Plain circles: detritic levels (8), (9) et (10); open triangles: silty levels free of peat (4), (6) et (8); plain squares: peaty levels (3), (5) et (7).

par les dépôts silteux et les passées détritiques les moins oxydées.

L'étude des variations verticales de la concentration des éléments chimiques analysés montrent que ces différences s'expliquent essentiellement par le comportement de l'aluminium, du silicium, du fer et de certains éléments en traces tels que le zirconium, le chrome, le titane, le vanadium et le strontium (fig. 14). L'augmentation de la teneur en zirconium est essentiellement liée aux dépôts tourbeux (3), (5) et (7) ; il s'agit probablement de l'expression d'une concentration élevée en minéraux lourds tels que les zircons, qui accompagnerait le changement du type de sédimentation.

Les silts exempts de niveaux tourbeux (4), (6) et (8) sont relativement enrichis en strontium, vanadium et chrome, avec des variations notables de concentration. Les passées détritiques (sommet 8), (9) et (10) sont relativement appauvries en zirconium, strontium, vanadium et chrome, enrichies en phosphore et caractérisées par un rapport $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ élevé. Ces deux dernières données géochimiques traduisent sans doute une altération et une pédogenèse moderne.

Les variations de la concentration des éléments majeurs et en traces peuvent signifier soit des sources d'apports détritiques silteuses (4), (6) et (8) ou plus grossières (sommet 8 à 10) différentes, soit des sources identiques dans le bassin versant situées à des distances variables par rapport au lieu de dépôt. Ce dernier cas aurait vraisemblablement pour effet une variation de concentration du stock quartzueux par rapport

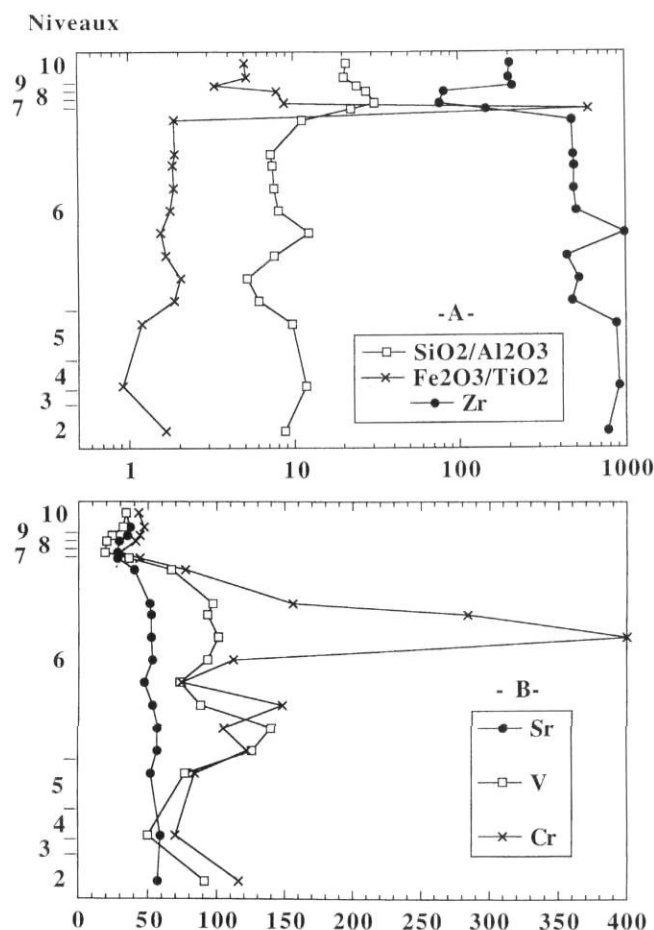


FIGURE 14. Coupe A : A - Variations de la teneur en zirconium (en ppm) et des rapports $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ et $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$; B - Variations des teneurs (en ppm) en strontium, vanadium et chrome (en abscisse : abondance en ppm).

Profile A : A - Variations of $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ and $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ ratios and of zirconium abundance (ppm); B - Variations of strontium, vanadium and chromium chemical abundance (ppm).

à la phase argileuse et provoquerait des variations identiques, progressives et groupées de la concentration des éléments analysés. Or, les concentrations en éléments ne varient pas toutes en même temps et de la même manière de bas en haut du profil. Il semble donc que les sources d'apports détritiques soient de nature différente.

DONNÉES MINÉRALOGIQUES

Les minéraux argileux déterminés sont essentiellement des illites, des kaolinites, des smectites, différents types d'interstratifiés et parfois des chlorites. De bas en haut de la coupe, la composition du cortège argileux varie (fig. 15).

À la base de la coupe A (niveau 2), le cortège argileux très riche en smectites contenant un peu de vermiculite, d'interstratifiés, de kaolinite et d'illite, est caractéristique de sols et altérites formés sous climat tempéré à froid (Millot, 1964 ; Chamley, 1989 ; Velde, 1995). Il se différencie nettement du cortège argileux propre aux dépôts fluviaux sous-jacents du membre inférieur dans lesquels kaolinite,

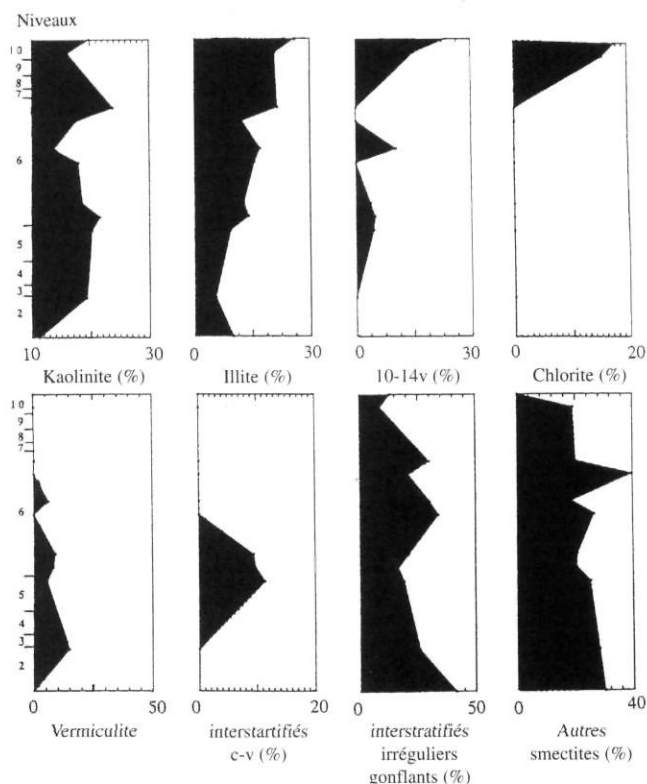


FIGURE 15. Variations des concentrations relatives des minéraux argileux déterminés dans les échantillons prélevés le long de la coupe A.

Variations of relative abundance of clay minerals which has been determined within the A profile.

interstratifiés et illite dominant et qui caractérise généralement les sols et altérites formés sous des climats tempérés à chaud (Walter *et al.*, 1996).

Pendant le développement de la plaine d'inondation (du niveau 3 au niveau 8), le cortège argileux se modifie progressivement, avec une augmentation de la kaolinite, de l'illite et une décroissance des smectites, vermiculite et interstratifiés. Les passées détritiques du sommet de la coupe (niveaux 9 et 10) présentent des cortèges argileux à illite et chlorite dominantes qui caractérisent l'érosion d'altérites très peu matures, probablement de type arènes qui se forment généralement sous des climats tempérés humides, parfois froids. Enfin, la présence de minéraux argileux interstratifiés chlorite-vermiculite semblent liés à la présence des niveaux tourbeux (3 et 5) ou argilo-tourbeux (7).

Les variations des cortèges de minéraux argileux traduisent donc soit des fluctuations climatiques précédant les dépôts, soit des mouvements tectoniques mettant à l'affleurement des sols et altérites d'origine différente. Seules des études complémentaires en cours permettront d'estimer la part relative de chacune de ces hypothèses.

DISCUSSION

L'interprétation des paléoenvironnements végétaux est actuellement fondée sur l'analyse pollinique des niveaux

tourbeux (coupes A et B) du membre supérieur. Parallèlement à l'analyse palynologique, une recherche de diatomées a été entreprise par M.-F. Huault (Université de Rouen), sur les niveaux (1) à (8) de la coupe A et (1) à (5) de la coupe B, mais ces niveaux se sont révélés stériles. De même, aucune trace de kystes de dinoflagellés n'a été décelée dans les lames, confirmant l'environnement continental des dépôts.

Les milieux de dépôt enregistrés dans les coupes A et B appartiennent à un même environnement de plaine alluviale, avec une végétation proximale de berges (présence d'*Alnus* : coupe A) ou distale de plaine d'inondation (présence de *Pterocarya* : coupe B). Les fortes concentrations polliniques dans les niveaux organiques excluent la possibilité d'un transport important des grains de pollen par l'eau et donc d'un quelconque remaniement de séries plus anciennes. L'ensemble des assemblages polliniques, y compris les rares grains de pollen mégamésophile, semble filtré par la barrière des *Alnus* et provient donc essentiellement d'une végétation régionale et proximale de berge. De plus, l'absence de traces d'herbacées halophiles, colonisant habituellement les schorres (*Chenopodiaceae*, par exemple), exclut donc toute influence marine ou littorale, dans ces dépôts. L'évolution des différents paléoenvironnements au cours du temps décrit une période tempérée de fin d'interglaciaire et le début d'un refroidissement climatique plus particulièrement dans les niveaux (5) de la coupe A et (2) de la coupe B.

De bas en haut de la coupe A, les variations de la composition du cortège de minéraux argileux sont des arguments soit de l'existence de mouvements tectoniques antérieurs puis contemporains du développement de la plaine d'inondation, soit d'un changement progressif du climat. Par ailleurs, un début de pédogenèse est enregistré à la fois par les concentrations élevées de certains éléments en traces et par la présence de minéraux argileux typiques des sols (minéraux argileux interstratifiés) dans les niveaux tourbeux (3) et (5) et argilo-tourbeux (7). Mais le fait le plus marquant est la différence très nette qui existe entre les niveaux (3) à (7) et les passées grossières du sommet de la coupe A (niveaux 8 à 10). Ces dernières ont un caractère immature marqué, inexistant dans les niveaux sous-jacents.

ÉLÉMENTS DE DATATION DES TOURBES DE LA FORMATION DES SABLES DE LA LANDE DE MILLIÈRES ET COMPARAISON AVEC LES FORMATIONS DE L'EUROPE DU NORD-OUEST

Dans le Seuil du Cotentin, de nombreux sondages (travaux en cours) ont révélé la présence de séries plio-pléistocènes. Par exemple, le forage de Marchésieux (fig. 1) situé à une dizaine de kilomètres, à l'est de la sablière de La Lande de Millières, peut servir de coupe de référence (Clet *et al.*, à paraître ; Farjanel *et al.*, à paraître). Il traverse 159 m de dépôts meubles (argiles, sables et silts coquilliers) qui reposent en discordance sur les argiles autuniennes. Les microorganismes à membrane organique (foraminifères et kystes de dinoflagellés) présents dans la partie inférieure du forage indiquent un environnement marin franc. Les ensembles polliniques sont constitués de *Pinus* sp. et *Ericaceae*, ainsi que

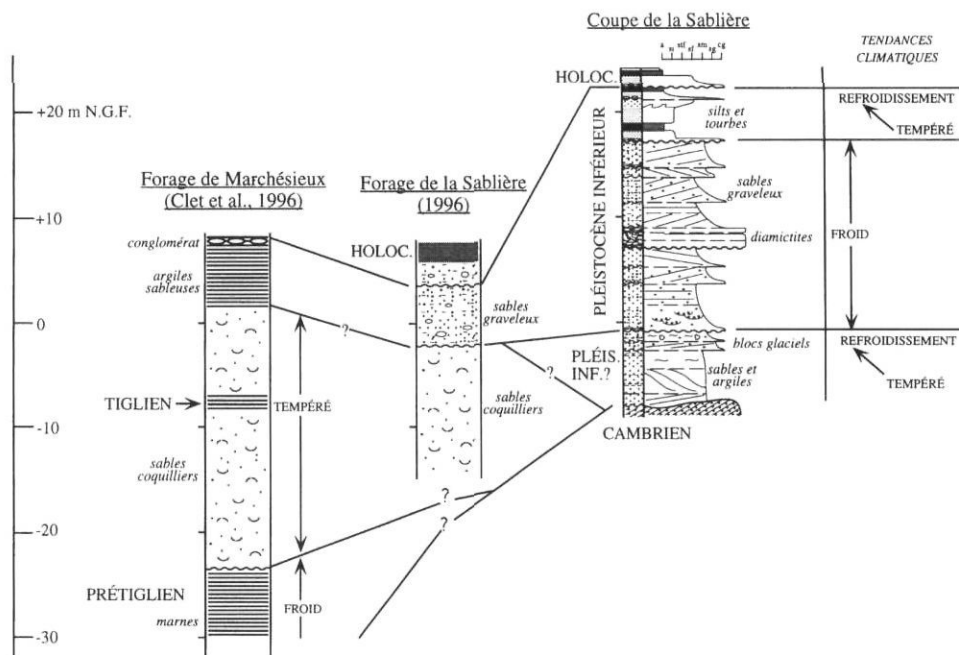
des éléments mégamésophiles (*Sequoia*, *Taxodium*, *Engelhardtia*, *Nyssa*, *Sciadopitys*, par exemple), caractéristiques du Pliocène final de l'Europe du Nord-Ouest. La partie supérieure du forage (entre 33 et 45 m, cotes carotte) a enregistré la diminution de ces espèces et un développement concomitant des *Pinus* et des *Ericaceae*, ce qui a permis de proposer un âge correspondant à la limite Reuvérien-Prétigien (début du Prétigien vers 45 m, cote carotte). Parallèlement, une diminution des influences marines est enregistrée avec l'augmentation du plancton d'eau douce et la disparition des foraminifères et des dinoflagellés (Clet *et al.*, à paraître). Après une lacune de sédimentation correspondant probablement à la période froide du Prétigien, la sédimentation marine reprend. Mais les échantillons prélevés dans les 30 mètres supérieurs de ce forage contiennent peu de pollen, à l'exception d'un niveau (vers 17 m) dans lequel la présence de *Sciadopitys* et *Pinus* type *haploxylon* (avec des pourcentages supérieurs à 10 %) indique un âge tiglien.

Les niveaux organiques du Membre supérieur de la Formation des Sables de La Lande de Millières, déposés dans un milieu fluvial, ne peuvent donc pas être mis en parallèle avec les sables coquilliers marins décrits au sommet du forage de Marchésieux. Dans la coupe A, les éléments mésophiles exotiques comme *Pinus* type *haploxylon*, *Sciadopitys*, *Tsuga* et *Castanea* n'apparaissent qu'à l'état de traces. D'autres taxons caractéristiques du début du Tiglien (TA à TC-3), comme par exemple *Azolla tegeliensis* ou bien un assemblage à *Fagus-Castanea* (caractéristique du Tiglien A dans la Formation de Tegelen aux Pays-Bas : Zagwijn, 1963) sont absents de la Formation de La Lande de Millières : un âge attribué au début du Tiglien ne saurait donc être proposé. Le seul élément de datation est fourni par l'association à *Pterocarya-Carpinus/Ostrya* qui est décrite ici pour la première fois en Normandie. Un tel assemblage pollinique à forts pourcentages de *Pterocarya* avait déjà été trouvé au sommet des niveaux marins du SE des Pays-Bas (Tegelen et Keidichen Formations : Zagwijn, 1963), en Allemagne dans la vallée du Rhin (Frechen Interglacial : Urban, 1978 ; Brunnacker *et al.*, 1982) et dans l'East Anglia (Ludham : Funnell et West, 1977 ; Chillesford : Zalasiewicz et Gibbard, 1988), dans des dépôts de période tempérée attribuée à la fin du Tiglien : TC-5. La comparaison avec ces sites peut être prolongée puisqu'à La Lande un refroidissement climatique s'amorce ensuite comme dans la période TC-6. Par conséquent, dans un premier temps, les niveaux organiques tourbeux de La Lande pourraient être considérés comme équivalents des dépôts décrits ci-dessus.

Toutefois, des arguments sédimentaires et géomorphologiques attestent de l'existence probable d'une période froide antérieure aux dépôts de silts et tourbes du membre supérieur (fig. 16). Dans la succession stratigraphique régionale, (sus-jacente à la série traversée par le forage de Marchésieux) des sables marins moyens, blancs à roux existent et affleurent à la base de la sablière de La Lande de Millières. Ils sont érodés par la Formation fluviale des Sables de La Lande. Ces sables marins présentent des influences glaciales dans la partie sommitale, avec des structures de déforma-

FIGURE 16. Corrélation chronologique et chronostratigraphique : hypothèse de datation.

Chronological correlations and chronostratigraphy: datation hypothesis.



tion du litage tidal par descente gravitaire de blocs exotiques. De plus, dans le membre inférieur de la Formation des Sables de La Lande de Millières, la présence de diamictites plurimétriques, interstratifiées dans les sables fluviatiles et ravinant indistinctement les dépôts sous-jacents, indique une détérioration climatique, avec érosion accusée du relief. En se référant à la courbe des fluctuations climatiques pour le Nord-Ouest de l'Europe (Zagwijn, 1968), une telle période froide à processus périglaciaires serait à la fois postérieure au Prétiglien et au Tiglien, ce dernier n'ayant connu que des rafraîchissements relatifs (Schackleton et Hall, 1984 ; Schackleton *et al.*, 1988). La signature pollinique des tourbes ne permet pas non plus de les dater du Cromérien (Pléistocène moyen), puisque le stratotype anglais se définit par l'absence de *Carya*, *Pterocarya* et d'éléments mésophiles exotiques et par un assemblage à *Pinus-Quercus-Ulmus* dans l'East Anglia (Runton cliffs, Zalasiewicz et Gibbard, 1988).

En l'absence de datations absolues, la datation précise d'une phase interglaciaire isolée dans le Nord-Ouest de l'Europe reste délicate. Cependant en fonction des arguments développés ci-dessus et sachant que la première période glaciaire après le Tiglien se trouve être l'Éburonien, l'épisode interglaciaire des silts et tourbes de La Lande de Millières lui est postérieur (fig. 16). L'intervalle entre la fin d'un interglaciaire et le début d'un refroidissement climatique attesté par la formation d'une forêt boréale, au sommet des tourbes de La Lande pourrait correspondre à la fin du Waalien et l'annonce du Ménapien.

CONCLUSION

La qualité exceptionnelle des séries affleurant dans la sablière de La Lande de Millières permet pour la première fois

de définir, dans le Seuil du Cotentin, une formation fluviatile, avec barres sableuses à la base et dépôts argilo-silteux à tourbeux de plaine alluviale au sommet. Ces derniers dépôts définissant le membre supérieur se sont développés à la fin de l'épisode tempéré d'un interglaciaire du Pléistocène inférieur, durant lequel des signes de refroidissement se font déjà sentir avec le début de l'extension d'une forêt boréale. L'approche méthodologique alliant analyse de faciès, palynostratigraphie, minéralogie et géochimie a permis de proposer une datation relative des tourbes tout en précisant l'évolution climatique régionale et les milieux de dépôt. L'intervalle proposé pourrait se situer entre la fin de l'interglaciaire Waalien et le début du refroidissement Ménapien.

REMERCIEMENTS

Nous remercions monsieur Beaucé, propriétaire de la sablière, ainsi que son personnel, pour la gentillesse de leur accueil sur le site ; madame S. Guermont (Géomorphologie, Caen) pour la préparation des échantillons utilisés dans l'analyse pollinique ; madame M.N. Le Coustumer (Géomorphologie, Caen) et monsieur G. Boisard (Géologie, Caen) pour la détermination et la séparation des minéraux argileux par diffraction des RX et madame M. Le Coz-Bouhic (Géologie, Rennes) pour l'analyse chimique des éléments majeurs et en traces. Les auteurs remercient mesdames M.-T. Morzadec et A.-M. Lézine ainsi que le lecteur anonyme pour leurs suggestions qui ont permis d'améliorer cet article.

RÉFÉRENCES

- Baudre, G. et Berthois, L., 1935. Contribution à l'étude des sables du Mesnil-Vigot (Manche). Comptes rendus sommaires de la Société géologique et minéralogique de Bretagne, 2 : 3-5.

- Berthois, L. et Milon, Y., 1935. Contribution à l'étude des sables pliocènes de Lessay et des environs de Bayeux. Comptes rendus sommaires de la Société géologique et minéralogique de Bretagne, 2 : 7-8.
- Bigot, A., 1926. Carte géologique à 1/80 000. Feuille de Saint-Lô. 2^e édition. Notice.
- 1935. Géologie de la région de Carentan. Bulletin de la Société linnéenne de Normandie, 8^e série, 8 : 81-91.
- Brunnacker, K., Löscher, M., Tillmanns, W. et Urban, B., 1982. Correlation of the Quaternary terrace sequence in the lower Rhine valley and northern Alpine foothills of Central Europe. *Quaternary Research*, 18 : 152-173.
- Chamley, H., 1989. *Clay Sedimentology*. Springer Verlag, Berlin, 633 p.
- Clet, M., Occhietti, S. et Richard P.J.H., 1991. Palynologie et éléments de lithostratigraphie du Pléistocène du site de Donnacona, vallée du Saint-Laurent, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 45 (2) : 125-140.
- Clet, M. et Occhietti, S., 1994. Palynologie et paléoenvironnements des épisodes du Sable de Lotbinière et des Varves de Deschailons (Pléistocène supérieur) de la vallée du Saint-Laurent. *Journal canadien des Sciences de la Terre*, 31 (9) : 1474-1485.
- Clet-Pellerin, M., Lautridou, J.P., Morzadec-Kerfourn, M.T., Farjanel, G. et Huault, M.F., 1996. Stratigraphy and palynology of Pliocene : Reuverian sequences in marine and lagunal sediments in Normandy (France). A paraître dans *Palynology*.
- Dangeard, L. et Vattier, G., 1957. Pliocène du bassin de Carentan. Documents nouveaux. Comptes rendus sommaires, Société géologique de France, 6^e série, 7 : 133-136.
- Doré, F., Juignet, P., Larssonneur, C. et Pareyn C., 1977. La Normandie. Guides géologiques régionaux. Masson, Paris. 207 p.
- Doré, F. et Poncet, J., 1978. Notice carte géologique à 1/50 000. La Haye-du-Puits. XII-12. Bureau de Recherches géologiques et minières. 116 : 25 p.
- Dugué, O., Clet M., Walter, A.-V., Baize, S. et Coutard, J.-P., 1997. Enregistrement d'un interglaciaire du Pléistocène inférieur dans des tourbes du Seuil du Cotentin (Normandie, France). Comptes rendus à l'Académie des Sciences, Paris, 324(11a) : 583-590.
- Farjanel, G., Jolly, M.C., Clet-Pellerin, M. et Morzadec-Kerfourn, M.-T., 1991. The Marchésieux (Normandy, France) long sequence : A palynological approach to the study of the Plio-Pleistocene climate. Sous presse.
- Funnell, B.M. et West, R.G., 1977. Preglacial Pleistocene deposits of East Anglia, p. 247-265. In F.W. Shotton, éd., *British Quaternary Studies : Recent advances*, Oxford Clarendon Press.
- Guery, R., 1960. Observations sur les sables de Saint-Vigor près de Bayeux (Calvados). Diplôme d'Études supérieures, Géologie, Université de Caen.
- Lowe, D.R., 1982. Sediment gravity flows : II. Depositional models with special reference to the deposits of high-density turbidity currents. *Journal of Sedimentary Petrology*, 52 : 279-297.
- Miall, A.D., 1977. A review of a braided river depositional environment. *Earth Science Review*, 13 : 1-62.
- Millot, G., 1964. *Géologie des Argiles*. Masson, Paris, 499 p.
- Poncet, J., 1958. Le Pliocène et le Quaternaire de la région de Lessay (Manche). *Mémoire Société des Sciences naturelles et mathématiques de Cherbourg*, 47 : 63 p.
- 1961. Un témoin de Cénomanien dans la région de Lessay. *Compte rendu sommaire Société géologique de France*, 8 : 239-240.
- Shackleton, N.J. et Hall, M.A., 1984. Oxygen and carbon isotope stratigraphy of deep sea drilling project hole 552A : Plio-Pleistocene glacial history. *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, 81 : 599-609.
- Shackleton, N.J., Imbrie, J. et Pisias N., 1988. The evolution of oceanic oxygen isotope variability in the North Atlantic over the past three million years. *Philosophical transactions of the Royal Society of London*, B318 : 679-688.
- Smith, D.G., 1983. Anastomosed fluvial deposits. Modern examples from Western Canada. *Special publications International Association of Sedimentologists*, 6 : 155-168.
- Urban, B., 1978. The Interglacial of Frechen I/Rheinland - a section of the Tiglian A-Type. *Geologie en Mijnbouw*, 57 : 401-406.
- Velde, B., 1995. *Origin and mineralogy of clays. Clays and the environment*. Springer Verlag, Berlin, 334 p.
- Walker, R.G. et Cant, D.J., 1979. Sandy fluvial system in facies models. In R.G. Walker, éd., *Geoscience Canada. Reprint series 1* : 23-31.
- Walter, A.V., Baize, S., Dugué, O. et Clet, M., 1996. Les dépôts pléistocènes du Seuil du Cotentin (Normandie) : influence de l'évolution des environnements sédimentaires sur la composition minéralogique et géochimique. 16^e Réunion des Sciences de la Terre, Orléans, p. 116.
- Zagwijn, W.H., 1963. Pollen-analytic investigations in the Tiglian of the Netherlands. *Mededelingen van de geologische stichting, nieuwe serie*, 16 : 49-72.
- 1968. Pleistocene stratigraphy in the Netherlands, based on changes in vegetation and climate. *Verhandelingen van Het Koninklijk Nederlands Geologisch Mijnbouwkundig Genootschap, Geol. Serie*, 21-2 : 173-196.
- Zalasiewicz, J.A. et Gibbard, P.L., 1988. The Pliocene to early Middle Pleistocene of East Anglia : An overview, p. 1-31. In *The Pliocene-Middle Pleistocene of East-Anglia. Field Guide*. Cambridge, Quaternary Research Association.