

Phytostratigraphie et paléoenvironnements du Néogène de l'Entre-Sambre-et-Meuse et du Condroz (Belgique). Evolution paléoclimatique du subtropical humide au tempéré froid.

Neogene phytostratigraphy and palaeoenvironments of Entre-Sambre-et-Meuse and Condroz areas (Belgium). Palaeoclimatic shift from humid-subtropical to cold-temperate conditions.

Emile ROCHE¹, Christian DUPUIS², Sondes STAMBOULI - ESSASSI³, Elda RUSSO - ERMOLLI⁴, Thierry De PUTTER⁵, Dominique NICAISE⁶ et Muriel FAIRON-DEMARET⁴

Abstract: Available palaeobotanical data from significant karstic depressions of Entre-Sambre-et-Meuse and Condroz areas (Belgium) are reviewed. Drawing up of about forty stratigraphically significant taxa results in a phytostratigraphy of the continental Neogene supporting correlations with surrounding areas. Moreover, palaeoenvironmental and palaeoclimatic evolution of the studied areas are clarified while the phytostratigraphic framework evidences two major steps in the karst formation.

Keywords: Belgium, Entre-Sambre-et-Meuse, Condroz, Cryptokarsts, Neogene, Phytostratigraphy, Palaeoenvironments, Palaeoclimates.

Résumé: Les données paléobotaniques disponibles provenant principalement d'une dizaine de sites particulièrement significatifs des cryptokarsts néogènes de l'Entre-Sambre-et-Meuse et du Condroz (Belgique) ont été révisées. L'établissement de la distribution verticale d'une quarantaine de taxons marqueurs débouche sur une phytostratigraphie du Néogène continental régional qui supporte la discussion de corrélations avec les régions voisines. En parallèle, elle précise l'évolution paléoenvironnementale et paléoclimatique du Néogène « ardennais » et documente le comportement exacerbé des cryptokarsts au cours du Miocène.

Mots-Clés : Belgique, Entre-Sambre-et-Meuse, Condroz, Cryptokarsts, Néogène, Phytostratigraphie, Paléoenvironnements, Paléoclimats.

INTRODUCTION

De longue date, les dépôts continentaux néogènes de la Haute Belgique ont suscité l'intérêt des géologues. Ainsi, dès 1841, D'HOMALIUS D'HALLOY publiait une première notice sur ces dépôts et leur origine dans le Condros. En 1888, VANDENBROECK et RUTOT présentaient une note relative à l'extension des sédiments tongriens sur les plateaux du Condroz et de l'Ardenne. Mais c'est à CALEMBERT (1945, 1954) que l'on doit de remarquables études détaillées sur les gisements de terres plastiques d'Andenne et du Condroz et autres formations tertiaires de Haute Belgique.

¹. Université de Liège, Unité de Paléobotanique, de Paléopalynologie et de Micropaléontologie, Sart Tilman, Allée du 6 Août, B.18, B - 4000 Liège 1, Belgique

². Université de Mons, Faculté Polytechnique, Département de Géologie fondamentale et appliquée, rue de Houdain, 9, B - 7000 Mons, Belgique

³. Faculté des Sciences de Tunis-El Manar II, Laboratoire de Biologie végétale. 2092, Tunis. Tunisie

⁴. Université de Naples « Federico II », Département des Sciences de la Terre, 10 via S. Marcellino I - 80130 Naples, Italie

⁵. Africa Museum, Département de Géologie, Leuvensesteenweg, 13, B - 3080 Tervuren, Belgique

⁶. Laboratory of Microscopy and Geological Technics, Research Institute, av. P. Holoffe, 21, B - 1342 Limelette, Belgique

Les gisements tertiaires de Haute Belgique ont aussi attiré l'attention des paléobotanistes. Le premier, LOHEST (1887) décrivait une flore miocène provenant du site de Champseau (Andenne), suivi en cela par GILKINET (1922) et par STOCKMANS et WILLIERE (1934). En 1960, STOCKMANS publiait la première analyse palynologique du puits de Champseau. Plus récemment SITTLER et SCHULER (in: SOYER, 1972), BOXUS (1989), RUSSO-ERMOLLI (1990, 1991), ROCHE (Florennes, Pisselote ; inédit), STAMBOULI-ESSASSI (Bioul ; inédit) se sont essayés à l'étude palynostratigraphique et à la reconstitution paléoenvironnementale des sédiments comblant les poches karstiques du Condroz et le l'Entre-Sambre-et-Meuse. Dans les années 80-90, d'autres recherches gravitant autour de l'altération et de l'argilogenèse dans les cryptokarsts ont été développées. Il s'agit principalement, d'une part de la prospection de l'hallyosite, en Condroz et ESEM, soutenue par la Région wallonne (DUPUIS et ERTUS, 1993 ; NICAISE, 1999 ; NICAISE et DUPUIS, 1997) et d'autre part, de travaux financés par l'ONDRAF (Organisme national belge des déchets radioactifs) menés dans une optique géoprospective de documentation d'analogues naturels au confinement des déchets nucléaires (DE PUTTER et *al.* 1997).

En parallèle à ces travaux très techniques, des recherches plus fondamentales en biostratigraphie et en paléoenvironnements ont été menées par l'Université de Liège au sein de deux projets FRFC (Fonds de Recherche Fondamentale Collective) supporté par le FNRS belge. C'est une sélection des résultats de ces études qu'on se propose de synthétiser dans le présent article.

SITUATION

L'échantillonnage étudié provient à la fois de gisements reconnus en sondages et en affleurements. Ces derniers, visibles en carrières, étaient encore raisonnablement accessibles dans l'Entre-Sambre-et-Meuse au moment de nos travaux alors que les exploitations souterraines du Condroz avaient définitivement cessé d'exister. L'échantillonnage relatif à ces exploitations nous a été fourni par l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique (Collection STOCKMANS). Quant aux sondages qui ont produit du matériel, les plus anciens étaient conservés au Service géologique de Belgique tandis que les plus récents provenaient des travaux de prospection liés aux projets techniques précités.

La plupart des sites investigués sont des cryptokarsts installés dans les calcaires carbonifères des plateaux ardennais (D'OMALIUS D'HALLOY, 1841 ; VANDENBROECK et RUTOT, 1888) appartenant structurellement aux *synclinoria* de Dinant et de Namur. Leur distribution est fortement liée à l'extension de sables marins qui ont recouvert une partie importante du massif ardennais à l'Eocène terminal - Oligocène inférieur (VANDENBROECK et RUTOT, 1888 ; GULINCK, 1967 ; ERTUS, 1990). Le caractère marin des sables, reconnu sur base granulométrique (GEETS, 1984) est encore attesté par la présence de dinokystes dans l'argile de la base de ces sables à Oret (DECONINCK, 1995). Ce dernier, sur base d'espèces de phytoplancton biostratigraphiquement significatives met en parallèle ces sables avec les Sables de Bassevelde d'âge éocène supérieur. Par ailleurs, une analyse sporopollinique d'une couche ligniteuse a livré une microflore oligocène semblable à celle décrite par ROCHE et SCHULER (1976) pour l'Argile de Hénis et dans laquelle figure le marqueur oligocène *Boehlensipollis hohli* (RUSSO-ERMOLLI, 1990). Notons aussi que ROCHE et SCHULER (1976) signalent la présence, mais mal conservé, de ce marqueur dans les Sables de Bassevelde de la localité type au sein d'un assemblage pollinique à caractère plutôt éocène supérieur. La discussion de ce point de stratigraphie dépasse le cadre du présent travail et ne sera pas abordée ici. Nous utiliserons donc le qualificatif eo-oligocène pour la transgression ayant amené les dépôts de sables dans la région.

Le piégeage karstique des sables est intervenu au cours du Néogène après une période continentale responsable, notamment, d'une érosion hétérogène de la formation sableuse. Le développement spectaculaire des karsts a alors induit des subsidences localisées qui ont déterminé des environnements favorables au dépôt et à la préservation de sédiments

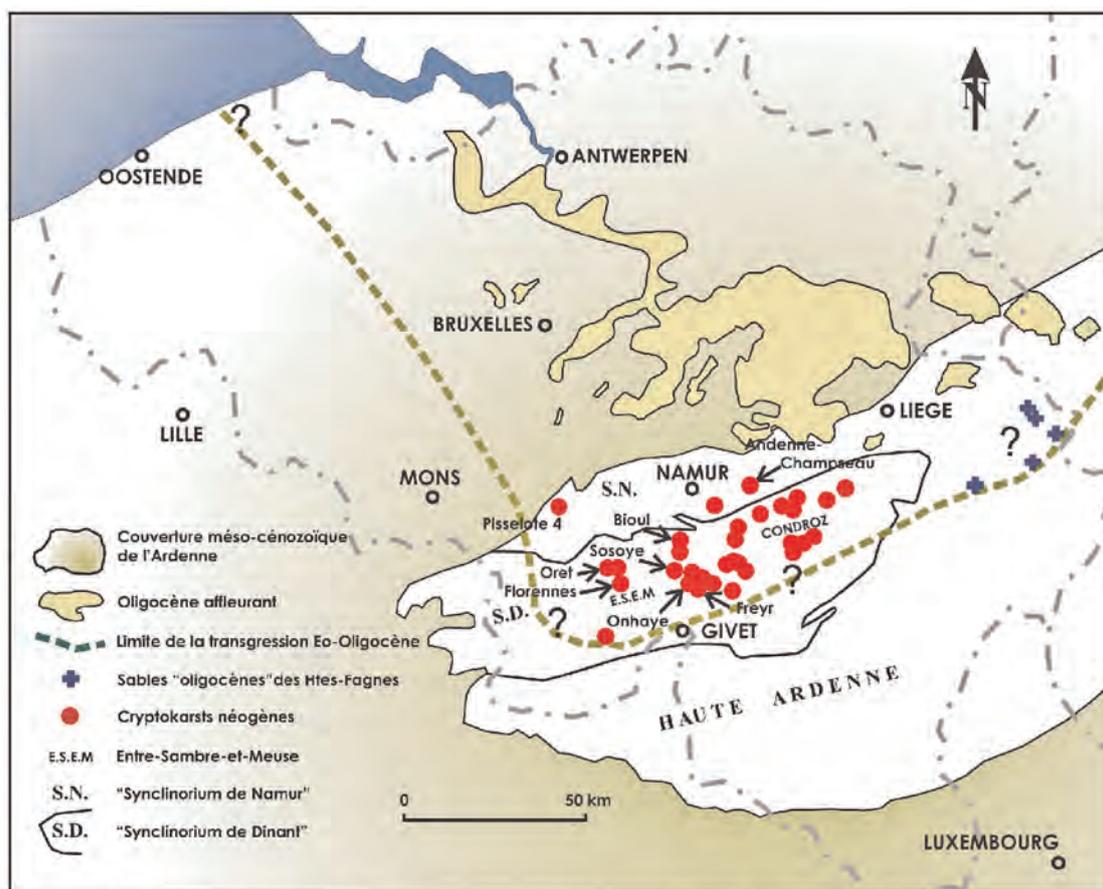


Figure 1: situation des cryptokarsts de l'Entre-Sambre-et-Meuse et du Condroz

continentaux variés, surtout lacustres (s.l.) et fluviales, riches en matière organique végétale (D'HOMALIUS D'HALLOY, 1841 ; CALEMBERT, 1945 ; SOYER, 1972 ; ERTUS, 1990 ; DUPUIS et ERTUS 1993, 1994 ; DUPUIS et *al.*, 2003). En conséquence, le remplissage de ces poches comporte très généralement une épaisseur variable de sables marins surmontés par des sédiments continentaux divers dont les plus caractéristiques sont des amas de lignites, amorphes ou xyloïdes, encore appelés localement « machuria » (CALEMBERT, 1945). La subsidence karstique en compétition avec le flux sédimentaire local a produit des structures parfois complexes très bien décrites par CALEMBERT (1945) grâce aux méticuleux levés des exploitations souterraines d'argile plastique du Condroz. Des structures similaires ont été mises en évidence dans l'Entre-Sambre-et-Meuse à la faveur du levé structural détaillé de sites comme Bioul et Weillen (ERTUS, 1990 ; LEMY, 1996 ; NICAISE, 1998) ou grâce à des sondages pratiqués pour la prospection des lignites, comme ce fut le cas à Florennes avec les sondages de la S.A. TOURBEC (GULINCK et GRAULICH, 1953) ou de la Région wallonne (FloRW8 - Figure 3). Ces structures, semblables à celle décrite pour Andenne-Champseau se présentent sous forme d'un vaste entonnoir d'une profondeur de 100 à 150 m et d'un diamètre de l'ordre de 150 à 200 m.

Notons que, dans certains cryptokarsts (région de Bioul-Onhaye), s'observe une unité argileuse épaisse, argilo-silteuse, enrichie en matière organique. Tout porte à penser qu'une telle amplification de la sédimentation accompagne une phase d'accélération majeure de subsidence karstique qui serait réactivée localement et ne serait pas synchrone des remplissages organiques d'Andenne et de Florennes. De fait, l'étude phytostratigraphique qui va suivre engage à distinguer deux phases de karstification majeures se succédant dans le temps.

L'origine, la formation et l'évolution des cryptokarsts, telles que nous pouvons les concevoir, sont synthétisées à la Figure 2.

COUPES ETUDIÉES ET DOCUMENTATION DISPONIBLE

Les données de dix sites repris dans le tableau 1 ont été retenues pour cette étude ; par ordre alphabétique : Andenne-Champseau, Bioul, Florennes « Berthe », Florennes CM-Affl ; Florennes CM- FloRW8, Freyr 506, Onhaye, Oret 606, Pisselote 4 et Sosoye. La figure 1 localise ces sites. Les figures 3 et 4 donnent une description schématique des principales coupes utilisables sur lesquelles sont positionnés les échantillons étudiés.

Andenne-Champseau

On doit à LOHEST, décrivant en 1887 le site de Champseau, la première mention documentée de l'Argile d'Andenne. Ce site est, dans une certaine mesure, devenu par la suite la poche karstique type du Condroz souvent comparée aux allures complexes mises en évidence en d'autres endroits. Largement décrite et citée, sa structure et la succession des couches piégées sont bien connues grâce aux puits et galeries levés par CALEMBERT (1942, 1945, 1947, 1954). La figure 4 restitue la coupe N-S de la poche, légèrement simplifiée, établie grâce à six puits d'exploitation des « terres plastiques », un sondage d'exhaure et un affleurement (CALEMBERT, 1945). Cet auteur attribue la formation de telles poches à la dissolution du calcaire sous les terrains tertiaires sus-jacents, rejoignant en cela les premiers partisans de l'explication karstique (RUTOT, 1887 ; VANDENBROECK et RUTOT, 1888 ; VANDENBROECK, 1893 ; FOURMARIER, 1923) qui s'opposèrent à l'hypothèse « geysérienne » qui envisageait les argiles plastiques comme le résultat d'une altération hydrothermale.

Sous la couverture des terrains superficiels, le remplissage de la poche comprend environ 70m de sédiments continentaux divers. Le premier niveau argileux est constitué d'argiles grises et blanches « maigres ». Au dessous, se trouve le « grand machuria », matière brune compacte qui renferme de nombreux vestiges de lignite xyloïde, dont, parfois des fragments de troncs d'un diamètre de 1,50m (CALEMBERT, 1954). Ce « grand machuria », épais en son centre de plus de 30m présente des variations latérales d'épaisseur résultant de la complexité de la subsidence karstique locale. Plus bas, uniquement développés dans la partie nord de la structure, deux biseaux de « sables bouillants » encadrent un machuria moyen. Cette disposition serait compatible avec l'existence d'un prisme deltaïque développé marginalement dans un lac karstique. En dessous, des couches de terres bleues et brunes grasses surmontant un machuria inférieur occupent à nouveau toute l'étendue du cryptokarst. Elles reposent sur le « dègne », couche repère d'argile grise tachetée de rouge et de jaune régulièrement rencontrée au contact avec le sable marin. Ce sont ces niveaux, reconnus par LOHEST (1887) qui ont livré les plantes déterminées par GILKINET (1922). Ils constituent, à notre sens, la meilleure référence historique de l'Argile d'Andenne.

Bioul

Sur la figure 3 est reprise une coupe simplifiée de la succession étudiée à Bioul. Les sables marins, régionalement connus, font défaut ici, probablement érodés. Sur le calcaire carbonifère repose un niveau d'argile dont la base empâte des graviers de cherts et des galets de quartz. Au-dessus, des sables fluviatiles se développent sur une quinzaine de mètres. Leur base comporte un niveau de silt noirâtre enrichi en charbon de bois pulvérulent et parsemé de galets. Ce type de sédiment, associant de la matière organique calcinée et des éléments grossiers, a été rencontré à plusieurs reprises dans les autres sites. Il ne livre pas de matière organique figurée exploitable et est considéré comme résultant de la déstabilisation de la frange superficielle du sol à la suite d'incendies naturels (ERTUS, 1990 ; FAIRON-DEMARET, 1994). Après un hiatus d'observation de l'ordre de 15 mètres, le cœur de la poche montre le passage abrupt d'une couche de sable jaune légèrement argileux à quelque deux mètres d'un dépôt présentant en alternance de fins lits argileux bruns et de fines couches de sable-silt beige millimétriques (pseudo-varves). Le plan de stratification des alternances recelait des empreintes de feuilles très bien conservées. Celles-ci ainsi que d'autres éléments végétaux

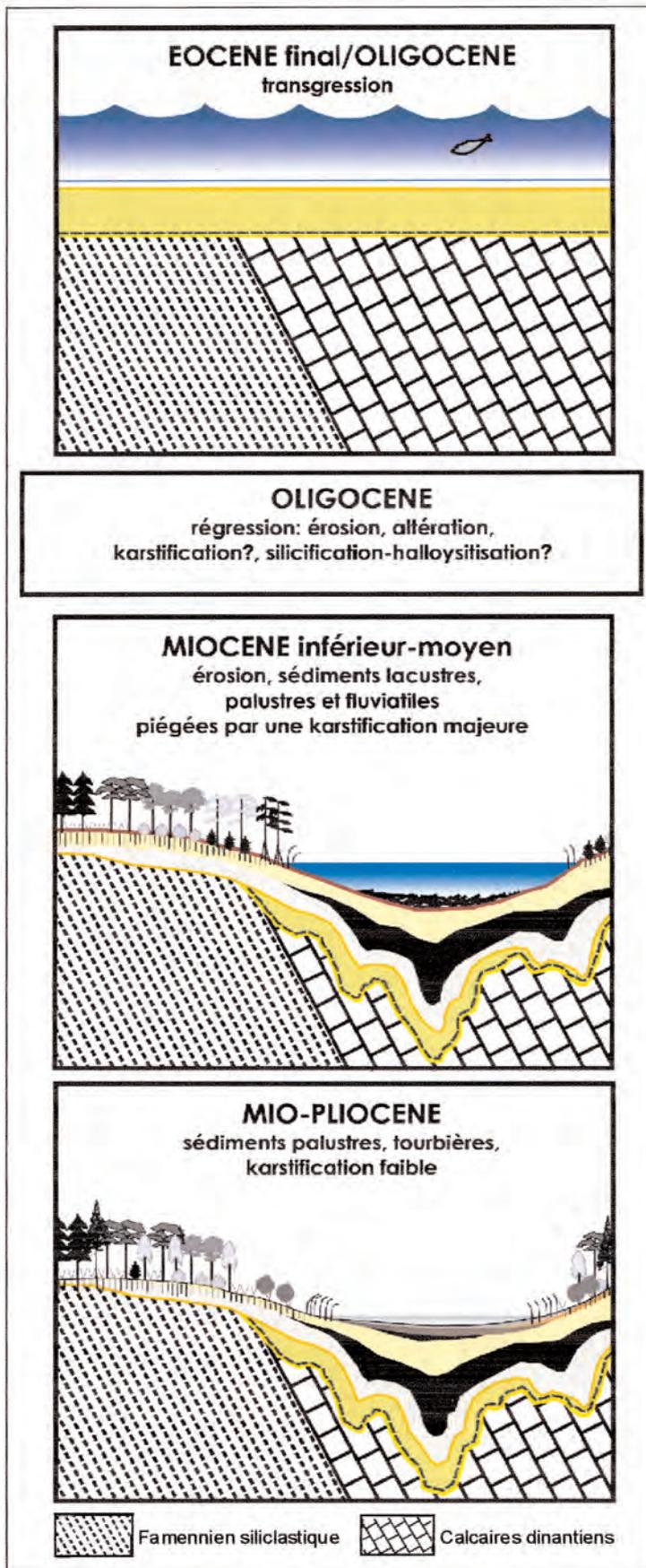


Figure 2: Schéma de l'évolution des karsts de l'Entre-Sambre-et-Meuse et de la sédimentation oligo-néogène

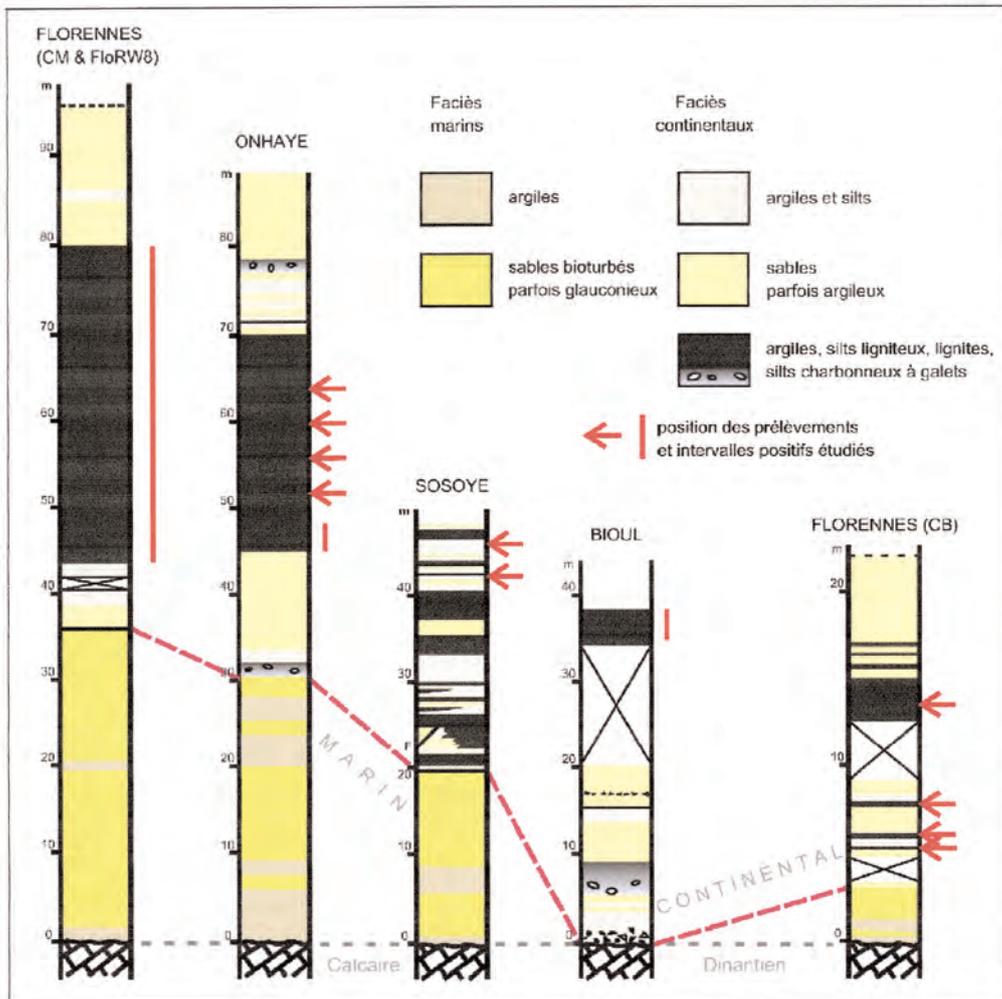


Figure 3 : Description lithologique des principales coupes étudiées et localisation des analyses palynologiques (et carpologiques dans la coupe de Bioul)

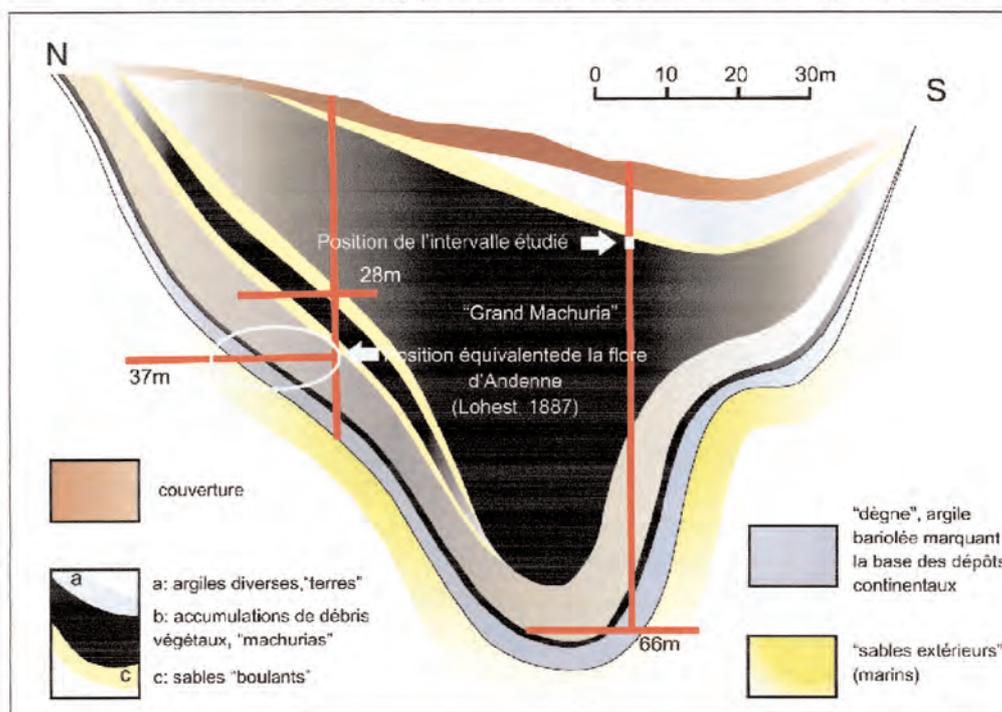


Figure 4 : Coupe schématique de la poche de Andenne-Champseu d'après Calembert (1945)
Position des données et échantillons paléobotaniques

comme des graines, des cônes, des rameaux ont pu servir de support à une reconstitution de l'environnement botanique (FAIRON-DEMARET, 1994). Cette reconstitution a été complétée par l'analyse palynologique d'une séquence de 1,6 m, relevée dans la même série et échantillonnée tous les cinq centimètres (BOXUS, 1989). Cette analyse a été revue et affinée ultérieurement (STAMBOULI-ESSASSI, inédit).

La signification des straticules a été discutée. ERTUS (1990) considère les strates sablo-silteuses comme des microturbidites, apports alluviaux à régime irrégulier (décharges d'orages, inondations), parvenant au fond d'un lac, siège d'une décantation de particules argileuses et organiques lors de périodes à sédimentation ralentie. FAIRON-DEMARET (1994) ne disposait pas d'argument pour voir dans ces doublets (lamine claire - lamine foncée) une périodicité régulière (annuelle) ; des mesures effectuées dans des lacs actuels ne mettant pas toujours en évidence une rythmicité saisonnière stricte (ANDERSON et DEAN, 1988).

Florennes (Florennes-CM-FloRW8 et Florennes-Carrière Berthe)

A l'est de la ville de Florennes, deux sites ont retenu notre attention. Le premier concerne un grand cryptokarst caché révélé par la synthèse des sondages de la S.A.TOURBEC réalisée par NICAISE (1998) et dont le contenu a été reconnu par un sondage foré pour la prospection de l'halloysite (FloRW8, Tableau 1, Figure 3). La structure karstique affleure en outre, partiellement, dans la carrière dite « du Camp Militaire » (Florennes-CM ; Tableau 1). Plus récemment, l'exploitation de sable y a dégagé le contact avec le substrat calcaire. Par ailleurs, le second site dont on a repris du matériel, consiste en une petite poche de 40m de profondeur sur 65m de largeur visible en 1989 dans le flanc nord de la carrière de calcaire exploitée par la Société Berthe (Florennes-Berthe ; Tableau 1, Figure 3) et étudiée par ERTUS (1990), BROUARD (1992) et NICAISE (1998).

Le grand cryptokarst caché s'allonge dans la direction E-W sur plus de 500m. Dans la direction N-S, son extension est plus faible, environ 200m, mais une prospection géo-électrique a montré que, plus au nord, des structures assez profondes prenaient le relais jusqu'à une distance d'au moins 450m. la poche principale comporte une vaste accumulation ligniteuse, reconnue par les sondages de la S.A.TOURBEC, qui occupe la partie médiane du remplissage selon une configuration en entonnoir comparable à celle du « machuria » de Andenne-Champseau (Figure 4). Elle atteint localement une épaisseur maximale de l'ordre de 40m, ce que confirme le sondage FloRW8 où le lignite xyloïde a été traversé sur quelque 37m (Figure 3). En outre, la base de la masse de tourbe xyloïde, véritable « machuria » est accessible dans la carrière proche de la base militaire (Florennes-CM, Tableau1). On a pu y observer des sables marins blancs à *Ophiomorpha* plonger vers l'est, sous le machuria, largement exposé sur près de 10m d'épaisseur. Les deux matériaux ont encore fait l'objet, il y a peu, d'une exploitation occasionnelle ; les troncs de *Taxodium* ayant ici la particularité de renfermer encore de la cellulose en quantité importante (DE PUTTER et al. 1996 ; LECHIEN, 2003, 2009). A la figure 3, les descriptions lithologiques de la carrière et du sondage sont groupées sur le même log (Florennes-CM-FloRW8). De fait, la coupe de 5m qui a été étudiée dans la carrière CM est, par sa position géométrique, corrélable à la partie inférieure de la masse ligniteuse du sondage (RUSSO-ERMOLLI, 1990). Dans le sondage, l'intervalle riche en matière organique où ont été régulièrement répartis les 14 échantillons étudiés est épais d'environ 37 m. Il occupe la majeure partie de l'intervalle continental et repose, par l'intermédiaire de quelques niveaux argileux et sableux, sur les sables marins épais ici de plus de 35m. Vers le haut, 17m de sable plus ou moins argileux clôturent la succession sous des limons pléistocènes non détaillés ici. La succession complète est illustrée sur la Figure 3 par le log du sondage FloRW8 (NICAISE, 1998) qui a atteint le substrat calcaire.

La coupe de Florennes-Carrière Berthe a été levée et échantillonnée par ERTUS (1990) et BROUARD (1992) dans la poche aujourd'hui disparue. Sur le calcaire viséen, la succession débute par 4 à 5m appartenant aux sables marins et dont la base est encombrée de lits argileux et de concrétions ferrugineuses. Au-dessus, quelques niveaux tourbeux s'intercalent dans des sables plus ou moins argileux; trois de ces niveaux ont été prélevés. Après un passage masqué

par une coulée de boue, se trouve une argile tourbeuse noire d'environ 2,5m d'épaisseur passant par interstratification à un sable argileux gris. Cette argile tourbeuse a aussi été échantillonnée (Figure 3). La poche de la carrière Berthe diffère nettement des autres structures karstiques de l'Entre-Sambre-et-Meuse ; d'abord par sa taille, très réduite par rapport aux autres karsts, ensuite par son contenu peu diversifié, argilo-sableux plus ou moins enrichi en matière organique dans laquelle manquent les fragments de bois caractéristiques des autres gisements.

Freyr 506

Lors d'une visite de la carrière en 1989, le site de Freyr (Figure 1 ; Tableau 1) ne présentait plus d'affleurement. Les rares renseignements descriptifs concernant cette section proviennent de SOYER (1972, p.79) où la carrière en question est décrite sous le nom de Waulsort. L'auteur fait état d'un « lignite conservé à environ 15m de profondeur sous une couche d'argile rouge ». A 8m, ce qui voudrait dire au-dessus du lignite, il signale encore des sables fins à moyens. Ces données ne permettent pas d'émettre le moindre avis quant au mode de gisement des matériaux collectés. C'est uniquement leur appartenance régionale qui nous incite à le mentionner ici. L'échantillon « 506 » provient du lignite ; il a été étudié par SCHULER et SITTLER (in : SOYER, 1972 ; Waulsort-Freyr, p.198) et revu par RUSSO-ERMOLLI (1990).

Onhaye

La première mention de la sablière de Onhaye (ECTP : « Exploitation de Carrières et de Terres Plastiques » ; Tableau 1, Figure 3) apparaît dans SOYER (1972) qui n'en fournit pas de coupe, l'exploitation n'en étant qu'à son début à cette époque. En 1988, la carrière avait dégagé la moitié d'une poche d'un diamètre d'environ 250m montrant une succession de faciès très diversifiés impliqués dans une structure en entonnoir ceinturée au moins partiellement par le substrat dinantien. En 1990, ERTUS donne une première description de la succession des couches continentales du site, puis une coupe complète représentant une séquence de quelque 90m est proposée en 1997, dans PERRUCHOT et *al.* Celle-ci détaille huit unités reposant sur le substrat viséen silicifié. Les deux premières appartiennent aux faciès marins eo-oligocènes ; les six autres enchaînent différents faciès continentaux sableux et argilo-silteux, riches en matières organiques (Figure 3).

A sa base, la série marine, d'une épaisseur de 30m, est chargée sur environ 5m d'argile noirâtre, de graviers, de galets et de concrétions d'oxyde de fer. La matière organique n'y présente pas d'éléments figurés. Cette base est considérée comme équivalente à celle des sables d'Oret datée de l'Eocène supérieur par DECONINCK (1995). Les sables qui y font suite sont fins, de couleur blanc-rose et plus ou moins silteux.

Les couches continentales qui poursuivent le remplissage du karst comprennent des dépôts fluviaux, palustres et lacustres.

La première est un silt charbonneux noir, peu épais (+/- 2m) contenant des galets décimétriques épars (quartz filonien, grès famennien). De tels dépôts sont hypothétiquement interprétés comme le résultat d'un effet érosif dû à des incendies déstabilisant les sols (cf. Bioul).

L'unité suivante, épaisse de 13m, constituée de sables grossiers blanc-jaunâtres stratifiés de lits de petits galets quartzeux et de fines couches d'argile blanche sont le témoin de chenaux fluviaux divagants occasionnellement piégés par la subsidence karstique. Vient ensuite une succession lacustre-palustre d'environ 25m d'épaisseur. Celle-ci débute par un matériel sableux très fin dans lequel s'intercalent des lits millimétriques d'argile donnant à l'ensemble un caractère varvaire. Ce type de structure qui, ici, n'excède guère une cinquantaine de centimètres d'épaisseur, a été discuté succinctement dans le paragraphe consacré à Bioul. Y fait suite une masse argilo-ligniteuse importante, brun-noir à grise, d'origine lacustre à palustre, renfermant des débris végétaux, feuilles et graines surtout

concentrées vers la base et des fragments de troncs et racines de *Taxodium* dispersés dans la masse; ces derniers étant nettement moins bien conservés que ceux rencontrés à Florennes CM et à Andenne.

Des sables plus ou moins grossiers blancs, à petites passées graveleuses et interstratifiés de silts et d'argiles claires succèdent, sur 7 à 8m, à la masse d'argile. Ils sont interprétés comme des faciès fluviatiles ; les sédiments les plus fins correspondraient à des dépôts de plaine alluviale (ERTUS, 1990). Le silt charbonneux qui suit ressemble très fort au précédent ; les galets y sont toutefois pétrographiquement plus variés.

La dernière unité qui couronne le remplissage sur une dizaine de mètres est oblitérée par un paléosol quaternaire. C'est un ensemble hétérogène, à caractère fluvatile, fait de sables fins à grossiers, blanc à ocre, à chenaux de graviers, marqués par des stratifications obliques, ce qui les différencie des unités homologues de la coupe.

Seule l'épaisse couche d'argile à plantes a livré du matériel palynologique utilisable. Dans le second niveau de silt charbonneux on a relevé la présence de *Disaccates* épars et mal conservés.

Oret 606

Les remplissages karstiques de la région d'Oret sont connus pour les sables kaoliniques qui y ont été activement exploités. En 1952, des sondages ont été forés pour la recherche du lignite (Note 538 du dossier Service Géologique de Belgique, carte Biesmes n°165 W, établie par GULINCK). En 1963, GULINCK fait état de ses observations au cours du 6^{ème} Congrès International de Sédimentologie. Il situe sur une carte les quatre carrières alors en exploitation (Fig. 21, p.26) et donne une des rares descriptions des fronts de taille disponibles. Des sables blancs, très fins, reposent sur le calcaire encaissant silicifié. Outre des galets de silex entièrement cachalonnés, on y trouve fréquemment des terriers de crustacés (*Ophiomorpha*). L'auteur signale qu'anciennement la carrière Caroret « offrait un beau profil dans lequel on voyait une superposition régulière d'argile plastique et de lignite surmontant la masse de sable » et dans laquelle se trouvaient des débris et des troncs de bois.

En 1972, SOYER réexamine la description des sondages de 1952 dont il obtient des échantillons de deux d'entre eux (I et IV, Carrière Caroret) qui ont rencontré de l'argile ligniteuse à la base des sables au contact du substrat dinantien. Ce matériel a été étudié à diverses reprises (SCHULER et SITTNER, in : SOYER, 1972 ; DECONINCK, in : SOYER, 1972 ; RUSSO-ERMOLLI, 1990 ; DECONINCK, 1995). Dans sa thèse, en 1990, ERTUS donne une coupe de la carrière Oret B.I.S. (British Industrial Sands) et insiste sur la grande homogénéité des sables marins qui présentent quelques rares intercalations argileuses. Il y décrit de nombreux *Ophiomorpha* épigénisés par la kaolinite ainsi qu'un niveau riche en glauconie qui, tous deux, assoient le caractère marin des sables.

Les sables kaoliniques d'Oret ont beaucoup canalisé l'attention des géologues ; en revanche, on ne dispose que de peu d'information sur les argiles et lignites sus-jacents. A ce sujet, SOYER signale qu'un lignite sus-jacent aux sables marins a été étudié en 1952 par le Service Géologique de Krefeld. Un échantillon du même lignite, portant le n° 606, a aussi été analysé par SCHULER et SITTNER (in : SOYER, 1972, p.195) et revu ultérieurement par RUSSO-ERMOLLI (1990).

Pisselote.4

Même si le substrat de ce sondage décrit par DELCAMBRE et PINGOT en 1999 pour la carte géologique de Wallonie (communication écrite) est carbonaté (Viséen), la nature karstique du site (Figure 1 ; Tableau 1) ne peut être affirmée. Les auteurs ont interprété les sédiments rencontrés sur une douzaine de mètres avant de toucher le socle paléozoïque comme appartenant à un dépôt fluvatile (DELCAMBRE et PINGOT, 2000). Le sédiment est un silt sableux carbonaté de couleur gris clair. Cinq échantillons ont été étudiés; un seul (-10.50m) a fourni un assemblage utilisable.

Sosoye

La carrière de Sosoye (Figure 3, Tableau1) a été étudiée par ERTUS (1990) et BROUARD (1992). C'est ce dernier qui en donne la description la plus complète. Au moment de l'étude, la carrière était ouverte, en bordure d'une poche importante, à cheval sur le contact entre le sable marin à l'ouest et les couches continentales à matière organique à l'est. BROUARD a pu lever la succession d'une épaisseur de l'ordre de 50m, depuis le calcaire paléozoïque affleurant au nord.

Les sables marins à *Ophiomorpha* occupent les 20m inférieurs. Au-dessus, les composantes argileuse et tourbeuse de la sédimentation continentale alternent de façon assez complexe avec des chenaux sableux. Une faille intraformationnelle de faible amplitude marque cette partie de la coupe (Figure 3). A 30m, après une puissante couche argileuse, apparaissent deux niveaux organiques particuliers ; ils consistent en un feutrage dense de racines assez grêles, perpendiculaire à la stratification. Ces racines, d'une longueur de l'ordre du mètre, sont noyées dans une matrice argileuse grise subordonnée (paléosol). Sur chacun des paléosols reposent des chenaux remplis de fûts de *Taxodium* tronçonnés (ERTUS, 1990). Ces derniers sont tout à fait semblables aux troncs observés dans le machuria de Florennes-CM. Il est vraisemblable qu'on ait affaire à des sols de bordure d'un lac où s'accumulaient des débris de *Taxodium* et la matière organique constitutive du machuria. La fragmentation des arbres suggère l'intervention brutale de tempêtes détruisant épisodiquement la forêt et transportant les débris ligneux dans le lac. La suite de la sédimentation, à partir de 40m, de nouveau alternante, associe des couches argileuses, silto-sableuses et organiques, riches en figures pédologiques telles que racines et terriers (striotubules) qui traduit un certain éloignement du lac (cône alluvial, delta). Seuls ces niveaux supérieurs ont livré du matériel palynologique utilisable.

MATERIELS ET METHODES

Palynologie

Echantillonnage

Les sites faisant l'objet de la présente étude sont inventoriés dans le tableau 1. Leur échantillonnage a été réalisé comme suit :

Andenne-Champseau: 3 échantillons distants de 1m chacun, prélevés dans la couche de lignite amorphe surmontant le « grand machuria » - Collection STOCKMANS (I.r.Sc.nat.B.)

Bioul : échantillonnage tous les 5cm dans le dépôt (1.60m) à « allure varvaire » - Prélèvements personnels

Florennes CM: 2 échantillons prélevés à 1m de distance dans la couche argilo-ligniteuse surmontant le « machuria » en affleurement dans la carrière - Prélèvements personnels

Florennes FloRW8 : 14 échantillons équidistants prélevés dans une couche ligniteuse de 37m d'épaisseur située entre -20 et -55m de profondeur - Sondage de la Région wallonne. Prélèvements DE PUTTER et NICAISE

Florennes « Berthe »: 4 échantillons prélevés en affleurement dans des passées ligniteuses incluses dans un dépôt sablo-argileux d'une vingtaine de mètres d'épaisseur - Echantillonnage ERTUS (FPMs)

Freyr 506: 1 échantillon de lignite récolté par SOYER (UCL) sous une épaisseur de 15m d'argile dans une petite poche karstique.

Onhaye ECTP: 10 échantillons prélevés tous les 20cm dans les 2m de la base de la masse argilo-ligniteuse surmontant des sables grossiers stratifiés, puis 4 échantillons distants de 5m chacun entre les cotes + 50m et + 65m. - prélèvements personnels.

Oret 606: 1 échantillon fourni par SOYER (UCL) pour analyse, provenant d'un sondage du Service Géologique de Belgique.

Pisselote 4: 5 échantillons, dont un seul productif (-10.50m) provenant d'un sondage décrit pour la carte géologique de Wallonie. Prélèvements DELCAMBRE et PINGOT

Sosoye : 2 échantillons prélevés dans les couches ligniteuses terminales de la séquence argilo-silteuse affleurant dans la carrière. Les couches ligniteuses inférieures se sont révélées stériles - Prélèvements personnels.

Traitements

La méthode utilisée pour l'extraction des sporomorphes (Pollen et Spores) est celle mise au point par ERDTMAN (1960).

Les échantillons concassés et pesés (10 gr) sont soumis à une attaque à l'HF 40 % avant d'être déshydratés à l'acide acétique glacial. Ils sont ensuite traités au bain-marie par un mélange acétolytique composé pour 9 parts d'anhydride acétique et 1 part d'H₂SO₄ à 95 %. Dans certains cas, lorsqu'il y a abondance de minéraux, un traitement à l'HCl 50 % à chaud est appliqué.

Entre les différentes opérations, les échantillons sont centrifugés et rincés. En fin de traitement, une filtration au millipore (tamis de 12 μ) est pratiquée avant leur conservation, sous eau, dans de petits tubes en verre.

Montage des lames

A l'aide d'une micropipette, 2 à 3 gouttes du sédiment préparé, mélangé à un dispersant (HEC), sont étalées sur un couvre-objet. Après séchage à l'étuve, ce dernier est collé avec de l'Euparal (résine) sur une lame numérotée permettant d'identifier l'échantillon. On laisse sécher ensuite durant une semaine avant de procéder à l'observation.

Comptages

Toutes les lames ont été examinées à l'aide d'un microscope POLYVAR REICHERT. Pour les échantillons riches en sporomorphes, 500 grains au minimum ont été comptés par niveau ; pour les plus pauvres, 200 grains au moins.

Analyse des résultats

La détermination des spores et des pollens a été réalisée à l'aide d'atlas palynologiques relatifs au Tertiaire en général (THOMSON, P. & PLUG, H. 1953 ; KRUTZSH, W. 1957, 1962-1970 ; POTONIE, R. 1960) mais aussi d'ouvrages ciblant de façon plus pointue certains problèmes particuliers aux flores du Néogène d'Europe occidentale et centrale et comportant des planches palynologiques (POTONIE, R., THOMSON, P.W. & THIERGART, F. 1951 ; NEUY-STOLZ, G. 1958 ; HACQUAERT, N. 1960 ; SONDAG, E. 1966 ; MEON-VILAIN, 1968 ; ZIEMBINSKA-TWORZYDLO, M., 1974 ; HOCHULI, P.A., 1978 ; THIELE-PFEIFFER, H. 1980 ; MOHR, B. 1984 ; TAKAHASHI & JUX, 1986)

La méthode utilisée pour la classification des sporomorphes du Tertiaire est une nomenclature morphographique se référant à la forme et à l'ornementation des spores et des pollens. Les taxons identifiés peuvent ensuite être rapportés à des genres de la flore actuelle, ce qui, pour le Néogène, se révèle plus aisé que pour les périodes antérieures car, dans leur grande majorité, les formes fossiles y présentent des affinités avec des genres récents.

Ces documents ont également contribué à l'établissement d'une stratigraphie des dépôts sur base des assemblages sporopolliniques mis en évidence (« Bilder » des auteurs allemands) et à la reconstitution de l'évolution de l'environnement régional au Néogène.

Macrorestes

L'analyse carpologique reprise dans le présent travail concerne le seul site de Bioul où un prélèvement serré à été réalisé tous les 5 cm.

Pour ce type d'analyse, les échantillons prélevés (5 kg par échantillon) sont dissociés au moyen de grandes quantités d'eau chaude additionnée éventuellement de carbonate de sodium pour activer la dispersion. L'opération suivante consiste en une filtration au travers de deux tamis superposés dont les mailles sont respectivement de 1 et 0,4 mm.

Les débris végétaux isolés sont ensuite triés sous une loupe binoculaire avant d'être photographiés en lumière réfléchi à l'aide d'une photo-loupe TESSOVAR ZEISS.

A Bioul, le matériel étudié, composé en majeure partie de graines ou fruits mais aussi de cônes, de rameaux et d'écaillés a été déterminé par comparaison morphologique et sa classification réalisée sur base de celle de la nouvelle flore de Belgique (DE LANGHE *et al.*, 1983) et du système proposé par CRONQUIST (1988)

Outre au site de Bioul dont nous avons assuré l'étude, il a été fait référence, dans le présent travail, à des analyses de macrorestes issus de dépôts de la région d'Andenne étudiés anciennement par LOHEST, M. (1887), GILKINET, A (1922), STOCKMANS, F. et WILLIERE, Y. (1934).

RESULTATS ET DISCUSSION

L'analyse sporopollinique des dix sites ici révisés a été réalisée dans le but d'établir une chronologie biostratigraphique des dépôts néogènes d'âge variable qu'ils renferment. Le Tableau II reprend, sous une classification morphographique, les 70 taxons recensés pour l'ensemble des sédiments analysés. Parmi ces taxons, 60 genres présents dans la flore actuelle ont pu être identifiés. Pour rendre la lecture du tableau plus aisée, nous avons opté pour une quantification simple des taxons à 3 niveaux : présent (5%<), fréquent (5-10%) et dominant (>10%).

Afin d'étoffer les conclusions de l'étude, nous avons inclus dans la discussion les travaux réalisés sur les macrorestes des sites de Bioul et d'Andenne. Il en a été tenu compte pour l'établissement du Tableau III reprenant les disparitions et apparitions marquant l'évolution de la flore au cours du temps.

Dans le cadre d'un travail de phytostratigraphie, la méthode utilisée par MAI (1991) de séparer les paléoflores en deux composants qui s'opposent, le Paléotropical et l'Arctotertiaire, a donné des résultats indéniables. Bien que critiquable, car trop réductrice (FRIIS, 1975 ; 1985) cette méthode a été largement utilisée en Europe.

Plus récemment, le système proposé par FAUQUETTE *et al.* (2007) de subdiviser une paléoflore en éléments plus différenciés (Mégathermes, Méga-Mésothermes, Mésothermes, Mésomicrothermes, Microthermes) est susceptible de donner des résultats plus affinés pour autant que les taxons repris dans les différents groupes soient en nombre suffisant.

Toutefois, pour notre interprétation paléoenvironnementale, nous avons préféré opter pour la méthode intuitive des « analogies floristiques », plus classique, considérant l'écologie des espèces éteintes comme analogues à celle des formes actuelles apparentées les plus proches. Bien que controversée (CHALONER, 1994), cette méthode a néanmoins donné des résultats valables, surtout pour l'analyse d'assemblages peu anciens comme ceux du Néogène (BOULTER *et al.*, 1993)

Dans notre analyse, trente taxons particulièrement significatifs du point de vue environnemental ont été retenus pour distinguer, sur base de leurs tolérances aux écarts de températures et de pluviosités (Tableau 4) et, par là, de certaines incompatibilités de coexistence, les milieux chauds-humides des tempérés frais à précipitations moindres. Ainsi, sur une base floristique, deux types de dépôts ont pu être séparés (Tableau 5), l'un à dominance de genres thermophiles, l'autre à dominance de taxons tempérés parmi lesquels on peut encore faire un distinguo entre mésophiles plus chauds et tempérés sensu stricto au caractère frais à froid.

Analyse d'ensemble

L'examen du tableau 2 nous indique que l'apport anémogame représenté principalement par des pollens Disaccates (Pinaceae) est important dans tous les sites étudiés. Les pourcentages cumulés de ces pollens dépassent partout au moins les 10 %.

La grande abondance des pollens Disaccates dans les sédiments est une caractéristique du Tertiaire depuis l'Oligocène (CHATEAUNEUF, 1972). Dans l'Oligocène, ils sont toutefois associés à des éléments thermophiles (ROCHE & SCHULER, 1976) alors que le Néogène d'Europe se caractérise par un ensemble où les éléments tempérés prennent progressivement de l'importance (MAI 1991).

L'assemblage palynologique représentant le mieux, de façon globale, la microflore néogène des différents sites étudiés est composé des espèces suivantes : *Leiotriletes triangulus*, *Laevigatosporites haardti* (Polypodiaceae), *Laevigatosporites discordatus* (Polypodiaceae), *Pityosporites microalatus* (Pinus), *Pityosporites labdacus* (Pinus), *Inaperturopollenites hiatus* (Taxodium, Glyptostrobus), *Inaperturopollenites polyformosus* (Sequoia), *Graminidites* fsp (Poaceae), *Triatriopollenites rurensis* (Myrica), *Triatriopollenites platycarioides* (Platycarya), *Caryapollenites simplex* (Carya), *Intratriporopollenites instructus* (Tilia), *Polyporopollenites undulosus* (Ulmus), *Periporopollenites stigmosus* (Liquidambar), *Polyvestibulopollenites verus* (Alnus), *Tricolporopollenites henrici* (Quercus), *Tricolporopollenites asper* (Quercus), *Tricolporopollenites cingulum* (Castanea), *Tricolporopollenites kruschi* (Nyssa), *Tricolporopollenites iliaceus* (Ilex), *Porocolporopollenites vestibulum* (Symplocos), *Tetradopollenites* div.fsp. (Ericaceae).

A ces espèces qui constituent le fond de la microflore néogène sont associées, pour les dépôts les plus anciens, *Monocolporopollenites tranquillus* (Palmae), *Monocolporopollenites parareolatus* (Sabal), *Tricolporopollenites parmularius* (Eucommia), *Tricolporopollenites megaexactus brühlensis* (Cyrillaceae), *Tricolporopollenites edmundi* (Mastixia), *Tetracolporopollenites sapotoïdes* (Sapotaceae), *Tetracolporopollenites manifestus* (Sapotaceae), *Reevesiapollis major* (Reevesia) et, pour les plus récents, *Pityosporites absolutus* (Abies), *Pityosporites alatus* (Picea), *Zonalapollenites igniculus* (Tsuga), *Trivestibulopollenites betuloides* (Betula), *Tricolporopollenites verus* (Fagus).

Dans le tableau 2, on assiste à une évolution correspondant à la disparition d'éléments subtropicaux Mega-mésothermiques hérités de la végétation oligocène tandis qu'apparaissent progressivement des éléments Meso-microthermiques et Microthermiques représentants d'une flore tempérée (selon les appellations utilisées par FAUQUETTE et al., 2007). Cela nous a permis de définir, pour les sites étudiés, une succession correspondant à différentes périodes du Néogène. Cette succession s'établit comme suit : Florennes CM/FloRW8, Andenne, Oret, Sosoye, Onhaye, Bioul, Freyr, Pisselotte et Florennes « Berthe ».

L'âge des dépôts et leur évolution paléoenvironnementale feront l'objet de la discussion détaillée qui va suivre.

Analyse détaillée

Florennes CM/FloRW8

L'analyse de l'échantillonnage effectué en sondage et en affleurement près du camp militaire de Florennes a révélé l'insertion, dans la microflore formant la composante principale des associations sporopolliniques néogènes de taxons méga-mésothermiques tels que : *Leiotriletes wolffi* (Lygodium), *Toroisporis* fsp. (Schizeaceae), *Neogenisporis neogenicus* (Cyatheaceae), *Triatriopollenites engelhardtoides* (Engelhardia), *Monocolporopollenites tranquillus* (Palmae), *Monocolporopollenites parareolatus* (Palmae : Sabal), *Tricolporopollenites megaexactus brühlensis* (Cyrillaceae), *Tricolporopollenites edmundi* (Mastixia), *Tetracolporopollenites sapotoïdes* (Sapotaceae), *Reevesiapollis major* (Reevesia).

A ceux-ci sont associés des éléments plus mésothermiques comme *Tripoporopollenites rhenanus* (Ostrya), *Triatriopollenites magnus* (Myrica), *Tricolporopollenites parmularius* (Eucommia), *Tricolporopollenites oleoides* (Olea), alors que certaines espèces de la flore de base affirment leur présence: *Inaperturopollenites hiatus* (Taxodium, Glyptostrobus), *Caryapollenites simplex* (Carya),

Periporopollenites stigmatosus (Liquidambar), *Tricolpopollenites henrici* (Quercus), *Tricolporopollenites cingulum* (Castanea), *Tricolporopollenites kruschi* (Nyssa), *Tricolporopollenites edmundi* (Mastixia), *Porocolpopollenites vestibulum* (Symplocos).

Une évolution mineure, mais intéressante du point de vue de la stratigraphie et de l'étude de l'environnement apparaît, tant dans la séquence ligniteuse du sondage que dans l'échantillonnage de la couche argilo-ligniteuse surmontant l'affleurement. Si les assemblages sporopolliniques restent stables dans les séquences respectives, celles-ci doivent être subdivisées en deux zones distinctes sur base de la présence/absence de Monocolpopollenites: *Monocolpopollenites tranquillus* (Palmae) et *Monocolpopollenites parareolatus* (Palmae : Sabal). Pour la séquence du sondage, on distingue ainsi deux zones d'égale épaisseur : les espèces précitées étant présentes dans la couche inférieure, absentes de la couche supérieure. Dans l'affleurement, l'échantillonnage de la base (+ 3m) de la couche argilo-ligniteuse se différencie de la même façon de celui du sommet (+ 4m). En outre, à la base de la zone inférieure du sondage a été identifié, en faible pourcentage, du pollen de *Milfordia* (Restionaceae), ce qui soulignerait le passage de l'Oligocène au Miocène. A signaler toutefois qu'on n'y a pas repéré les marqueurs types de l'Oligocène, *Boehlensispollis* et *Slowakipollis*, encore présents dans le Chattien de Campine (E.RUSSO-ERMOLLI, 1990).

Bio-stratigraphie

L'attribution des dépôts organiques de Florennes CM au Miocène inférieur peut se justifier par référence aux études des auteurs allemands sur les lignites du Rhin. Dans les années cinquante, des travaux très élaborés ont été réalisés sur la question par WEILAND, 1948 ; POTONIE et al., 1951 ; REIN, 1951 ; THIERGART, 1951 ; THOMSON, 1951, 1955 ; THOMSON & REIN, 1951 ; THOMSON & PFLUG, 1952, 1953 ; WEYLAND et al. 1954 ; NEUY-STOLZ, 1958 ; TEICHMULLER, 1958. Des travaux complémentaires ont été réalisés plus récemment par von der BRELIE, 1967, 1968, von der BRELIE et al. 1981 ; MOHR, 1984.

Les anciens auteurs fixaient la base des Rheinischen Braunkohle dans une phase de transition « Chatt-Aquitain » bien que la flore n'y ait déjà plus un caractère Oligocène. Y dominent les taxons suivants : *Tripoporopollenites rhenanus* (Ostrya), *Triatriopollenites engelhardtoides* (Engelhardia), *Tricolpopollenites henrici* (Quercus), *Tricolporopollenites cingulum* (Castanea), *Tricolporopollenites villensis* (Castanopsis). La microflore s'étoffe ensuite avec la progression de *Leiotriletes* sp. (Lygodium), *Inaperturopollenites hiatus* (Taxodium, Glyptostrobus), *Inaperturopollenites polyformosus* (Sequoia), *Caryapollenites simplex* (Carya), *Periporopollenites stigmatosus* (Liquidambar), *Tricolporopollenites kruschi* (Nyssa) et l'apport de *Monocolpopollenites tranquillus* (Palmae), *Monocolpopollenites parareolatus* (Palmae : Sabal), *Tricolporopollenites megaexactus brühlensis* (Cyrillaceae), *Tricolporopollenites marcodurensis* (Cissus, Parthenocissus), *Tricolporopollenites edmundi* (Mastixia), *Tetracolporopollenites sapotoides* (Sapotaceae), *Tetracolporopollenites manifestus* (Sapotaceae). Dans la série ligniteuse du Rhin, la microflore évoluerait, selon THOMSON (1951), de l'Aquitainien à l'Helvétien, par perte ou raréfaction progressive de ces derniers éléments.

Sur base des espèces représentées dans notre échantillonnage de Florennes CM/FloRW8, la microflore s'apparente à celle décrite pour l'Aquitainien des Rheinischen Braunkohle (THOMSON et PFLUG 1953 ; von der BRELIE, 1967). Toutefois, comme une comparaison ne s'avère pas possible avec le stratotype de l'étage dont les terrains sont peu propices à la conservation de la matière organique, sauf pour ce qui concerne les Disaccates (SIVAK & CARATINI, 1973), nous situons nos dépôts, de façon moins formelle, à la base du Miocène inférieur.

Paléoenvironnement

Les études de SITTLER (1967) dans les fossés rhénan et rhodanien ont montré que la base du Miocène est caractérisée par un réchauffement climatique qui se marque dans les associations microfloristiques au niveau de l'Aquitainien par l'apparition massive

d'*Engelhardia* et autres formes chaudes telles des Palmae, des Lauraceae, des Oleaceae. Le même phénomène a été signalé par SCHULER (1967). CHATEAUNEUF (1972), dans une étude palynologique de couches attribuées à l'Aquitainien dans une coupe levée à Carry-le-Rouet (Bouches-du-Rhône ; France), mentionne, pour la base de la séquence dans laquelle on retrouve la flore habituelle du Miocène inférieur, la présence, parmi les conifères identifiés, d'*Abies*, de *Picea* et de *Tsuga*, genres plus froids qui disparaissent vers le haut de la coupe, pour céder la place au seul genre *Pinus*. L'auteur estime donc que la phase chaude signalée par SITTLER a dû être précédée d'une période favorable à la progression de genres dits « arcto-tertiaires » au début du Néogène. Un tel coup de froid, pré-réchauffement aquitainien, est aussi signalé par MAI (1967) et par ZIEMBINSKA-TWORZYDLO (1974) à la base de séries néogènes de l'ex-DDR et de l'ouest de la Pologne. Ce phénomène était, de fait, déjà implicitement reconnu pour la période dite « Chatt-Aquitain » des Rheinischen Braunkohle avec la dominance, à la base, d'espèces mésothermiques.

La comparaison avec le stratotype de l'Aquitainien, quasi stérile en sporomorphes, s'avère difficile. Signalons toutefois que SIVAK et CARATINI (1973) ont pu y repérer des espèces de Pinaceae, dont *Cathaya*, genre de Chine subtropicale, et des taxons américains : *Pinus engelmanni* et *Pinus monticola*, espèces tempérées froides des régions montagneuses de l'ouest ainsi que : *Pinus densa*, *Pinus echinata*, *Pinus rigida*, *Pinus strobus* et *Pinus taeda*, espèces tempérées à tempérées chaudes de l'est.

L'analyse pollinique des sites de Florennes CM, où les éléments chauds » (70%) l'emportent sur les tempérés (30%) évoque un paysage de forêts inondées à *Taxodium* et *Nyssa*, de tourbières à végétation buissonnante à Cyrillaceae-Myricaceae, de bords des eaux à Palmiers (Sabal) et *Alnus*, d'atterrissements exondés envahis par les *Liquidambar*, *Mastixia*, *Symplocos*, *Sapotaceae*, *Sequoia* et un arrière pays collinéen occupé par une forêt humide à *Carya*, *Engelhardia*, *Platycarya*, *Castanopsis*, *Eucommia*, *Ilex*, *Olea*, *Ostrya*, *Quercus*, *Reevesia*, *Tilia*, *Ulmus*, avec des zones plus sèches envahies par des Pins, élément forestier dominant, et des Ericaceae. Ce type de milieu fait penser aux formations forestières humides de basse altitude de l'Est des Etats-Unis. Certains auteurs ont évoqué, à titre de comparaison, les Everglades de Floride mais cela semble peu probable car on ne se trouve pas ici dans une végétation sub tropicale à mangroves. Tout au plus pourrait-on invoquer un milieu de type « Bayous » de Louisiane. Toutefois, comme TEICHMULLER (1958), nous envisageons plutôt un climat de Géorgie ou de Caroline du sud où les températures estivales peuvent frôler les 40°C tandis que les températures hivernales restent positives, sous des précipitations annuelles de 1500-1900 mm. Pour ce qui concerne les associations sans palmiers, le climat estimé serait semblable à celui de la Caroline du Nord où les températures atteignent les 30°C en été, alors qu'en hiver, elles peuvent être très légèrement négatives (-2°C) avec des précipitations de l'ordre de 1300-1500 mm/an. Avec une telle configuration floristique et sous des climats semblables, on se trouverait donc à Florennes CM-FloRW8 dans la phase chaude de l'Aquitainien évoquée par SITTLER (1967).

Andenne

Autrefois, la région d'Andenne comptait quantité d'exploitations d'argiles plastiques extraites en surface et en profondeur. Souvent, en creusant puits et galeries, les ouvriers rencontraient, sur plusieurs mètres d'épaisseur, des couches de lignites amorphes ou le plus souvent xyloïdes que, en jargon du métier, on appelait « machuria ». De longue date, les macrorestes inclus dans les lignites amorphes et les fragments de troncs, parfois imposants, des lignites xyloïdes ont été étudiés par divers auteurs.

En 1887 déjà, LOHEST procédait à l'observation d'une argile ligniteuse brun-noir issue d'une galerie de Champseau. Il a pu identifier des restes de *Sequoia*, *Lygodium*, *Acer*, *Alnus*, *Cinnamomum*, *Gardenia* et *Myrica*. Par comparaison avec des flores du Devonshire et de Suisse, l'auteur attribue au gisement, selon lui d'origine lacustre, un âge aquitainien.

En 1922, GILKINET a repris l'analyse, en la complétant. Il a ainsi relevé la présence d'empreintes de feuilles et de rameaux de *Lygodium*, *Sequoia*, *Taxodium*, *Acer*, *Alnus*,

Cinnamomum, *Gardenia*, *Hyppophaë*, *Ilex*, *Myrica*, *Nyssa*, *Ostrya*, *Phragmites*, *Populus*, *Stratiotes* ainsi que des cônes de *Pinus laricio*, *Pinus pinaster* et *Pinus sylvestris*. Tout comme LOHEST, GILKINET attribue à cette flore un âge aquitainien.

En 1934, STOCKMANS et WILLIERE ont analysé des bois fossiles provenant respectivement des sites de « La Triche » à Andenne, de « Francesse » à Gesves et de la fosse du « Pont du Vicinal » à Coutisse. Les bois provenant du machuria de « La Triche » ont été identifiés comme étant du *Juniperoxylum silesiacum* Prill., bois à structure de Cupressinée présentant des affinités avec le genre actuel *Juniperus*. Toutefois, les auteurs n'excluaient pas une certaine ressemblance avec du *Sequoia*. Le bois récolté dans l'argile plastique (et non dans un machuria) de Gesves a été déterminé comme *Pinuxylon pinastroides* Kraus et attribué à l'espèce actuelle *Pinus pinaster* dont GILKINET avait déjà découvert des cônes à Champseau. Enfin, l'échantillon de Coutisse, issu lui aussi de l'argile plastique a été identifié comme étant *Palmoxylon bacillare* Brongn., s'apparentant à celui décrit par JURASKY (1930) pour les Niederrheinischen Braunkohle. C'est, à ce jour, le seul macroreste de palmier connu des dépôts de la région d'Andenne et aussi le dernier représentant des Palmae dans le Cénozoïque belge. Pour ces différents gisements STOCKMANS et WILLIERE hésitaient quant à l'âge à leur attribuer : Oligocène ou Miocène.

En 1960, STOCKMANS a procédé à une étude palynologique sommaire de la couche de lignite amorphe d'environ 3m d'épaisseur formant la partie supérieure du « grand machuria » de Champseau. Après analyse, l'auteur hésite entre un âge oligocène ou miocène ; mais, sur base de la légende de la carte géologique de Belgique de 1929 qui attribuait aux Argiles d'Andenne un âge oligocène, il opte pour ce dernier. Or il apparaît nettement, d'après l'assemblage pollinique figuré dont sont absents les taxons mégathermes caractérisant l'Oligocène et les marqueurs types de l'étage, *Boehlensipollis* et *Slowakipollis* (*Syncolporites* fsp in : RUSSO-ERMOLLI, 1990), qu'il s'agit d'une flore plus récente. Après avoir revu l'échantillonnage étudié par STOCKMANS, nous avons déjà eu l'occasion de souligner la chose (RUSSO-ERMOLLI, 1990).

Bio-stratigraphie

Fin des années 80, nous avons repris l'échantillonnage réalisé par STOCKMANS dans la couche ligniteuse amorphe du « grand machuria » de Champseau pour en faire une étude palynologique détaillée.

Il est apparu que l'assemblage sporopollinique était, en plus étoffé, semblable à celui de Florennes CM. Toutefois, l'absence de pollen de Palmier, genre seulement repéré comme macroreste dans une argile plus ancienne que le machuria (STOCKMANS, 1934) fait que la séquence de Champseau serait à mettre en corrélation avec la Zone II de Florennes (CM/FloRW8). A Champseau, on observe cependant, outre la dominance toujours marquée des Disaccates de type *Pinus*, la progression de *Inaperturopollenites hiatus* (*Taxodium* ; *Glyptostrobus*), *Tricolporopollenites henrici* (*Quercus*), *Tricolporopollenites cingulum* (*Castanea*), *Tricolporopollenites megaexactus brühlensis* (*Cyrillaceae*), *Tricolporopollenites edmundi* (*Mastixia*), *Tricolporopollenites kruschi* (*Nyssa*), *Tricolporopollenites iliacus* (*Ilex*), *Porocolporopollenites vestibulum* (*Symplocos*) et l'apparition d'espèces non repérées à Florennes CM, *Polyporopollenites stellatus* (*Pterocarya*), *Monocolporopollenites serratus* (*Sciadopytis*), *Tricolporopollenites villensis* (*Castanopsis*), *Tricolporopollenites microreticulatus* (*Fraxinus*), *Tricolporopollenites marcodurensis* (*Cissus* ; *Parthenocissus*), *Tricolporopollenites vegetus* (*Hedera*), *Tricolporopollenites lasius* (*Araliaceae*), *Rhuspollenites ornatus* (*Anacardiaceae*).

Au vu de l'analyse qui précède, il est évident que cette microflore n'a pas un caractère oligocène comme le proposait STOCKMANS (1960). Non seulement on n'y retrouve pas les marqueurs *Boehlensipollis* et *Slowakipollis*, évoqués plus haut, mais certains éléments mégathermes propres à la flore oligocène comme, notamment, *Dicolpopollis kockeli* (*Calamus*), *Psilatricolporites psilatus* (*Diospyros*), *Scabratricolporites scheffleroides* (*Schefflera*), *Verrutricolporites theaceoides* (*Gordonia*), *Psilastephanocolporites mimusopsoides* (*Mimusops*) sont absents.

La comparaison avec la microflore de la Zone II de Florennes CM permet de considérer celle de Champseau comme du Miocène inférieur qui serait légèrement plus récent. On pourrait évoquer du Burdigalien mais comme le stratotype de cet étage, plus encore que celui de l'Aquitainien, est sporopolliniquement stérile, on se limitera à classer la microflore de Champseau dans le Miocène inférieur.

Paléoenvironnement

Du point de vue paléoenvironnemental, le milieu s'apparente à celui bien connu de la « Hauptflöz » des Reinischen Braunkohle décrit en détails par TEICHMULLER (1958). En 1974, P. DUVIGNEAUD, y a ajouté un commentaire sur la signification écologique d'un tel environnement, considérant un blocage du cycle du carbone sous forme d'une organomasse énorme de lignite. Le paysage d'Andenne (Champseau), dont les Palmiers sont absents alors qu'ils sont encore modérément représentés dans les dépôts rhénans, souvent par des troncs (NEUY-STOLZ, 1958), est celui de vastes plaines marécageuses entourées de reliefs vraisemblablement peu prononcés, à l'image des grands marais du sud-est des Etats-Unis. Les tourbières basses à herbacées et les surfaces d'eau libre y occupent une faible surface, seulement représentés en pollen par *Sparganium* et *Typha*, en macrorestes par des Phragmites et des plantes flottantes comme *Stratiotes* et *Salvinia*. Par contre, les forêts marécageuses à *Taxodium* et *Nyssa*, fréquemment submergées, et les marécages à Myricaceae et Cyrillaceae qui le sont moins souvent paraissent couvrir de grandes étendues ; en atteste l'importance de ces taxons dans le spectre pollinique. Les milieux exondés occupés par des *Sequoia*, *Liquidambar*, *Symplocos* et *Sciadopitys* dans les zones humides, par des Pins dans les endroits plus secs forment un élément important du paysage des basses terres. On remarque aussi l'importance des *Quercus*, colonisateurs de levées naturelles dans ce genre de milieu. Quant à la flore régionale occupant l'environnement collinéen, elle était composée principalement de Juglandaceae (*Carya*, *Engelhardia*, *Platycarya*, *Pterocarya*) associées à des Anacardiaceae (*Rhus*), Araliaceae, Aquifoliaceae (*Ilex*), Betulaceae (*Ostrya*, *Carpinus*), Castaneaceae (*Castanea*, *Castanopsis*), Cornaceae (*Mastixia*), Eucommiaceae (*Eucommia*), Fagaceae (*Quercus*), Lauraceae (*Cinnamomum*), Oleaceae (*Fraxinus*, *Olea*), Tiliaceae (*Tilia*), Ulmaceae (*Ulmus*), Vitaceae (*Cissus*, *Parthenocissus*). Les Pins entraient en concurrence avec ces feuillus dans les endroits clairiérés et plus secs. La flore constituant cet ensemble a encore un caractère chaud, ne comptant, comme à Florennes, pas plus de 30% d'espèces typiquement tempérées, et donc, s'apparentant à un climat tempéré chaud et humide, à tendance subtropicale à fortes températures estivales et à hivers doux.

Oret 606

Un échantillon de lignite sus-jacent aux sables marins éo-oligocènes d'un sondage réalisé à Oret et étudié par SOYER (1972) avait été confié à C.SITTLER et M.SCHULER (Université de Strasbourg) pour identification du contenu sporopollinique. En refaisant l'analyse, nous y avons rencontré une microflore semblable à celle des sites précédents mais appauvrie. Les Disaccates de type *Pinus* y sont toujours dominants ; par contre, les *Inaperturopollenites* (Taxodiaceae) sont en recul, de même que *Inaperturopollenites polyformosus* (*Sequoia*) et *Porocolpopollenites vestibulum* (*Symplocos*). Si la plupart des espèces rencontrées précédemment sont présentes en faible pourcentage, on constate cependant une certaine progression de *Triatriopollenites rurensis* (Myricaceae), *Triatriopollenites engelhardtoides* (*Engelhardia*), *Triatriopollenites platycarioides* (*Platycarya*) et des *Tetradopollenites* (Ericaceae). *Reevesiapollis* est absent mais on observe encore la présence de *Tricolporopollenites megaexactus brühlensis* (Cyrillaceae) et de *Tetracolporopollenites sapotoides* (Sapotaceae). De ce fait, un âge Miocène inférieur doit encore être attribué à cet échantillon car ces derniers taxons ne sont plus présents dans les terrains plus récents de l'Helvétien (= Langhien, base du Miocène moyen) où sont plus fréquents des taxons tempérés comme l'ont montré les travaux de MEON-VILAIN (1968, 1971, 1979) sur cet étage. Cependant, contrairement à SITTLER et

SCHULER, qui pensaient à de l'Aquitaniens, nous situerions plutôt l'échantillon à la fin du Miocène inférieur.

Pour ce qui est de l'environnement, on peut imaginer un paysage assez ouvert de tourbières à Myricaceae-Cyrillaceae relativement développées avec des forêts inondées à Taxodiaceae moins étendues que précédemment, entourées d'une forêt collinéenne où les *Pinus*, *Engelhardia*, *Platycarya* et *Carya* seraient les espèces dominantes, le tout se développant sous un climat encore sensiblement chaud et humide.

Sosoye

Des échantillons provenant de l'ensemble argilo-ligniteux surmontant les sables blancs de la base de la coupe de Sosoye et des lignites inclus dans l'argile silteuse de son sommet ont été analysés mais seuls ces derniers ont livré des sporomorphes (Figure 3).

L'assemblage palynologique de Sosoye est assez proche de celui d'Oret ; comme différence, on enregistre seulement la disparition de *Tetracolporopollenites sapotoides* (Sapotaceae) et l'apparition de *Multiporopollenites maculosus* (Juglans). Du point de vue stratigraphique, la fin du Miocène inférieur nous semble la période appropriée pour le sommet de la séquence de Sosoye.

Du point de vue environnemental le milieu apparaît toutefois sous un autre jour qu'à Oret ; les zones tourbeuses à Myricacées semblent encore assez étendues dans les dépressions alors que la forêt à *Taxodium-Nyssa* semblerait confinée à de rares marges inondées. Par contre, la forêt occupant les zones bordières des dépressions est en expansion comme l'atteste la progression des Pins, des Juglandaceae (*Carya*, *Engelhardia*, *Platycarya*, *Juglans*), des Fagaceae (*Quercus*), des Cornaceae (*Mastixia*) et des Symplocaceae (*Symplocos*). Les bords des eaux étaient occupés par des Aulnaies bien développées (*Alnus*). L'épanouissement d'une telle végétation forestière ne pouvait se faire que sous un climat toujours chaud et humide.

Avec respectivement 35% à Oret et 40% à Sosoye de taxons tempérés présents dans les assemblages palynologiques, la flore acquiert un caractère moins thermophile que celui de Florennes et de Champseau.

Onhaye

L'échantillonnage de la masse argilo-ligniteuse à plantes du site de Onhaye a livré une microflore originale différente de celle reconnue dans les sites précédents. A l'analyse, il est apparu que cette microflore ne subit guère de variations majeures tout au long de la séquence étudiée, ce qui permet de la considérer de façon globale tant du point de vue stratigraphique que du point de vue environnemental.

Bio-stratigraphie

Bien que la majorité des taxons reconnus dans les sites précédents y soient encore présents, certaines disparitions et apparitions permettent de distinguer fondamentalement la microflore de Onhaye de celle enregistrée précédemment. Ainsi, la disparition de *Tricolporopollenites magaexactus brühlensis* (Cyrillaceae) et de *Tetracolporopollenites sapotoides* (Sapotaceae), l'absence de *Tricolporopollenites liblarensis* tout comme la raréfaction de *Reevesiapollis major* (Reevesia) seulement présent à la base de la séquence, ne permet plus de ranger les dépôts organiques de Onhaye dans le Miocène inférieur. En effet, à titre de comparaison, les taxons précités sont absents de la microflore des dépôts de l'Helvétien-type (= Langhien ; base du Miocène moyen) décrite par MEON-VILAIN (1968). De même, von der BRELIE (1967) signale la raréfaction de la première espèce et la disparition de la seconde à l'Helvétien dans sa palynostratigraphie d'Europe moyenne. En outre, la raréfaction de *Tripoporopollenites rhenanus* (*Ostrya*), la présence sporadique de *Tricolporopollenites edmundi* (*Mastixia*), même si elle n'est pas négligeable, et l'apparition de *Tricolporopollenites*

verus (*Fagus*) sont des éléments significatifs de l'évolution de la flore.

Sont dominants dans la microflore de Onhaye les taxons suivants : *Pityosporites microalatus* et *Pityosporites labdacus* (*Pinus*), *Caryapollenites simplex* (*Carya*), *Polyvestibulopollenites verus* (*Alnus*) et *Porocolpopollenites vestibulum* (*Symplocos*). Y sont bien représentés : *Inaperturopollenites hiatus* (*Taxodium*), *Polyporopollenites undulosus* (*Ulmus*), *Tricolpopollenites asper* (*Quercus*), *Tricolporopollenites kruschi* (*Nyssa*). On note aussi, d'une part, la progression de *Polyporopollenites carpinoides* (*Carpinus*) et de *Multiporopollenites maculosus* (*Juglans*) et, d'autre part, la régression de *Inaperturopollenites polyformosus* (*Sequoia*), *Triatriopollenites rurensis* (*Myrica*), *Triatriopollenites engelhardtoides* (*Engelhardia*), *Triatriopollenites platycaryoides* (*Platycarya*) et *Tricolporopollenites iliacus* (*Ilex*). Cette situation est révélatrice d'une flore en mutation où les éléments tempérés (65 %) l'emportent cette fois sur les éléments méso-thermophiles (35 %), à l'inverse de ce qu'on enregistrait à la période précédente. Sur base d'une telle évolution floristique, reconnue par ailleurs (THOMSON et PFUG, 1953 ; von der BRELIE, 1968; MEON-VILAIN, 1968, 1971) et compte tenu de la présence encore sensible (+/- 35%) de taxons à affinités tertiaires (absents de la flore d'Europe actuelle - MEON-VILAIN 1968) la position stratigraphique du dépôt lacuste-palustre de Onhaye se situerait au Serravalien, opinion qui avait déjà été avancée antérieurement (RUSSO-ERMOLLI, 1990 ; 1991).

Paléoenvironnement

Pour la reconstitution du paléoenvironnement de Onhaye, on peut s'inspirer du modèle produit par GREGOR (1982) reprenant une reconstitution de GREGOR et van der BURGH (1976) pour le Miocène moyen de Schwandorf (Bavière). Sur les berges d'une étendue lacustre d'eau libre, bordée de plantes aquatiques (*Sparganium*, *Typha*), se développaient de petites tourbières à Myricaceae envahies par les aulnaies ; celles-ci formant aussi la végétation ripicole des cours d'eau alimentant le lac. Les zones inondées de la plaine alluviale de la paléo-Meuse (GIROLIMETTO, 1982 ; DEMOULIN, 1993) étaient envahies par une forêt marécageuse à *Taxodium*, *Glyptostrobus* et *Nyssa* encore bien présente dans le paysage alors que des *Liquidambar*, *Sequoia* et *Sciadopitys* en occupaient les éminences exondées. Les reliefs entourant la dépression lacustre étaient couverts par une forêt hétérogène constituée principalement de Pinaceae (*Pinus*), de *Caryas* et de *Symplocos*, taxons largement dominants dans l'ensemble. On trouvait, sur les bas de pentes humides, *Carpinus*, *Fraxinus*, *Liquidambar*, *Nyssa*, *Ostrya*, *Pterocarya*, *Salix* et *Ulmus* tandis que sur les zones plus élevées, cohabitaient *Carya*, *Castanea*, *Cissus*, *Corylus*, *Engelhardia*, *Ilex*, *Juglans*, *Pinus*, *Platycarya*, *Quercus*, *Symplocos*, *Tilia* et des Ericaceae. Dans cet ensemble, qualifié de « mésophyte » par GREGOR et van der BURGH (1976), on voit poindre les premiers *Fagus* alors que *Mastixia* devient sporadique et que *Reevesia* est en voie de disparition.. A noter que la présence marquée de *Symplocos*, genre intertropical humide, voit le caractère « thermophile » qu'on pourrait lui attribuer, être atténué du fait que le genre connaît, dans la nature actuelle, une large distribution dans les zones montagneuses.

Une telle composition floristique où dominent les éléments tempérés mais où les éléments « chauds » ne sont pas rares, pourrait correspondre à un climat de type « Virginie » actuel avec des températures estivales moyennes dépassant les 25°C et des températures hivernales légèrement négatives (-5°C) facilement supportables par tous les taxons présents, sous des précipitations de 1200 à 1400 mm/an.

Bioul

Le dépôt à allure « varvaire » de Bioul a fait l'objet d'un échantillonnage serré : tous les 5cm sur une hauteur de 1,60m. Toutefois, comme à Onhaye, l'analyse palynologique n'a révélé aucun changement notable sur toute la hauteur du profil (BOXUS, 1989 ; STAMBOULI, inédit). On peut donc considérer l'analyse dans son ensemble.

Bio-stratigraphie

L'analyse palynologique souligne davantage ici l'évolution de la microflore telle qu'amorcée à Onhaye. Ainsi, on notera parmi les espèces dominantes *Pityosporites microalatus* (*Pinus*) et *Polyporopollenites carpinoïdes* (*Carpinus*) alors que s'affirme la présence de *Triporopollenites coryloïdes* (*Corylus*), *Tricolpopollenites henrici* (*Quercus*), *Tricolporopollenites cingulum* (*Castanea*), *Tricolporopollenites verus* (*Fagus*), ce dernier genre étant en nette progression. Parallèlement on assiste au recul de *Inaperturopollenites hiatus* (*Taxodium*, *Glyptostrobus*), *Triatriopollenites rurensis* (*Myrica*), *Triatriopollenites engelhardtioïdes* (*Engelhardia*), *Triatriopollenites platycarioïdes* (*Platycarya*), *Tricolporopollenites kruschi* (*Nyssa*), *Porocolpopollenites vestibulum* (*Symplocos*) tandis que *Tricolporopollenites edmundi* (*Mastixia*) en est au stade de la disparition. Au rayon des apparitions, il faut citer : *Pityosporites absolutus* (*Abies*), *Pityosporites alatus* (*Picea*) et *Zonalapollenites igniculus* (*Tsuga*). Cet aspect des choses déjà signalé par ailleurs pour le Miocène supérieur (THOMSON et PFLUG, 1953 ; THIERGART, 1958 ; MEON-VILAIN, 1971, 1978) est lié à un rafraîchissement climatique, discuté ci-après, signalé par SITTLER (1967) pour le Tortonien ; étage auquel avait été déjà rapporté cette séquence de Bioul (RUSSO-ERMOLLI, 1991).

Paléoenvironnement

L'étude paléoenvironnementale relative aux dépôts continentaux de Bioul a été réalisée sur base de deux analyses complémentaires basées, l'une sur l'examen des macrorestes végétaux, l'autre sur la palynologie.

L'étude des macrorestes, si elle a mis en évidence un « complexe floristique » relativement diversifié (Planche VI), ne révèle comme taxons dominants qu'un groupement de plantes aquatiques (*Carex*, *Cladium*, *Cyperus*, *Monochoria*, *Nymphaea*, *Potamogeton*, *Scirpus*, *Sparganium*) ainsi que quatre genres ligneux : *Taxodium*, *Myrica*, *Carpinus* et *Pinus*. Toutes les autres espèces inventoriées ne sont présentes qu'à un très faible pourcentage dans l'assemblage floristique. Cet ensemble est essentiellement le reflet d'une flore locale constituée d'herbacées aquatiques et d'une forêt inondée à *Taxodium* formant la végétation ripicole des étendues d'eau libre. Par ailleurs, les *Myrica* reconnus ont pour proches représentants actuels des espèces colonisatrices des tourbières et des levées naturelles des grandes zones marécageuses de l'est des Etats-Unis (FRIIS, 1985), ce qui les inclut également dans la flore locale. Quant aux autres ligneux dominants, *Pinus* et *Carpinus*, leur situation avantageuse est due au fait qu'ils sont les constituants principaux de la végétation régionale, ce que confirme l'analyse palynologique. Les autres genres identifiés, fort disparates, proviendraient du déversement occasionnel, dans le milieu lacustre, d'apports organiques exogènes amenés par des cours d'eau à débit variable selon les conditions climatiques, plus rarement d'éléments dispersés par le vent.

Dispersés par le vent et par l'eau, les pollens donnent une vision plus large de la flore régionale du fait que les apports plus lointains sont archivés dans le bassin sédimentaire lacustre. Ainsi, la progression de *Fagus* et l'intrusion d'*Abies*, *Picea* et *Tsuga* dans la flore des reliefs sont peu ou pas perçues par l'étude de la macroflore au contraire de celle réalisée sur la microflore. En combinant les résultats des analyses carpologiques et palynologiques, on peut donc établir une reconstitution plus élaborée du paléoenvironnement.

L'association floristique de Bioul présente des analogies certaines avec celles étudiées par van der BURGH (1987) dans les « Indener Schichten » de Rhénanie et par FERGUSON et al. (1998) dans la série sédimentaire ligniteuse de Kreuzau qui sont rapportées au Miocène supérieur. La flore de Bioul constitue un stade évolutif de celle identifiée à Onhaye. Par rapport à cette dernière, on y recense davantage de taxons tempérés, les termophiles tombant sous 25% de représentativité (BOXUS, 1989).

Au Miocène supérieur, le paysage régional était constitué de zones basses, lacustres et palustres, entourées de reliefs de moyenne importance. Les milieux marécageux bordant l'eau libre étaient occupés par une forêt inondée à *Taxodium*, *Glyptostrobus* et *Nyssa* et des tourbières

envahies par *Myrica* et *Alnus*. Sur des levées naturelles sableuses se développait une végétation où le *Liquidambar* était associé à certains *Quercus* et à des *Ptéridophytes*. En d'autres endroits exondés, en retrait de la végétation ripicole, on notait encore la présence de *Sequoia*. Sur les reliefs, des Pins, en progression, coexistaient avec des feuillus au sein d'un ensemble hétérogène très diversifié où *Carpinus* (et non plus *Carya* comme à Onhaye) était l'élément dominant. On y recensait la présence de : *Acer*, *Betula*, *Castanea*, *Corylus*, *Ficus*, *Ilex*, diverses Juglandaceae (*Carya*, *Engelhardia*, *Juglans*, *Platycarya*), *Magnolia*, *Liquidambar*, *Platanus*, *Sciadopitys*, *Ulmus*, *Vitis* et *Symplocos* ; ce dernier sur le déclin. Cette forêt mélangée comportait aussi une strate herbacée, avec notamment, *Cotoneaster*, *Crataegus*, et *Rosa*. *Fagus* y était en expansion alors que dans l'arrière-pays, dont les reliefs devaient être assez accusés, apparaissaient discrètement *Abies*, *Picea* et *Tsuga*.

La séquence analysée à Bioul étant de type « varvaire », constituée d'une succession de lamines claires et foncées, des essais ont été tentés pour découvrir éventuellement, au travers de l'analyse pollinique, si cela répondait à une certaine rythmicité saisonnière (BOXUS, 1989 ; STAMBOULI-ESSASSI, inédit). Si de légères différences ont bien été observées, les lamines foncées renfermant légèrement plus de pollen de *Taxodium* et de *Myrica* alors que dans les lamines claires ce sont les pollens de *Pinus* et de *Carpinus* qui dominent un tant soit peu ; rien ne permet de déduire, de façon péremptoire, un quelconque effet saisonnier. Il est normal que la sédimentation calme du marécage concentre davantage du matériel palynologique de la flore ripicole alors que les micro-turbidites amènent du matériel hérité des pentes. On n'a pas ici une rythmicité nette, comme celle constatée dans le Pliocène de Villaroya en Espagne (GAUTHIER et MUNOZ, 2009, sous presse) où pour un phénomène varvaire similaire, on constate que les lamines foncées accumulent du pollen d'arbres à la fin de l'hiver et au printemps et les lamines claires du pollen d'herbacées en été et au début de l'automne. A Bioul, l'existence d'une rythmicité saisonnière trouve davantage sa confirmation dans la présence de cernes de croissance mise en évidence dans le bois d'une branche de Juniperoxydon récoltée dans le profil sédimentaire (FAIRON-DEMARET, 1992).

Pour ce qui est des considérations climatiques dans leur ensemble, MAI et WALTHER (1988) ont établi que, pour le Miocène supérieur et pour le Pliocène, le climat de l'Europe était de type tempéré humide à pluviosité élevée et dépourvu de saison aride. Le climat de Bioul au Tortonien entrerait dans la catégorie des climats frais au vu de la composition forestière de l'environnement, à dominance de feuillus tempérés. A cet égard, *Taxodium* et *Glyptostrobus* sont considérés comme indicateurs d'une température moyenne annuelle oscillant entre 13°C et 16°C (GREGOR, 1982 ; MAI et WALTHER, 1988) avec des hivers doux où la température minimale peut, exceptionnellement, descendre jusqu'à -10°C mais ne pas persister à cette température. La présence d'*Ilex* et *Vitis* impliquerait cependant l'existence d'étés chauds avec une température de plus de 20°C. (ZAGWIJN, 1975).

Freyr 506

Le seul échantillon qui ait été transmis (Freyr 506 ; SOYER, 1972) de ce site pour analyse palynologique a fourni une microflore intéressante qui s'inscrit bien dans l'évolution générale bio-stratigraphique et paléoenvironnementale des cryptokarsts de l'Entre-Sambre-et-Meuse. On passerait ici d'un milieu fluvio-lacustre à un milieu palustre, sous un climat plus tempéré, quoique encore chaud, ce que traduirait un ralentissement dans le processus de karstification (Figure 2). En ce qui concerne la bio-stratigraphie, une première étude palynologique avait été effectuée par SCHULER et SITTLER (in : SOYER, 1972) ; une révision en a été faite plus récemment par RUSSO-ERMOLLI (1990).

Bio-stratigraphie

L'analyse sporopollinique de l'échantillon précité révèle une progression importante de *Pityosporites microalatus* et *labdacus* (*Pinus*), de *Stereisporites* div. fsp. (*Sphagnum*) et de *Tetradopollenites* div. fsp. (*Ericaceae*). On note aussi la progression, dans une moindre mesure

mais affirmée, de : *Pityosporites alatus* (*Picea*), *Pityosporites absolutus* (*Abies*), *Zonalapollenites igniculus* (*Tsuga*), *Tricolpopollenites henrici* (*Quercus*), *Tricolpopollenites verus* (*Fagus*), *Tricolpopollenites iliacus* (*Ilex*), *Tricolpopollenites microechinatus* (*Asteraceae*) et *Graminidites* fsp. (*Poaceae*). Sont encore bien présents quoiqu'en retrait, *Inaperturopollenites hiatus* (*Taxodium*, *Glyptostrobus*), *Inaperturopollenites polyformosus* (*Sequoia*), *Caryapollenites simplex* (*Carya*), *Periporopollenites stigmosus* (*Liquidambar*), *Monocolpopollenites serratus* (*Sciadopytis*), *Tricolpopollenites kruschi* (*Nyssa*) et *Porocolpopollenites vestibulum* (*Symplocos*). A signaler, côté disparition, celle de *Triatriopollenites engelhardtoides* (*Engelhardia*) alors que *Triatriopollenites platycarioides* (*Platycarya*) est toujours présent mais en régression.

Sur base de cet assemblage, SCHULER et SITTLER (in ; SOYER, 1972) penchaient en faveur d'un âge Mio-Pliocène (type « Posener Bild » ; THOMSON et PFLUG, 1953) ; nous y verrions plutôt un ensemble plus spécifiquement Pliocène (von der BRELIE, 1967).

En comparant avec des microflores reconnues dans des régions voisines, ou même plus éloignées, on retrouve la même configuration sporopollinique, voire même la même tendance évolutive, dans le Brunssumien (= Zancéen) de Hollande (ZAGWIJN, 1967), le Brunssumien de la Région Bas-Rhénane (« Rheinbraun », HAGER, 1977 ; « Rotton Formation » de Hambach-Düren, van der BURGH et ZETTER, 1988), le Zancéen de Basse-Alsace (GEISSERT, 1973), le Pliocène inférieur de Bresse (JAN DU CHËNE, 1974) et jusque dans le Pliocène du Bassin de Valréas, dans la vallée du Rhône (BALLESIO et MEON-VILAIN, 1978).

Le Néogène belge est surtout connu pour ses séries marines, sa biostratigraphie est basée essentiellement sur une biozonation des Foraminifères benthiques (DE MEUTER et LAGA, 1976 ; DOPPERT et al. 1979). A partir du Pliocène, certaines corrélations peuvent toutefois être établies sur une base palynostratigraphique. Ainsi, on constate que l'assemblage palynologique défini pour Freyr 506 est conforme, bien que la représentativité des espèces diffère quelque peu, à l'assemblage décrit par HACQUAERT (1961 ; 1963) pour le Scaldisien du Hansadok de la zone portuaire d'Anvers. LAGA et LOUWYE (2006) ont montré que les limites de cette unité chronostratigraphique étaient mal définies et qu'il faut lui préférer un équivalent lithostratigraphique, la Formation de Lillo qui, sur base de l'étude des Dinoflagellés (LOUWYE et al., 2004) aurait un âge Zancéen supérieur-Piacenzien inférieur.

Paléoenvironnement

Au Zancéen (= Brunssumien), une forêt hétérogène à feuillus et à conifères au sein de laquelle ces derniers prennent de plus en plus d'importance, couvre de grands espaces en Europe occidentale (ZAGWIJN, 1967 ; JAN DU CHËNE, 1974 ; BALLESIO et MEON VILAIN, 1978 ; van der BURGH, 1978 ; GEISSERT, 1979 ; van der BURGH et ZETTER, 1998). Les Pinus occupent la place la plus importante dans cette forêt où on voit prospérer *Abies*, *Picea*, *Sciadopytis* et *Tsuga*. Les forêts marécageuses à *Taxodium* et *Nyssa* y occupent encore une place appréciable, associées à une flore ripicole d'*Alnus* et d'hydrophytes (*Carex*, *Ceratophyllum*, *Cladium*, *Nymphaea*, *Potamogeton*, *Sparganium*, *Stratiotes*, *Typha*) proche de zones humides à *Myrica* et *Liquidambar* et de terres exondées où *Sequoia* se fait plus rare. La composante feuillue caducifoliée de cette forêt est très variée ; elle comporte : *Acer*, *Betula*, *Carpinus*, *Castanea*, *Corylus*, *Fagus*, *Fraxinus*, des Juglandaceae (*Carya*, *Juglans*, *Pterocarya*), *Quercus*, *Symplocos*, *Tilia*, *Ulmus*. Selon les auteurs précités, cette flore attesterait un climat doux, tempéré plutôt chaud, à précipitations abondantes.

La microflore de Freyr, reflet de cet ensemble forestier, s'apparente à celle décrite par HACQUAERT (1961 ; 1963) pour le « Scaldisien » du Hansadok à Anvers, à cette différence que la représentativité de certains taxons comme les Taxodiaceae est moins marquée. Cela résulte du fait qu'à Freyr on se trouve dans un arrière-pays dont la côte s'est éloignée au cours du Pliocène et qu'il n'y subsiste que des espaces restreints occupés par la forêt marécageuse alors que la forêt établie sur les reliefs prend de l'ampleur.

Pisselote 4

Dans ce site quelque peu marginal par rapport à l'ensemble, un échantillon situé à -10,50 m vers la base d'une séquence silteuse gris-clair relevée en sondage a livré un spectre pollinique intéressant de par la position bio-stratigraphique qu'il suggère.

Bio-stratigraphie

L'assemblage palynologique archivé ici présente des similitudes avec celui de Freyr 506 mais qu'il importe toutefois de nuancer. Ainsi, l'expansion des *Pityosporites* se poursuit, surtout *microalatus* et *labdacus* (Pinus) et, dans une moindre mesure, de *alatus* (Picea) et d'*absolutus* (Abies) alors que *Zonalapollenites igniculus* (Tsuga) reste stationnaire. Sont aussi en progrès, *Graminidites* fsp. (Poaceae), *Tricolporopollenites microechinatus* (Asteraceae) et *Tetradopollenites* div. fsp. (Ericaceae). Par ailleurs, on assiste à la régression de *Inaperturopollenites hiatus* (Taxodium), *Inaperturopollenites polyformosus* (Sequoia), *Triatriopollenites platycarioides* (Platycarya), *Tricolporopollenites kruschi* (Nyssa) et à la disparition de *Porocolpopollenites vestibulum* (Symplocos) ; les autres taxons maintenant leurs taux de représentativité antérieurs.

Ce type d'évolution des assemblages palynologiques se retrouve dans le Reuverien de diverses régions ; en Hollande (FLORSCHUTZ, 1950 ; ZAGWIJN, 1960), dans la région Bas-Rhénane (REIN, 1951 ; « Reuver-Bild », THOMSON et PLUG, 1953), en Alsace (GEISSERT, 1979) et dans le Pliocène supérieur de Bresse (JAN DU CHENE, 1974). En Belgique, un ensemble sporopollinique analogue a été décrit par HACQUAERT (1961 ; 1963) pour le « Merxemien » du Hansadok à Anvers. Tout comme pour le « Scaldisien », LAGA et LOUWYE (2006) considèrent comme inadéquat d'attribuer un rang d'étage au « Merxemien ». D'après les travaux de DE MEUTER et LAGA (1976) et de LAGA et al. (2001) une unité lithostratigraphique « Sables de Merksem » est à inclure dans la partie supérieure de la Formation de Lillo, qui serait d'âge Pliocène supérieur. De même, BUFFEL et al. (2001) considèrent les Sables de Merksem comme du Reuverien supérieur.

Paléoenvironnement

La fin du Pliocène se caractérise par un rafraîchissement climatique (FLORSCHUTZ, 1950 ; ZAGWIJN, 1960 ; JAN DU CHENE, 1974 ; GEISSERT, 1979). Dans le milieu forestier hétérogène à feuillus et conifères, ces derniers prennent davantage d'importance alors que des milieux ouverts (landes, tourbières) commencent à envahir le paysage. Les forêts marécageuses à *Taxodium* se raréfient et les derniers taxons thermophiles sont en voie de disparition, annonçant le passage au Pléistocène et à la phase froide du Pré-Tiglien.

Florennes « Berthe »

Les trois niveaux inférieurs tourbeux de la séquence de Florennes-Berthe se sont révélés assez médiocres en contenu palynologique ce qui ne permet pas d'en réaliser une analyse sérieuse. Par contre, l'argile tourbeuse supérieure a fourni un assemblage sporopollinique particulièrement intéressant qui le distingue de tout ce qui précède.

Bio-stratigraphie

L'examen de l'échantillonnage de Florennes « Berthe » nous amène à constater que, par rapport aux assemblages palynologiques des deux sites précédents, Freyr et Pisselote 4, on observe la disparition des taxons suivants : *Inaperturopollenites hiatus* (Taxodium, Glyptostrobus), *Inaperturopollenites dubius* (Taxodiaceae), *Inaperturopollenites polyformosus* (Sequoia), *Triatriopollenites platycaryoides* (Platycarya), *Caryapollenites simplex* (Carya), *Polyporopollenites stellatus* (Pterocarya), *Multiporopollenites maculosus* (Juglans), *Periporopollenites*

stigmatosus (Liquidambar), *Intratropopollenites instructus* (Tilia), *Monocolpopollenites serratus* (Sciadopytis), *Tricolporopollenites kruschi* (Nyssa), tous encore présents au Reuverien (= Piacenzien). En concomitance, on assiste à une expansion sérieuse de *Stereisporites* div.fsp. (Sphagnum), *Pityosporites microalatus* et *labdacus* (Pinus), *Pityosporites alatus* (Picea), *Trivestibulopollenites betuloides* (Betula), *Tetradopollenites* div.fsp. (Ericaceae), tandis que sont faiblement représentés *Tripoporopollenites coryloides* (Corylus), *Polypoporopollenites undulosus* (Ulmus), *Polypoporopollenites carpinoïdes* (Carpinus), *Tricolporopollenites henrici* (Quercus) et *Tricolporopollenites verus* (Fagus).

Ce type d'évolution du spectre palynologique engage à classer les dépôts ligniteux de Florennes « Berthe » dans le Pré-Tiglien.

Paléoenvironnement

En 1950, FLORSHÜTZ, reprenant une de ses notes antérieures (FLORSCHÜTZ & VAN SOMEREN, 1948) signalait que le passage du Pliocène au Pleistocène se caractérise par une détérioration (refroidissement) climatique se traduisant par la disparition momentanée, à la base du Pléistocène, d'une série de taxons thermophiles (*Taxodium*, *Cinnamomum*, *Liquidambar*, *Magnolia*, *Nyssa*, *Sequoia*) et mésophiles (*Carya*, *Pterocarya*, *Juglans*, *Sciadopytis*, *Tilia*, *Tsuga*). Ces taxons, présents dans les dépôts reuveriens, se retrouvent par la suite dans le Tiglien, quoique de façon diffuse pour le premier groupe.

Entre ces deux périodes, au Pré-Tiglien, on assiste, au cours de ce que ZAGWIJN (1957) appelait une « cool oscillation », à une expansion importante des herbacées (Poaceae, Cyperaceae), des Ericaceae et, pour les arbres, de *Pinus*, *Picea*, *Betula* et *Alnus* (ZAGWIJN, 1960 ; VAN VOORTUYSEN et al., 1972). Le Pré-Tiglien peut ainsi être considéré comme le premier intervalle climatique à mériter d'être qualifié de « Glacial » (ZAGWIJN, 1960 ; SUC et ZAGWIJN, 1983) ; sous un climat rude, humide et très froid dont les moyennes estivales de températures se situaient sous 10°C (ZAGWIJN, 1960) se développait une végétation ouverte, constituée principalement de landes subarctiques avec passage d'un milieu palustre à un milieu de tourbières (JAN DU CHENE, 1974).

Les spectres polliniques de Florennes « Berthe » suggèrent un paysage qui s'apparente à celui proposé par ZAGWIJN. L'importance des herbacées (Poaceae, Asteraceae) évoque des milieux ouverts de landes avec des petites surfaces d'eau libre bordées de *Sparganium*, de *Typha* et d'*Alnus*, de petites tourbières basses à *Carex*, de tourbières bombées à Sphaignes et de milieux tourbeux évolués à Bouleaux et Ericaceae. Toutefois, le paysage comportait aussi des étendues boisées à dominance de Pins et de Bouleaux avec présence marquée de l'Épicéa. C'est l'avancée de la « Forêt tourbeuse boréale » (GEISSERT, 1979). Dans cet ensemble, hormis *Betula*, les autres feuillus (*Carpinus*, *Corylus*, *Fagus*, *Fraxinus*, *Quercus*, *Ulmus*) étaient peu représentés. Bien que plus tempéré que le milieu suggéré par ZAGWIJN, l'absence totale de taxons thermophiles et la faible représentativité des feuillus au sein de l'assemblage palynologique font que celui-ci évoque un paysage qui s'identifie bien au Pré-Tiglien.

SYNTHESE ET CONCLUSIONS

Le ré-examen des données palynologiques et paléo-botaniques du matériel organique présent dans une partie importante du remplissage des poches karstiques du Condroz et de l'Entre-Sambre-et-Meuse a permis d'établir une chronologie des dépôts et de reconstruire les paléoenvironnements qui leur ont donné naissance. La biostratigraphie des dix sites sélectionnés peut s'établir sur base de la disparition et de l'apparition d'une quarantaine de taxons en marge d'un ensemble de genres à caractère mésophile formant le fond commun de la végétation relevée dans les différents dépôts. Ainsi, dans les plus récents, mio-pliocènes, apparaissent des éléments plutôt tempérés froids (*Carpinus*, *Fagus*, *Betula*, *Abies*, *Tsuga*, *Picea*) annonciateurs du Pré-Tiglien alors que les dépôts les plus anciens, d'âge Miocène inférieur, se caractérisent par des assemblages à taxons thermophiles (Palmae, Cyatheaceae, Schizaceae,

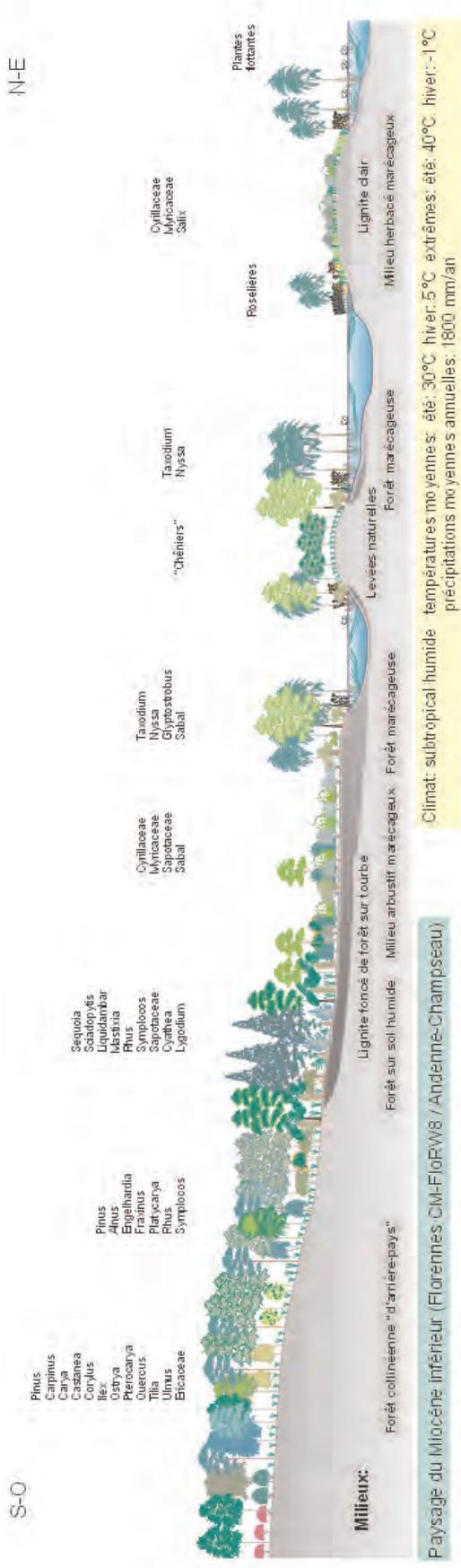


Figure 5: reconstitution des paysages correspondant aux deux périodes de karstification majeure du Miocène

E.Roche (2008)

Sapotaceae, Cyrillaceae, *Reevesia*, *Ostrya*, *Mastixia*, *Engelhardia*, *Symplocos*) disparaissant progressivement au cours du temps (Tableau 3).

Les phases majeures de remplissage en matière organique des cryptokarsts se sont déroulées au Néogène comme l'atteste la composition palynologique des différents gisements, corrélés avec ceux des principaux bassins sédimentaires régionaux d'Europe. En prenant comme référence le site de Champseau (Andenne) qui, sur base de travaux antérieurs (LOHEST, 1887 ; GILKINET, 1920 ; STOCKMANS, 1960), avait donné lieu à débat sur l'âge de remplissage de la poche (miocène pour LOHEST et GILKINET, oligocène pour STOCKMANS), on a constaté en réévaluant l'archivage palynologique (RUSSO-ERMOLLI, 1990) que ce dernier diffère fondamentalement de ceux reconnus pour l'Oligocène de Belgique (ROCHE et SCHULER, 1976, 1979). Non seulement les marqueurs-types oligocènes font défaut dans le spectre pollinique, mais la flore révélée par l'analyse se différencie par ses spécificités écologiques des flores oligocènes, plus riches en taxons mégathermes.

Contrairement aux idées reçues, les remplissages des poches karstiques ne sont pas échelonnés de façon aléatoire au cours du Néogène. Il semblerait plutôt que les principales phases de piégeage de la matière organique correspondent à des périodes particulières de karstification majeure. On pourrait ainsi distinguer deux phases principales, datées par la palynologie, l'une se situant au Miocène inférieur (Florennes CM/FloRW8, Andenne-Champseau, Oret 606, Sosoye), l'autre au passage Miocène moyen - Miocène supérieur (Onhaye, Bioul). Une capture plus inégale de matière organique se poursuivrait ensuite, au Pliocène, dans un contexte de karstification nettement ralenti. Par ailleurs, les qualités du matériel piégé ne sont pas uniformes ; elles seraient fonction de l'environnement régional et des conditions climatiques au moment de son enfouissement. Ainsi, la matière organique xylloïde (« machuria ») bien conservée des gisements de Florennes CM et de Champseau correspondrait à une fossilisation lente, en milieu anaérobie sous climat subtropical, dans un environnement de forêts inondées et de grands marécages tributaires de la subsidence de la basse vallée rhénane alors que le moins bon état de conservation des débris ligneux des dépôts de Onhaye et de Bioul serait dû à un environnement lacustre-palustre perturbé par un ruissellement local et des apports fluviaux irréguliers sous un climat tempéré chaud à saisons contrastées.

Complémentaire à la chronologie des différents sites étudiés, la combinaison des analyses des micro- et des macrorestes des gisements autorise une reconstitution paléoenvironnementale du Néogène régional. Du Miocène inférieur à la fin du Pliocène, le climat évolue progressivement d'un stade subtropical humide à celui de tempéré frais. En atteste l'évolution des assemblages floristiques qui, au Miocène inférieur comptent encore de 70 à 60% d'éléments thermophiles ; ceux-ci se réduisent au Miocène moyen à 35-30 % et au Miocène supérieur à moins de 25%. Au Pliocène, la flore comporte encore des éléments « chauds » mais, en fin de période, ils n'apparaissent pratiquement plus qu'à l'état de reliques dans un ensemble à forte connotation tempérée.

Les paysages évoqués par les paléoflores des dépôts piégés lors des deux phases de karstification majeure peuvent être reconstitués selon les schémas proposés à la figure 5, en s'inspirant des reconstitutions antérieures de TEICHMULLER (1958) et de GREGOR (1982).

Pour le Miocène inférieur, il s'agit d'un écosystème complexe, fixateur de carbone, ayant contribué à l'époque à la formation des imposants gisements de lignite de la basse vallée du Rhin. Ce genre d'environnement existe encore aujourd'hui, sous climat subtropical humide, dans le sud-est des Etats-Unis. Il s'agit de larges vallées marécageuses, parcourues par des cours d'eau divagants et constituées de tourbières basses à végétation herbacée, de forêts fréquemment inondées bordières des surfaces d'eau libre, de levées naturelles à « chêniers », de milieux exondés humides à couverture arbustive ou forestière de caractère thermophile et d'un arrière-pays, aux reliefs peu prononcés, occupé par une forêt hétérogène de Pins et de feuillus de tendance mésophile.

Au Miocène supérieur, le paysage présente un aspect essentiellement différent du précédent. L'assemblage floristique, mixage de taxons encore « chauds » associés à des genres plus tempérés devenus majoritaires, révèle l'existence d'un environnement offrant, en plus

« ramassé », une certaine ressemblance avec ceux que l'on rencontre dans l'Est des États-Unis, entre la plaine côtière et la chaîne des Appalaches. D'une plaine alluviale à végétation marécageuse, on passe par des forêts humides de piedmont à un arrière-pays légèrement montagneux à végétation mixte de feuillus et de résineux selon un dénivelé de 700 à 1000 m. Dès lors, l'arrière-pays de la plaine alluviale de la paléo-Meuse pouvait donc, au Miocène supérieur, présenter un aspect collinéen prononcé, sinon sub-montagnard.

Toutes les informations concernant la bio-stratigraphie, la chronologie des événements et l'évolution des paléoenvironnements néogènes sont condensées dans le tableau 6 annexé.

REMERCIEMENTS

Dix ans de recherches, partiellement relatées ici, ne peuvent se concevoir sans de nombreux appuis, sur le terrain, au sein des Universités dont les laboratoires ont collaboré activement, encore moins sans les fonds nécessaires à l'activité des doctorants et scientifiques impliqués. Aussi nous est-il agréable de remercier toutes les personnes qui ce sont intéressées à nos travaux et nous ont autorisés à parcourir leurs propriétés, et plus particulièrement Mr le Baron Guillaume de Giey (Weillen) et Mr Michel Berthe (Florennes). Notre reconnaissance s'adresse également au FNRS qui nous a octroyé deux financements majeurs (contrats FRFC n°2.9007.89 et n°2.4540.99) qui ont mobilisé les compétences, outre de la FPMs, de l'ULB, de l'UGent, de l'ULg, de l'IrScNB et du MRAC. Ces projets scientifiques axés sur la géologie de la surface et les altérations, ont favorisé une collaboration étroite avec l'Université d'Orsay notamment dans le cadre d'accords de co-tutelle de thèse avec la FPMs, par ailleurs soutenus par les échanges « Tournesol » du CGRI. A l'ULg, le Troisième Cycle en Stratigraphie, aujourd'hui disparu, a grandement contribué à la promotion de recherches de qualité qui se sont révélées d'une grande utilité dans le cadre de la présente mise au point. Certaines études pointues sur les karsts de l'ESEM ont été supportées par ONDRAF/NIRONG dans le cadre de la documentation d'analogues naturels. Nous en savons gré aux collègues alors en fonction. Au cœur des questions des paléoaltérations, le projet de prospection de l'halloysite financé par la Région Wallonne a été d'un apport déterminant. Enfin, nous remercions tous ceux qui, de près ou de loin, dans les laboratoires impliqués, ont soutenu nos initiatives.

BIBLIOGRAPHIE

- ANDERSON, R.Y. & DEAN, W.A. 1988. Lacustrine varve formation through time. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 62 : 215-235
- BALLESIO, R. & MEON-VILAIN, H. 1978. Le Néogène supérieur du Bassin de Valréas : étude stratigraphique et palynologique des formations de la basse vallée de l'Eygues (Drôme, Vaucluse). *Docum. Lab. Géol. Fac. Sci. Lyon*, 72 : 49-69
- BOULTER, M.C., HUBBARD, R.N.L.B. & KVACEK, Z. 1993. A comparison of intuitive and objective interpretations of Miocene plant assemblages from North Bohemia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 101 : 81-96
- BOXUS, P. 1989. Palynologie quantitative du Tertiaire de Bioul (Entre-Sambre-et-Meuse, Belgique). Mémoire de Licence, ULg, 69 p.
- BROUARD, E. 1992. Etude des cryptokarsts tertiaires de la Forêt de la Bessède (Périgord, France) et de l'Entre-Sambre-et-Meuse (Belgique) : lithologie, géochimie, néogénèse et évolution des systèmes karstiques. Thèse de Doctorat en Sciences. Université de Paris XI - Orsay, 270 p.
- BUFFEL, P., VANDENBERGHE, N., GOOLAERTS, S. & LAGA, P. 2001. The Pliocene sediments in 4 boreholes in the the Turnhout area (North-Belgium): the relationship with the Lillo and Mol Formations. *KUL. Aardk. Mededel.*, 11 : 1-8
- CALEMBERT, L. 1942. Le gisement de Try-dô-Baur (Naninne) et l'affaissement des terres plastiques dans les poches de dissolution du calcaire carbonifère. *Ann.Soc.Géol.Belgique*, 65 : 221-230
- CALEMBERT, L. 1945. Les gisements de terres plastiques et réfractaires d'Andenne et du Condroz Imprimerie H.Vaillant-Carmanne, S.A., Liège : 204 p.
- CALEMBERT, L. 1947. Les argiles plastiques et réfractaires de la Haute Belgique. Edit. Assoc. Ing. Liège. Centenaire de l'A.I.Lg., Section Géologie: 283-312

- CALEMBERT, L. 1954. Les formations tertiaires de la Haute Belgique. Prodrôme d'une description géologique de la Belgique. Société géologique de Belgique. Imprimerie H.Vaillant-Carmanne, S.A., Liège : 510-532
- CHALONER, W.G. 1994. Fossil Plants as palaeoenvironmental indicators. In : Cenozoic Plants and Climates of the Arctic; BOULTER M.C. & FISCHER, H.C. (Ed). *NATO ASI Series I* (Global Environmental Changes), 27 : 13-21
- CHATEAUNEUF, J.J. 1972. Etude palynologique de la coupe de Carry-le-Rouet (Bouches-du-Rhône, France). *Bulletin du B.R.G.M.*, 2^e série, I, 4 : 59-65
- CRONQUIST, A. 1988. The evolution and classification of flowering plants. The New York Botanical Garden, 2^d Edition: 555 p.
- DE CONINCK, J. 1995. Indicateurs biostratigraphiques du phytoplancton à paroi organique des sables marins à Oret (Entre-sambre-et-Meuse, Belgique). *Bull. Soc. Belge de Géologie*, 104, 1-2 : 151-161
- DE LANGHE, J.E., DELVOSALLE, L., DUVIGNEAUD, J., LAMBINON, J. & VANDEN BERGHEN, C. 1983. Nouvelle flore de la Belgique, du G.-D. de Luxembourg, du Nord de la France et des régions voisines (Ptéridophytes et Spermatophytes). Editions du Patrimoine du Jardin Botanique national de Belgique, 3^{ème} édition : 1016 p.
- DELCAMBRE & PINGOT 2000. Carte géologique de Fontaine l'Evêque-Charleroi, 46/7-8. Ministère de la Région Wallonne. Direction Générale des Ressources naturelles et de l'Environnement
- DE MEUTER, F.J. & LAGA, P.G. 1976 Lithostratigraphy and biostratigraphy based on benthonic foraminifera of the Neogene deposits of Northern Belgium. *Bull.Soc.belge de Géologie*, 85, 4 : 133-152
- DEMOULIN, A. 1993. L'origine de l'axe Sambre-Meuse. *Annales de la Société géologique de Belgique*, 116, 1 : 29-41
- DE PUTTER, T., ROCHE, M., DUPUIS, C., FAIRON-DEMARET, M., NICAISE, D., ROBLIN, D. & THONART, P. 1996. Taphocoenosis of Miocene taxodiaceous wood from the Entre-Sambre-et-Meuse cryptokarsts (Southern Belgium). *N.Jb.Geol.Paaläont.Abh.*, 202, 2 : 259-268
- DE PUTTER, TH., ANDRE, L., BERNARD, A., CHARLET, J.-M., DUPUIS, CH., JEDWAB, J., NICAISE, D., PERRUCHOT, A. & QUINIF, Y., 1997. Analogies naturelles et archéologiques de surface - Apports de la géochimie de l'altération et de l'étude de la durabilité des matériaux à la sûreté de l'évacuation de surface des déchets radioactifs de faible activité. Publ. ONDRAF (NIROND 97-09), 141 p. Novembre 2008
- D'OMALIUS d' HALLOY, J.B. 1841. Notice sur le gisement et l'origine des dépôts de minerais, d'argile, de sable et de phtanite du Condros (Belgique). *Bull. Soc. Géol. de France*, 12, série 1 : 242-251
- DOPPERT, J.W.C., LAGA, P.G. & DE MEUTER, F.J. 1979. Correlation of the biostratigraphy of marine neogene deposits, based on benthonic foraminifera, established in Belgium and The Netherlands *Mededelingen Rijks Geologische Dienst*, 31, 1 : 1-8
- DUPUIS, C. & ERTUS, R. 1993. The karstic origine of the Belgian type halloysite. 10th Intern. Clay Confer., Adelaide, Australia. Abstracts : 50-52
- DUPUIS, C. & ERTUS, R. 1994. Neogene lacustrine deposits of karstic origin (Ardenne Massif, Belgium). In : World and Regional Geology 4, Global geological record of lake basins. IGCP project 324, GLOPALS (eds E.Gierlowki-Kordesch and K.Kelts). Cambridge University Press, 299-302
- DUPUIS, C., NICAISE, D., DE PUTTER, D., PERRUCHOT, A, DEMARET, M. & ROCHE, E. 2003 Miocene cryptokarsts of Entre-Sambre-et-Meuse and Condros plateaus. Palaeoenvironment, evolution and weathering processes.. *Géologie de la France*, 1 : 27-31
- DUVIGNEAUD, P. 1974. La synthèse écologique. Doin Ed. (Paris), 296 p.
- ERDTMAN, G. 1960. The acetolysis method, a revised description.. *Swensk Botanisk Tidskrift*, 54: 561-564
- ERTUS, R. 1990. Les néoformations d'halloysite dans les cryptokarsts oligo-miocènes de l'Entre-Sambre-et-Meuse (Belgique). Thèse de Doctorat en Sciences. Faculté Polytechnique de Mons - Université de Paris XI, Orsay., 157 p.
- FAIRON-DEMARET, M. 1992. A propos de la découverte de *Juniperoxylon pachyderma* (Göppert) Kräusel 1949 dans le tertiaire de Bioul (Entre-Sambre-et-Meuse). *Annales de la Société géologique de Belgique*, 115, 1 : 333-339
- FAIRON-DEMARET, M. 1994. Les fruits et graines du Miocène de Bioul (Entre-sambre-et-Meuse, Belgique). Etude qualitative, quantitative et considérations paléocéologiques. *Annales de la Société géologique de Belgique*, 117, 2 : 277-309

- FAUQUETTE, S., SUC, J.P., JIMENEZ-MORENO, G., MICHEELS, A., JOST, A., FAVRE, E., BACHIRI-TAOUFIQ, N., BERTINI, A., CLET-PELLERIN, M., DINIZ, F., FARJANEL, G., FEDDI, N. & ZENG, Z. 2007. Latitudinal climatic gradients in the Western European and Mediterranean regions from the Mid-Miocene (c. 15 Ma) to the Mid-Pliocene (c. 3.5 Ma) as quantified from pollen data. The Micropalaeontological Society, Special Publications. The Geological Society, London : 481-502
- FERGUSON, D.K., PINGEN, M., ZETTER, R. & HOFFMAN, C.C. 1998. Advances in our knowledge of the Miocene plant assemblage from Kreuzau, Germany. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 101 : 147-177
- FLORSCHÜTZ, F. 1950. Over de Quartaire vegetatie in Nederland voor de ijsbedekking. *Geologie en Mijnbouw*, NS., 12 : 41-44
- FLORSCHÜTZ, F. & VAN SOMEREN, A. 1948. Microbotanische verschillen tussen de Klei van Reuver en de Klei van Tegelen. *Geologie en Mijnbouw*, 10, 3 : 68-69
- FOURMARIER, P. 1923. L'importance de l'affaissement des dépôts tertiaires dans les poches de dissolution des terrains calcaires du Condroz et des régions voisines. *Annales de la Société géologique de Belgique*, 46 B : 237-239
- FRIIS, E.M. 1975. Climatic implications of microcarpological analyses of the Miocene Fæstervik flora, Denmark.. *Bull. Geol. Soc. Denmark*, 24 : 179-191
- FRIIS, E.M. 1985. Angiosperm fruits and seeds from the Middle Miocene of Jutland (Denmark). *Kon. Dansk. Vidensk. Selskab. Biol. Skrifter*, 24, 3 : 1-165
- GAUTHIER, A. & MUNOZ, A. 2009. Mise en évidence d'une saisonnalité dans les calcaires laminés pliocènes de Villarroya (Espagne). 21^{ème} symposium de l'APLF - Perspectives en paléontologie et palynologie - 2-5 juin 2009, Lille (inédit, sous presse)
- GEETS, S. 1984. Bijdrage tot de kennis van de sedimentpetrologie van Tertiaire afzettingen in Hoog-België. *Serv. Geol. Belgique*, Professional Papers, 213 : 230 p.
- GEISSERT, F. 1979. Caractéristiques paléobotaniques du Pliocène et du Quaternaire en Basse-Alsace. *Bull. Assoc. Française pour l'étude du Quaternaire*, 4 : 159-169
- GILKINET, A. 1922. Plantes fossiles de l'Argile d'Andenne.. *Annales de la Société géologique de Belgique*, Mém. in-4°, II : 23-38
- GIROLIMETTO, F. 1982. L'origine des dépôts cénozoïques « Om » et « On » à l'ouest de la Meuse de Dinant. *Bull. Soc. Géographique de Liège*, 18 : 49-57
- GLIBERT, M. & de HEINZELIN, J. 1957. Tertiaire de Belgique: terminologie des unités stratigraphiques. In : *Lexique stratigraphique international*, vol. I (Europe), 4a VII : 217 p.
- GREGOR, H.J. 1982. Rekonstruktion von pflanzengesellschaften Rezente und Tertiäre Modelle. *Cour. Forsch. Inst. Senckenberg*, 56 : 87-100
- GREGOR, H.J. & van der BURGH, J. 1976. Ein lebensbild der Schwandorfer Braunkohlenvegetation. *Bayer. Braunkohlen Bergbau*, 100 : 15-16
- GULINCK, M. 1953. Note 538 du dossier Service Géologique de Belgique, carte Biesmes n°165 W
- GULINCK, M. 1963. Sédiments littoraux arénacés de l'Oligocène et de l'Eocène inférieur. Faciès de passage aux formations continentales avec phénomènes de slumping. Dépôts lacustres oligocènes - Excursion M-N, 29 p. Etude de divers faciès tertiaires de la partie méridionale du Bassin Hainaut-Namur - Excursion M-N (3^è partie), 11 p. 6^{ème} Congrès international de sédimentologie. Belgique et Pays-Bas ; livrets guides
- GULINCK, M. 1967. Sur le caractère marin de certains sables des poches karstiques du Condroz. *Bull. Soc. Belge Géol. Paléont. et Hydrol.*, LXXV, 3 : 348-349
- GULINCK et GRAULICH 1953. Dossiers du Service Géologique de Belgique, Pl. Philippeville - 174 W
- HACQUAERT, N. 1961. Palynologisch onderzoek van de cenozoische mariene zanden (Scaldisien en Merxemien) van het Hansadok te Antwerpen. *Natuurwet. Tijdschr.*, 42 : 65-112
- HACQUAERT, N. 1963. Etude palynologique des sables marins scaldisiens et merxémiens du Hansadok à Anvers. *Mémoires de la Société belge de Géologie*, série in-8°, 6(1962) : 90-100
- HAGER, H. 1977. Zur geologischen Schichtenfolge im rheinischen Braunkohlenrevier. *Braunkohle*, 4 : 116-120
- HOCHULL, P. A. 1978. Palynologische Untersuchungen im Oligozän und Untermiozän des Zentralen und Westlichen Paratethys. *Beitr. Paläont. Österr.* 4 : 1-132
- JAN DU CHENE, R. 1974. Etude palynologique du Néogène et du Pléistocène inférieur de Bresse. *Bulletin du G.R.G.M.*, 2^{ème} série, I, 4 : 209-235
- KRUTZSCH, W. 1957. Sporen- und Pollengruppen aus der Oberkreide und dem Tertiär Mitteleuropas und ihre stratigraphische Verteilung. *Zeitschrift für Angewandte Geologie*, 11 / 12, 3 : 509-548

- KRUTZSH, W. 1962-1970. Atlas der mittel-und jungtertiären dispersen Sporen-und Pollen sowie der Mikroplanktonformen des nördlichen Mitteleuropas. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Lief. I-II-III. Berlin. VEB Gustav Fischer Verlag, Lief. IV-V-VI-VII. Jena
- LAGA, P., LOUWYE, S. & GEETS, S. 2001. Paleogene and Neogene lithostratigraphic units (Belgium) *Geologica Belgica*, 4, 1-2 : 135-152
- LAGA, P. & LOUWYE, S. 2006. Disused Neogene and Quaternary regional stages from Belgium: Bolderian, Houthalenian, Antwerpian, Diestian, Deurnian, Kasterlian, Kattendijkian, Scaldisian, Poederlian, Merksemian and Flandrian. *Geologica Belgica*, 9, 1-2 : 215-224
- LECHIEN, V. 2003. Application des méthodes biochimiques à la compréhension de la fossilisation du bois au Miocène. Intérêt dans l'étude de la biodégradation des matières organiques des centres d'enfouissement technique. Université de Mons-Hainaut, Fac. des Sciences ; Mémoire de Licence, 77p.
- LECHIEN, V. 2009. Etude des propriétés physico-chimiques de la cellulose fossile non biodégradable Université de Liège, Fac. des Sciences, Centre wallon de Biologie industrielle, thèse PhD., 132p
- LEMY, F. 1996. Les gîtes d'halloysite de l'Entre-Sambre-et-Meuse : minéralogie, géologie, prospection et valorisation. Travail de fin d'étude, Faculté Polytechnique de Mons, 61 p.
- LOHEST, M. 1887. De l'âge et de l'origine des dépôts d'argile plastique des environs d'Andenne. *Bull. Acad. Royale de Belgique*, 3^{ème} série, XIII, 4 : 439-444
- LOUWYE, S., HEAD, M. & DE SCHEPPER, S. 2004. Dinoflagellate cyst stratigraphy and palaeoecology of the Pliocene in northern Belgium, southern North Sea Basin. *Geological Magazine*, 141 (3): 353-378
- MAI, D.H. 1991. Palaeofloristic changes in Europe and the confirmation of the Arctotertiary - Palaeotropical geofloral concept. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 68 : 29-36
- MAI, D.H. & WALTHER, H. 1988. Die pliozänen Floren von Thüringen, D.D.R. *Quartärpaläontologie*, 7 : 55-297
- MARTENS, J. 1942. Note sur les gisements de terre plastique de la région de Namur et sur leur exploitation *Ann. des Mines de Belgique*, 43 : 717-775
- MEON-VILAIN, H. 1968. Analyses sporo-polliniques dans l'Helvétien-type du Imihubel (Berne). *Ecologiae Geologicae Helvetiae*, 61, 2 : 435-457
- MEON-VILAIN, H. 1970. Palynologie des formations miocènes supérieures et pliocènes du Bassin du Rhône (France). *Docum. Lab. Géol. Fac. Sci. Lyon*, 38 : 167 p.
- MEON-VILAIN, H. 1971. Evolution de la flore de l'Helvétien au Pliocène d'après des analyses polliniques effectuées aux environs de Berne (Suisse) et dans le Bassin du Rhône. *Docum. Lab. Géol. Univ. Lyon*, HS : 61-78
- MEON-VILAIN, H., BALLELIO, R., GUERIN, C. & MEIN, P. 1979. Corrélations biostratigraphiques dans le Néogène du sud-est de la France. *Ann. Géol. Pays hellén.* Tome h.s., II : 807-816
- MOHR, Barbara 1984. Die mikroflora der Obermiozänen bis Unterpliozänen deckschichten der Rheinischen Braunkohle. *Palaeontographica*, B, 191, 1-4 : 29-133.
- MOTTART, F. 1989. Etude des fruits et graines du tertiaire de Bioul (Entre-sambre-et-Meuse) : implications paléocéologique et stratigraphique. Mémoire de Licence, ULg., 56 p.
- NEUY-STOLZ, G. 1958. Zur Flora der Niederrheinischen Bucht während der Hauptflözbildung unter besonderer Berücksichtigung der Pollen und Pilzreste in den hellen Schichten. *Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.*, 2 : 503-525
- NICAISE, D. 1998. L'halloysite des cryptokarsts néogènes de l'Entre-Sambre-et-Meuse (Belgique), synthèse géologique, minéralogique et géochimique. Thèse de Doctorat en Sciences. Université de Paris XI - Orsay, 145 p.
- NICAISE, D. & DUPUIS, C. 1997. (avec la collaboration de : ANDRE, L., ARBEY, F., BERNARD, A., DE PUTTER, T., FAIRON-DEMARET, M., LEMY, F., PERRUCHOT, A., ROCHE, E. & ROCHE, M.) L'halloysite des cryptokarsts néogènes de L'entre-Sambre-et-Meuse et du Condroz (Belgique). Rapport final ; Convention Région wallonne-Faculté Polytechnique de Mons : 134 p.
- PERRUCHOT, A., DUPUIS, C., BROUARD, E., NICAISE, D. & ERTUS, R. 1997. L'halloysite karstique : comparaison des gisements types de Wallonie (Belgique) et du Périgord (France). *Clay Minerals*. 32 : 271-287
- POTONIE, R. 1960. Synopsis der Gattungen der Sporae dispersae. *Beih. Geol. Jb.*, 39 : 189 s.
- POTONIE, R., THOMSON, P.W. & THIERGART, F. 1951. Zur Nomenklatur und Klassifikation der neogenen Sporomorphae (Pollen und Sporen). *Geologisches Jahrbuch*, 65 : 35-70
- REIN, U. 1951. Die Anwendung der Pollenfeinstratigraphie in der Praxis des rheinischen Braunkohlenbergbaues. *Geologisches Jahrbuch*, 65 : 127-144

- REIN, U. 1951. Pollenanalytische Untersuchungen zur Pliozän-Pleistozängrenze am linken Niederrhein *Geologisches Jahrbuch*, 65 : 773-777
- ROCHE, E. & SCHULER, M. 1976. Analyse palynologique de divers gisements du Tongrien de Belgique : interprétation paléoécologique et stratigraphique. *Serv. Géol. Belgique - Professional Papers*, 76 : 58 p.
- ROCHE, E. & SCHULER, M. 1979. Analyse palynologique de l'Argile de Boom. *Serv. Géol. Belgique - Professional Papers*, 163 : 20 p.
- RUSSO-ERMOLLI, E. 1990. Datation palynologique de gisements tertiaires de Campine, du Condroz et de l'Entre-sambre-et-Meuse. Master interuniversitaire en Paléontologie appliquée, ULg. 116 p.
- RUSSO-ERMOLLI, E. 1991. Datation palynologique de gisements tertiaire de l'Entre-Sambre-et-Meuse. *Serv. Géol. Belgique - Professional Papers*, 245 : 40 p.
- RUTOT, A. 1887. Note sur quelques coupes de l'Eocène observées dans le massif tertiaire du sud de la vallée de la Sambre. *Bull.Soc.belge Géol. Paléont. et Hydrol.*, 1 : 192-205
- SCHULER, M. 1967. Etude palynologique des formations oligomiocènes rencontrées par deux sondages dans la plaine du Forez (Bassin de Montbrison). Thèse 3^e cycl. Fac.Sc.Strasbourg, 82 p.
- SITTLER, C. 1967. Mise en évidence d'un réchauffement climatique à la limite de l'Oligocène et du Miocène. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 2, 1-4 : 163-172
- SIVAK, J. & CARATINI, C. 1973. Détermination des Pinus américains dans le Miocène inférieur des Landes (France) d'après la structure de l'ectexine et de leurs ballonnets. *Grana*, 13 : 1-17
- SONDAG, E. 1966. Mikrobotanische (palynologische) Untersuchungen am 2. Niederlausitzer Flözhorizontn *Geologie*, 15, 54 : 1-141
- STOCKMANS, F. 1960. Initiation à la Paléobotanique stratigraphique de la Belgique. *Les Naturalistes belges*, volume spécial, 222 p.
- STOCKMANS, F. & WILLIERE, Y. 1934. Note sur des bois fossiles récoltés en Belgique : I. *Juniperoxylon silesianicum* PRILL *Bull. du Musée royal d'Histoire naturelle de Belgique*, X, 11 : 1-8
- STOCKMANS, F. & WILLIERE, Y. 1934. Note sur des bois fossiles récoltés en Belgique : II. *Pinuxylon pinastroides* KRAUS ; III. *Palmoxyylon bacillare* BRONGN. *Bull. du Musée royal d'Histoire naturelle de Belgique*, X, 30 : 1-7
- STOCKMANS, F. & WILLIERE, Y. 1963. Flores anciennes et climats. *Les Naturalistes belges*, 44 : 177-197, 269-293, 317-340.
- SOYER, J. 1972. Sédimentologie des sables tertiaires de l'Entre-Sambre-et-Meuse condrusien. Université catholique de Louvain, Thèse, 3 volumes, 248 p.
- SUC, J.P. & ZAGWIJN, W.H. 1983. Plio-Pleistocene correlations between the northwestern Mediterranean region and northwestern Europe according to recent biostratigraphic and palaeoclimatic data. *BOREAS*, 12: 153-166
- TAKAHASHI, K. & JUX, U. 1986. Sporomorphen aus dem paralischen Oberoligozän des südöstlichen Niederreinnischen Bucht (West-Deutschland). *Bull. Faculty of Liberal Arts, Nagasaki Univ., (Natural Sciences)*, 26, 2 : 27-303.
- TEICHMULLER, M. 1958. Rekonstruktionen verschiedener Moortypen des Hauptflözes der Niederrheinischen Braunkohle. *Fortschr. Geol. Rheinld. U. Westf.* 2 : 599-612
- THIELE-PFEIFFER, H. 1980. Die Miozäne mikroflora aus dem Braunkohlentagebau oder bei Wackersdorf /Oberpfalz. *Palaeontographica*, B, 174, 4-6 : 95-224
- THIERGART, F. 1951. Pollenfloren aus den tertiären Braunkohlen vom Niederrhein. *Geologisches Jahrbuch*, 65 : 81-105
- THIERGART, F. 1958. Die Sporomorphen-Flora von Rott im Siebengebirge. *Fortschr.Geol.Rheinld. u.Westf.*, 2 : 447-456
- THOMSON 1951. Grundsätzliches zur tertiären Pollen- und Sporenmikrostratigraphie auf Grund einer Untersuchung des Hauptflözes der rheinischen Braunkohle in Liblar, Neurath, Fortuna und Brühl. *Geologisches Jahrbuch*, 65 : 113-126
- THOMSON, P.W. & REIN, U. 1951. Mikropaläontologische Untersuchung eines Standardprofils der rheinischen Braunkohle in der Grube Liblar / Bezirk Köln. *Geologisches Jahrbuch*, 65 : 107-111
- THOMSON, P.W. & PFLUG, H. 1953. Pollen und sporen des Mitteleuropäischen Tertiärs. *Palaeontographica*, B, 94, 1-4 : 1-138
- VANDENBROECK, E. 1893. Coup d'œil synthétique sur l'Oligocène belge et observations sur le Tongrien supérieur du Brabant. *Bull. Soc. Belge Géol. Paléont. Et Hydrol.*, 7 : 208-302

- VANDENBROECK, E. & RUTOT, A. 1888. De l'extension des sédiments tongriens sur les plateaux du Condroz et de l'Ardenne et du rôle géologique des vallées d'effondrement dans les régions à zones calcaires de la Haute Belgique. *Bull. Soc. Belge Géol. Paléont. et Hydrol.*, 2 : 9-25
- van der BURGH, J. 1978. The Pliocene Flora of FORTUNA-GARSDORE, I. Fruits and seeds of Angiosperms. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 26 : 173-211
- van der BURGH, J. 1987. Miocene floras in the lower Rhenish Basin and their ecological interpretation *Review of Palaeobotany and Palynology*, 52 : 299-366
- van der BURGH, J. 1988. Some local floras from the Neogene of the lower Rhenish basin. *Tertiary Res.*, 9, (1-4): 181-212
- van der BURGH, J. & ZETTER, R. 1998. Plant mega- and microfossil assemblages from the Brunssumian of "Hambach" near Düren, B.R.D. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 101 : 209-256
- VAN VOORTHUYSEN, J.H., TOERING, K. & ZAGWIJN, W.H. 1972. The Plio-Pleistocene boundary in the North Sea Basin. Revision of its position in the marine beds. *Geologie en Mijnbouw*, 51, 6 : 627-639
- von der BRELIE, G. 1967. Quantitative sporeuntersuchungen zur stratigraphischen gliederung des Neogens in Mittel-Europa. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 2 : 147-162
- von der BRELIE, G. 1968. Zur mikrofloristischen Schichtengliederung im rheinischen Braunkohlenrevier. *Fortschr. Geol. Rheinld. U. Westf.*, 16 : 85-102
- von der BRELIE, G. & REIN, U. 1958. Die stratigraphische Einstufung der Braunkohlenflöze im Tagebau Düren. *Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.*, 2 : 555-562
- von der BRELIE, G., HAGER, H. & WEILER, H. 1981. Pollenflora und Phytoplankton in den Kölner Schichten sowie deren Lithostratigraphie im Siegburger Graben; *Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.*, 29 : 21-58
- WEYLAND, H. 1948. Beiträge zur Kenntnis der Rheinischen Tertiärflora. *Palaeontographica*, B, 88, 4 : 113-188
- WEYLAND, H., THOMSON, P.W. & MANKE, H. 1954. Die Pflanzenreste der tongyttjaschicht des flözes IV der Grube Liblar, bez. Köln, und ihre ökologische Auswertung. *Palaeontographica*, B, 96, 3-6 : 98-105
- ZAGWIJN, W.H. 1957. Vegetation, climate and time-correlations in the Early Pleistocene of Europe. *Geologie en Mijnbouw*, N.S., 19 : 233-244
- ZAGWIJN, W.H. 1967. Ecologic interpretations of a pollen diagram from Neogene beds in the Netherlands *Review of Palaeobotany and Palynology*, 2 : 173-181
- ZAGWIJN, W.H. 1974. The Pliocene-Pleistocene boundary in western and southern Europe. *BOREAS*, 3 : 75-97
- ZAGWIJN, W.H. 1975. Variations in climate as shown by pollen analysis, especially in the Lower Pleistocene of Europe. *In: Ice Age, Ancient and Modern*. Wright (ed). Moseley Seel House Press. Liverpool, 137-142
- ZAGWIJN, W.H. 1960. Aspects of the Pliocene and Early Pleistocene vegetation in The Netherlands. *Mededelingen van de Geologische Stichting*, Ser. C, III, 1(5): 5-78
- ZIEMBINSKA-TWORZYLDÓ, M. 1974. Palynological characteristics of the Neogene of Western Poland *Acta Palaeont. Pol.*, 19(3) : 309-432

Tableau 1 - Sites et coupes étudiées

Dénomination	Localisation	Origine de l'information	Bibliographie
Bioul	X=181,40 ; Y=114,30 Carte topographique 53/3-4	Carrière en exploitation*	Soyer, 1972; Schuler et Sittler <i>in</i> Soyer, 1972 ; Mottard, 1989 ; Boxus, 1989 ; Ertus, 1990 ; Nicaise, 1998 ; Fairon-Demaret, 1994
Champseau (-Andenne)	X=202,325 ; Y=128,60 Carte topographique 48/1-2	Bibliographie Collection Stockmans (I.r.Sc.n.B.)	Lohest, 1887 ; Gilkinet, 1922 ; Stockmans et Willière (1934); Calembert, 1954; Stockmans (1960)
Florenne (Berthe)	X=168,75 ; Y=104,20 Carte topographique 53/7-8	Poche karstique dans carrière en exploitation	Ertus, 1990 ; Russo-Ermolli, 1990 ; Brouard, 1991 ;
Florenne (CM, dite du camp militaire)	X=170,20 ; Y=104,30 Carte topographique 53/5-6	Carrière en exploitation*	Ertus, 1990 ; Russo-Ermolli, 1990
Florennes CM (FloRW8) Freyr	X=168,40 ; Y=104,40 Carte topographique 53/5-6 X=185,75 ; Y=102,65 A environ 3,5km au N de Freyr et à environ 1,9km à E de Onhaye Carte topographique 53/7-8	Sondage Région Wallonne, prospection de l'hallaysite	De Putter <i>et al.</i> , 1997 Nicaise, 1998;
Onhaye (ECTP)	X=183,21 ; Y=103 Carte topographique 53 /7-8	Bibliographie Echantillons Soyer, 1972	Soyer, 1972 ; Russo-Ermolli, 1990
Oret 606	X=167,075 ; Y=108,80 topographique 53 /1-2 X=147,08 ; Y=119,53	Carrière abandonnée	Russo-Ermolli, 1990
Pisselotte n°4	Leemes, commune de Fontaine-l'Évêque Carte topographique 46/7-8	Carrière en exploitation*	Soyer, 1972 ; Russo-Ermolli, 1990
Sosoye	X=180,17 ; Y=110,47 Carte topographique 53/3-4	Sondage Région Wallonne, karst (?) dans Viséen du Groupe du Houyoux(Document inédit établi et communiqué par Delcambre et Pingot, octobre 1993. Carte géologique de Wallonie
		Carrière en exploitation*	Brouard, 1991 ; Ertus, 1990

* De toute façon sporadique et au moins à l'époque des études.

Tableau 2 : Taxa identifiés et quantification

	Florennes 1 (1971)	Florennes 2 (1971)	Florennes 3 (1971)	Florennes 4 (1971)	Florennes 5 (1971)	Florennes 6 (1971)	Florennes 7 (1971)	Florennes 8 (1971)	Florennes 9 (1971)	Florennes 10 (1971)	Florennes 11 (1971)
Sporites R. Pot. 1933											
<i>Triletes</i> (Reinsch 1881) <i>brahim</i> 1933											
<i>Leiotriletes</i> (Naum. 1937) <i>P. Pot. et Kremp. 1954</i>											
<i>Leiotriletes</i> <i>volffii</i> W.Kr. 1962											
<i>Leiotriletes</i> <i>triangularis</i> W.Kr. 1962											
<i>Leiotriletes</i> sp.											
<i>Stereisporites</i> Pf. 1953											
<i>Stereisporites</i> <i>div.</i> Fsp.											
<i>Torisporis</i> W.Kr. 1959											
<i>Torisporis</i> sp.											
<i>Laticolpate</i> W.Kr. 1959											
<i>Neogenisporis</i> W.Kr. 1962											
<i>Neogenisporis</i> <i>neogenis</i> W.Kr. 1962											
<i>Neogenisporis</i> <i>placoides</i> W.Kr. 1962											
<i>Muromati</i> R. Pot. et Kremp. 1954											
<i>Retulites</i> (vd. Hammen 1956) <i>Do., H., Mai et Sch. 1963</i>											
<i>Retulites</i> sp.											
Monoletes <i>brahim</i> 1933											
<i>Laevigatosporites</i> <i>brahim</i> 1933											
<i>Laevigatosporites</i> <i>haardii</i> (R. Pot. et Ven. 1934) <i>Th. et Pf. 1953</i>											
<i>Laevigatosporites</i> <i>dicaeolatus</i> Pf. 1953											
Pollenites R. Pot. 1931											
<i>Saccites</i> Edt. 1947											
<i>Pityosporites</i> <i>Seward</i> 1914											
<i>Pityosporites</i> <i>microalatus</i> (R. Pot. 1934) <i>Th. et Pf. 1953</i>											
<i>Pityosporites</i> <i>labacicus</i> (R. Pot. 1934) <i>Th. et Pf. 1953</i>											
<i>Pityosporites</i> <i>abatus</i> (R. Pot. 1934) <i>Th. et Pf. 1953</i>											
<i>Pityosporites</i> <i>absolutus</i> (Thierg. 1937) <i>Th. et Pf. 1953</i>											
<i>Coniapollenites</i> Pf. 1953											
<i>Coniapollenites</i> <i>igniculus</i> (R. Pot. 1931) <i>Th. et Pf. 1953</i>											
Inapertures <i>lv. et Tr. Smith 1950</i>											
<i>Inaperturopollenites</i> <i>Th. et Pf. 1953</i>											
<i>Inaperturopollenites</i> <i>clivatus</i> (R. Pot. 1931) <i>Th. et Pf. 1953</i>											
<i>Inaperturopollenites</i> <i>dubius</i> <i>Th. et Pf. 1953</i>											
<i>Inaperturopollenites</i> <i>polymorphus</i> (Thierg. 1937) <i>Th. et Pf. 1953</i>											
Porosites (Naum. 1933) <i>R. Pot. 1930</i>											
<i>Monoporphes</i> (Naum. 1933) <i>ex Pot. 1960</i> <i>W. H. 1970</i>											
<i>Granulites</i> <i>Cookson 1947</i>											
<i>Graminoides</i> <i>div. fsp.</i>											
<i>Cyperaceae</i> <i>pollis</i> W.Kr. 1970											
<i>Cyperaceae</i> <i>pollis</i> fsp.											
<i>Sparangiaceae</i> <i>pollenites</i> <i>Thierg. 1937</i>											
<i>Sparangiaceae</i> <i>pollis</i> fsp.											
<i>Tiporines</i> (Naum. 1937) <i>R. Pot. 1930</i>											
<i>Tiporipollenites</i> (Th. Et Pf. 1953) <i>R. Pot. 1930</i>											
<i>Tiporipollenites</i> <i>coarctatus</i> <i>Th. et Pf. 1953</i>											
<i>Tiporipollenites</i> <i>ibranus</i> (Thoms. 1950) <i>Th. Et Pf. 1953</i>											
<i>Trivestibulipollenites</i> Pf. 1953											
<i>Trivestibulipollenites</i> <i>betulae</i> Pf. 1953											
<i>Triaipollenites</i> Pf. 1953											
<i>Triaipollenites</i> <i>erucensis</i> <i>Th. et Pf. 1953</i>											
<i>Triaipollenites</i> <i>in agrus</i> <i>Roche et Schuler 1976</i>											
<i>Triaipollenites</i> <i>platycaryoides</i> <i>Roche 1965</i>											
<i>Triaipollenites</i> <i>engelhardoides</i> <i>Roche et Schuler 1976</i>											
<i>Caryapollenites</i> (R. Pot. 1930) <i>ex Ratz 1937</i> <i>W.Kr. 1961</i>											
<i>Caryapollenites</i> <i>simplex</i> (R. Pot. et ven. 1934) <i>W.Kr. 1961</i>											
<i>Intratiporipollenites</i> (Th. et Pf. 1953) <i>Mai 1961</i>											
<i>Intratiporipollenites</i> <i>instructus</i> (R. Pot. et ven. 1934) <i>Th. et Pf. 1953</i>											
Polyporines (Naum. 1933) <i>R. Pot. 1930</i>											
<i>Polyporipollenites</i> Pf. 1953											
<i>Polyporipollenites</i> <i>undulatus</i> (Wolff 1934) <i>Pf. 1953</i>											
<i>Polyporipollenites</i> <i>stellatus</i> (Pot. et ven. 1934) <i>Th. et Pf. 1953</i>											
<i>Polyporipollenites</i> <i>carpinoides</i> <i>Th. et Pf. 1953</i>											
<i>Periporipollenites</i> <i>Th. et Pf. 1953</i>											
<i>Periporipollenites</i> <i>sigmosus</i> (R. Pot. 1931) <i>Th. et Pf. 1953</i>											
<i>Periporipollenites</i> <i>microreticulatus</i> <i>Pf. et Th. 1953</i>											
<i>Periporipollenites</i> <i>div.</i> <i>W. H. et Pf. 1957</i>											
<i>Multiporipollenites</i> <i>Th. et Pf. 1953</i>											
<i>Multiporipollenites</i> <i>in aculeatus</i> (R. Pot. 1931) <i>Th. et Pf. 1953</i>											
<i>Polyvestibulipollenites</i> Pf. 1953											
<i>Polyvestibulipollenites</i> <i>velus</i> (R. Pot. 1934) <i>Th. et Pf. 1953</i>											
Plicates (Naum. 1933) <i>R. Pot. 1930</i>											
<i>Monocolpates</i> <i>lv. et Tr. Smith 1950</i>											
<i>Monocolpates</i> <i>tranquillus</i> (R. Pot. 1934) <i>Th. et Pf. 1953</i>											
<i>Monocolpates</i> <i>paraleolatus</i> <i>W.Kr. 1962</i>											
<i>Tricolpates</i> <i>vd. Ham. et Vijl. 1964</i>											
<i>Tricolpates</i> <i>pollenites</i> Pf. et Th. 1953											
<i>Tricolpates</i> <i>pollenites</i> <i>libanensis</i> (Thoms. 1950) <i>libanensis</i> <i>Th. et Pf. 1953</i>											
<i>Tricolpates</i> <i>pollenites</i> <i>libanensis</i> (Thoms. 1950) <i>fallax</i> <i>Th. et Pf. 1953</i>											
<i>Tricolpates</i> <i>pollenites</i> <i>pamiricus</i> (R. Pot. 1934) <i>Th. et Pf. 1953</i>											
<i>Tricolpates</i> <i>pollenites</i> <i>venici</i> (R. Pot. 1931) <i>Th. et Pf. 1953</i>											
<i>Tricolpates</i> <i>pollenites</i> <i>asper</i> Pf. et Th. 1953											
<i>Tricolpates</i> <i>pollenites</i> <i>puddicus</i> (R. Pot. 1934) <i>Th. et Pf. 1953</i>											
<i>Tricolpates</i> <i>pollenites</i> <i>retiformis</i> Pf. et Th. 1953											
<i>Tricolporates</i> <i>vd. Ham. et Vijl. 1964</i>											
<i>Tricolporates</i> <i>pollenites</i> Pf. et Th. 1953											
<i>Tricolporates</i> <i>pollenites</i> <i>sigillum</i> (R. Pot. 1931) <i>Th. et Pf. 1953</i>											
<i>Tricolporates</i> <i>pollenites</i> <i>libanensis</i> (Thoms. 1950) <i>Th. et Pf. 1953</i>											
<i>Tricolporates</i> <i>pollenites</i> <i>megacactus</i> (R. Pot. 1931) <i>libanensis</i> <i>Th. 1953</i>											
<i>Tricolporates</i> <i>pollenites</i> <i>verus</i> <i>Ratz 1937</i>											
<i>Tricolporates</i> <i>pollenites</i> <i>oleoides</i> <i>Roche et Schuler 1976</i> <i>n.omb.</i>											
<i>Tricolporates</i> <i>pollenites</i> <i>microreticulatus</i> <i>Pf. et Th. 1953</i>											
<i>Tricolporates</i> <i>pollenites</i> <i>edmundi</i> (R. Pot. 1931) <i>Th. et Pf. 1953</i>											
<i>Tricolporates</i> <i>pollenites</i> <i>kuschi</i> (R. Pot. 1934) <i>Th. et Pf. 1953</i>											
<i>Tricolporates</i> <i>pollenites</i> <i>mainoniensis</i> <i>Th. et Pf. 1953</i>											
<i>Tricolporates</i> <i>pollenites</i> <i>vegetus</i> (R. Pot. 1934) <i>W.Kr. 1967</i>											
<i>Tricolporates</i> <i>pollenites</i> <i>sustinis</i> <i>Pf. et Th. 1953</i>											
<i>Tricolporates</i> <i>pollenites</i> <i>illius</i> (R. Pot. 1931) <i>Th. et Pf. 1953</i>											
<i>Tricolporates</i> <i>pollenites</i> <i>latus</i> (R. Pot. 1934) <i>Th. et Pf. 1953</i>											
<i>Tricolporates</i> <i>pollenites</i> <i>helicosternus</i> <i>Pf. 1953</i>											
<i>Tricolporates</i> <i>pollenites</i> <i>microechinatus</i> <i>Trevisan 1967</i>											
<i>Tricolporates</i> <i>pollenites</i> <i>ornatus</i> <i>Thiele-Pfeiffer 1980</i>											
<i>Stephanocolporates</i> <i>vd. Ham. et Vijl. 1964</i>											
<i>Tetracolporates</i> <i>pollenites</i> Pf. et Th. 1953											
<i>Tetracolporates</i> <i>pollenites</i> <i>sapotaceae</i> <i>Pf. et Th. 1953</i>											
<i>Tetracolporates</i> <i>pollenites</i> <i>marginatus</i> (R. Pot. 1931) <i>Th. et Pf. 1953</i>											
<i>Reevesipollis</i> <i>W.Kr. 1970</i>											
<i>Reevesipollis</i> <i>major</i> (W.Kr. 1970) <i>Roche et Schuler 1976</i>											
<i>Syncolporates</i> <i>Parny 1966</i>											
<i>Porocolporates</i> <i>Th. et Pf. 1953</i>											
<i>Porocolporates</i> <i>pollenites</i> <i>vestibulum</i> (R. Pot. 1931) <i>Th. et Pf. 1953</i>											
Jugates <i>R. Pot. 1930</i>											
<i>Tetradites</i> <i>Cook. 1947</i>											
<i>Tetradites</i> <i>pollenites</i> <i>Th. et Pf. 1953</i>											
<i>Tetradites</i> <i>pollenites</i> <i>div. fsp.</i>											
Algae											
<i>Ovoidites</i> <i>R. Pot. 1951</i>											
<i>Ovoidites</i> <i>ligneolus</i> <i>R. Pot. 1951</i>											

LEGENDE:

- > 1

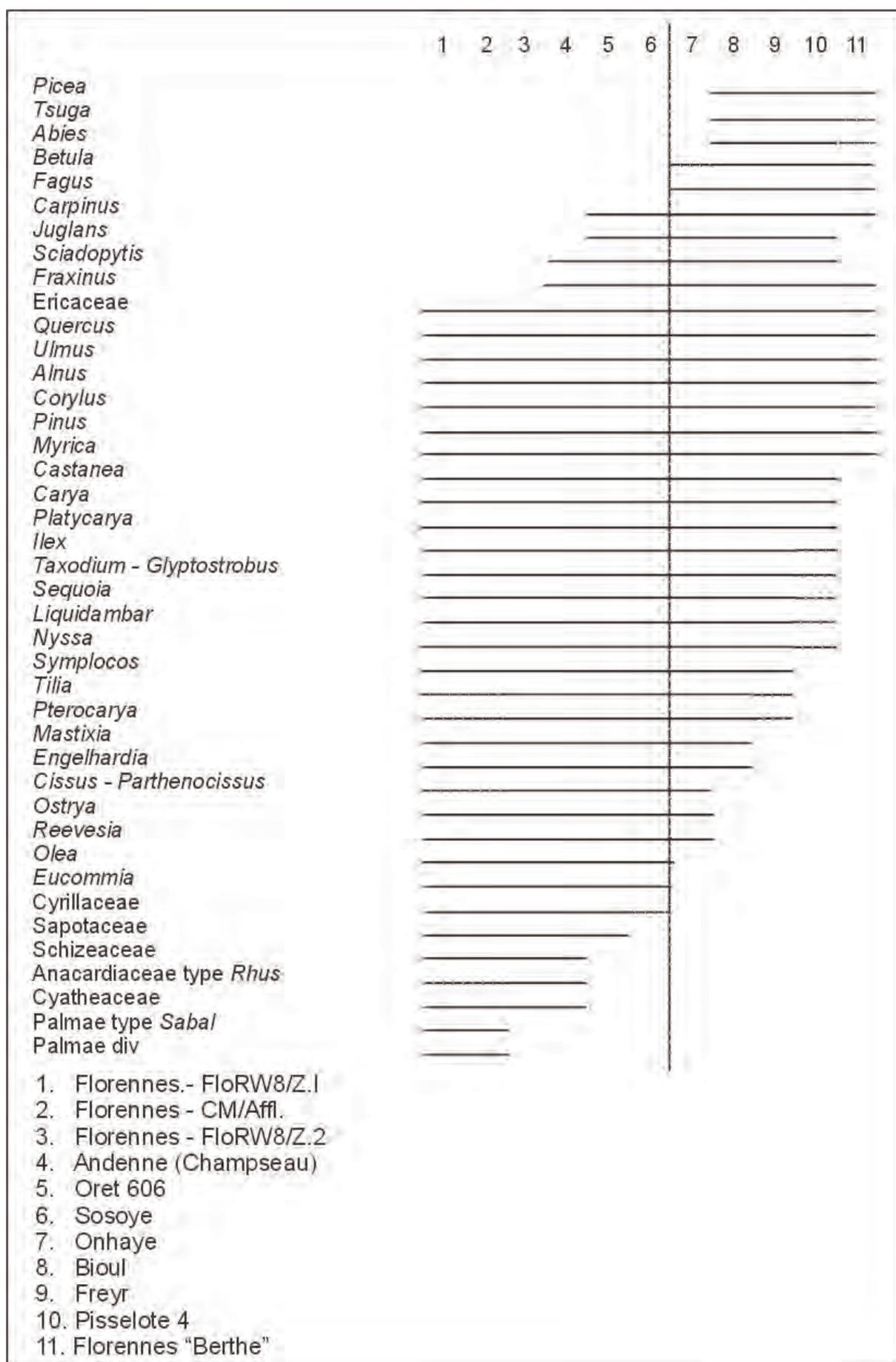


Tableau 3: distribution des principaux taxons néogènes d'intérêt phytostratigraphique



Tableau 4: répartition de 30 taxons écologiquement significatifs selon leur sensibilité aux températures et aux précipitations.

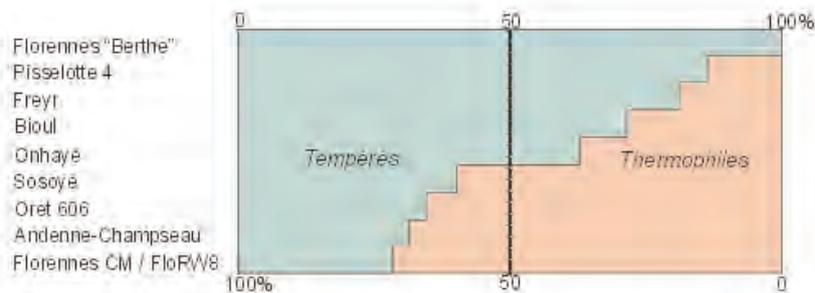


Tableau 5: évolution du rapport "Taxons thermophiles"/"Taxons tempérés" dans les différents sites étudiés.

PLEISTOCENE			Florennes "Berthe"	Milieu ouvert à landes et tourbières	Landes à herbacées et Ericaceae Milieux boisés à Pins-Bouleaux dominants	Climat froid, subarctique Températures estivales basses Hivers rudes
PLIOCENE		Pré-Tiglien	Pisselôte 4	Milieu à marécages et tourbières	Forêt hétérogène à dominance de conifères Landes à herbacées et Ericaceae	Climat tempéré, plutôt froid et humide
		Zandéen Placenzien	Freyr 506	Milieu palustre	Forêt hétérogène à feuillus et conifères Reliquats de forêt inondée à <i>Taxodium-Nyssa</i>	Climat tempéré, plutôt chaud et humide
MIOCENE SUPERIEUR		Tortonien	Bioul	Plaine alluviale de la Paléo-Meuse Milieux fluvio-lacustres à palustres	Forêts inondées à <i>Taxodium-Nyssa</i> Marais à Myricaceae et Aulnaies Milieux exondés à <i>Liquidambar</i> et <i>Sequoia</i> Forêt collinéenne à dominance de feuillus tempérés	Climat tempéré-chaud à températures estivales modérées Hivers doux à températures légèrement négatives
MIOCENE MOYEN		Serravalien	Onhaye	"Trainée mosane" Milieu fluvio-lacustre à palustre	Forêts inondées à <i>Taxodium-Nyssa</i> Marais et zones ripicoles à Myricaceae et Aulnaies Forêt collinéenne à dominance de feuillus tempérés-chauds	Climat tempéré-chaud à températures estivales élevées Hivers doux à températures occasionnellement négatives
MIOCENE INFERIEUR			Sosoïe Oret 606 Andenne-Champseau Florennes CIM-Aff. Florennes FIORW8	Grandes étendues humides liées à la subsidence de la Région Bas-Rhenane	Forêts inondées à <i>Taxodium-Nyssa</i> Grands marécages à Myricaceae-Cyrillaceae Zones exondées à <i>Liquidambar</i> et <i>Sequoia</i> Végétation méso-thermophile des reliefs	Climat chaud et humide à tendance subtropicale Étés très chauds Hivers doux à températures positives

Tableau 6 : Interprétation bio-stratigraphique et paléoenvironnementale

PLANCHE 1

Andenne - Champseau

1. *Neogenisporis neogenicus* W.Kr. 1962 – **Cyatheaceae**
2. *Toroisporis* fsp. – **Schizeaceae**
3. *Laevigatosporites discordatus* Pf. 1953 – **Polypodiaceae**
- 4.5. *Pityosporites microalatus* Th. et Pf. 1953 – **Pinus**
6. *Pityosporites labdacus* Th. et Pf. 1953 – **Pinus**
7. *Monocolpopollenites serratus* Th. et Pf. 1953 – **Sciadopytis**
- 8.9. *Inaperturopollenites hiatus* Th. et Pf. 1953 – **Taxodium – Glyptostrobus**
- 10.11.12. *Inaperturopollenites polyformosus* Th. et Pf. 1953 – **Sequoia**
13. *Graminidites* fsp. – **Poaceae**
14. *Triporopollenites coryloides* Th. et Pf. 1953 – **Corylus**
- 15.16. *Triatriopollenites magnus* Roche et Schuler 1976 – **Myrica**
17. *Triatriopollenites platycarioides* Roche 1965 – **Platycarya**
18. *Triatriopollenites engelhardtoides* Roche et Schuler 1976 – **Engelhardia**
19. *Intratriporopollenites instructus* Th. et Pf. 1953 – **Tilia**
- 20.21. *Caryapollenites simplex* W.Kr. 1961 – **Carya**
22. *Polyporopollenites undulosus* Pf. 1953 – **Ulmus**
23. *Polyporopollenites stellatus* Th. et Pf. 1953 – **Pterocarya**
24. *Periporopollenites stigmosus* Th. et Pf. 1953 – **Liquidambar**
25. *Periporopollenites multiplex* Weyl. et Pf. 1957 – **Chenopodiaceae**
26. *Tricolpopollenites pudicus* Th. et Pf. 1953
27. *Tricolpopollenites liblarensis* (Thoms. 1950) *liblarensis* Th. et Pf. 1953
- 28.29. *Tricolpopollenites parmularius* Th. et Pf. 1953 – **Eucommia**
- 30.31. *Tricolporopollenites cingulum* Th. et Pf. 1953 – **Castanea**
- 32.33. *Tricolporopollenites villensis* Th. et Pf. 1953 – **Castanopsis**
- 34.35. *Tricolporopollenites megaexactus* (R.Pot. 1931) *brühlensis* Th. 1953 – **Cyrillaceae**
- 36.37. *Tricolporopollenites oleoides* Roche et Schuler 1976 n.comb. – **Olea**
 - 1.5. *Tricolporopollenites microreticulatus* Pf. et Th. 1953 – **Fraxinus**

Grossissements: x 50

PLANCHE 1

Andenne - Champseau

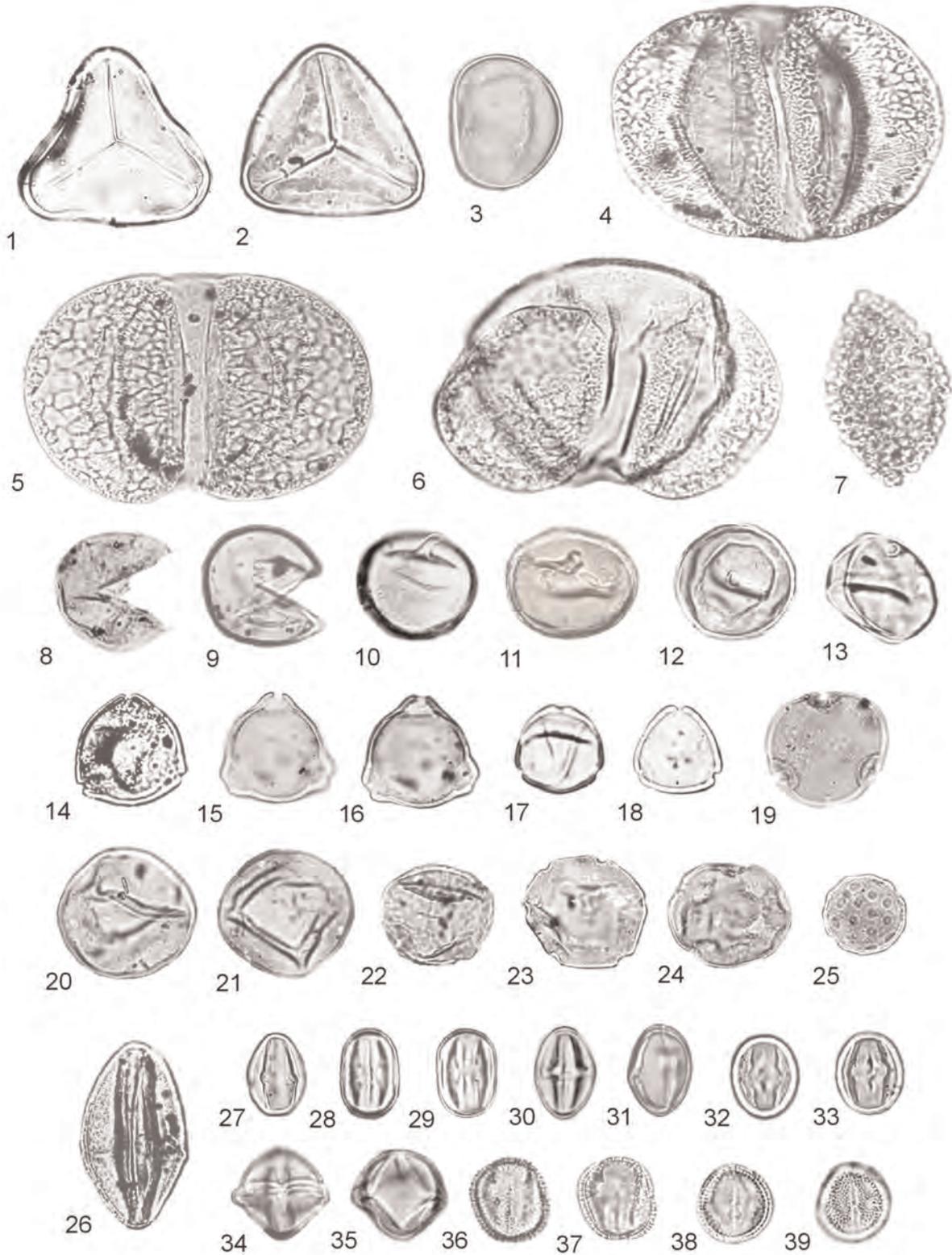


PLANCHE 2.a

Andenne - Champseau

- 1.2.3. *Tricolporopollenites kruschi* Th. et Pf. 1953 – *Nyssa*
- 4.5. *Tricolporopollenites vegetus* W.Kr. 1967 - *Hedera*
6. *Tricolporopollenites marcodurensis* Th. et Pf. 1953 – *Cissus* ; *Parthenocissus*
- 7.8.9. *Tricolporopollenites edmundi* Th. et Pf. 1953 – *Mastixia*
- 10.11.12. *Rhuspollenites ornatus* Thiele-Pfeiffer 1980 – **Anacardiaceae**
13. *Tricolporopollenites lasius* Th. et Pf. 1953 - **Araliaceae**
- 14.15.16. *Tricolporopollenites iliacus* Th. et Pf. 1953 – *Ilex*
- 17.18. *Tetracolporopollenites manifestus* Th. et Pf. 1953 - **Sapotaceae**
19. *Tetracolporopollenites sapotoides* Pf. et Th. 1953 – **Sapotaceae**
- 20.21.22.23. *Porocolpopollenites vestibulum* Th. et Pf. 1953 – *Symplocos*
24. *Tetradopollenites fsp.* – **Ericaceae**

Grossissements : x 50

PLANCHE 2.b

Florennes CM – FloRW8

1. *Pityosporites microalatus* Th. et Pf. 1953 – *Pinus*
2. *Inaperturopollenites hiatus* Th. et Pf. 1953 – *Taxodium*; *Glyptostrobus*
3. *Inaperturopollenites polyformosus* Th. et Pf. 1953 – *Sequoia*
4. *Caryapollenites simplex* W.Kr. 1961 – *Carya*
5. *Triatriopollenites engelhardtoides* Roche et Schuler 1976 – *Engelhardia*
6. *Monocolpopollenites tranquillus* Th. et Pf. 1953 – **Palmae**
7. *Monocolpopollenites parareolatus* W.Kr. 1958 – **Palmae**; *Sabal*.
8. *Tricolpopollenites parmularius* Th. et Pf. 1953 – *Eucommia*
9. *Tricolpopollenites liblarensis* (Thoms. 1950) *fallax* Th. et Pf. 1953
10. *Tricolporopollenites cingulum* Th. et Pf. 1953 – *Castanea*
11. *Tricolporopollenites edmundi* Th. et Pf. 1953 – *Mastixia*
- 12.13. *Tricolporopollenites kruschi* Th. et Pf. 1953 – *Nyssa*
14. *Tricolporopollenites iliacus* Th. et Pf. 1953 – *Ilex*
15. *Porocolpopollenites vestibulum* Th. et Pf. 1953 – *Symplocos*
16. *Tetradopollenites fsp.* – **Ericaceae**

Grossissements; x 50

PLANCHE 2a
Andenne - Champseau

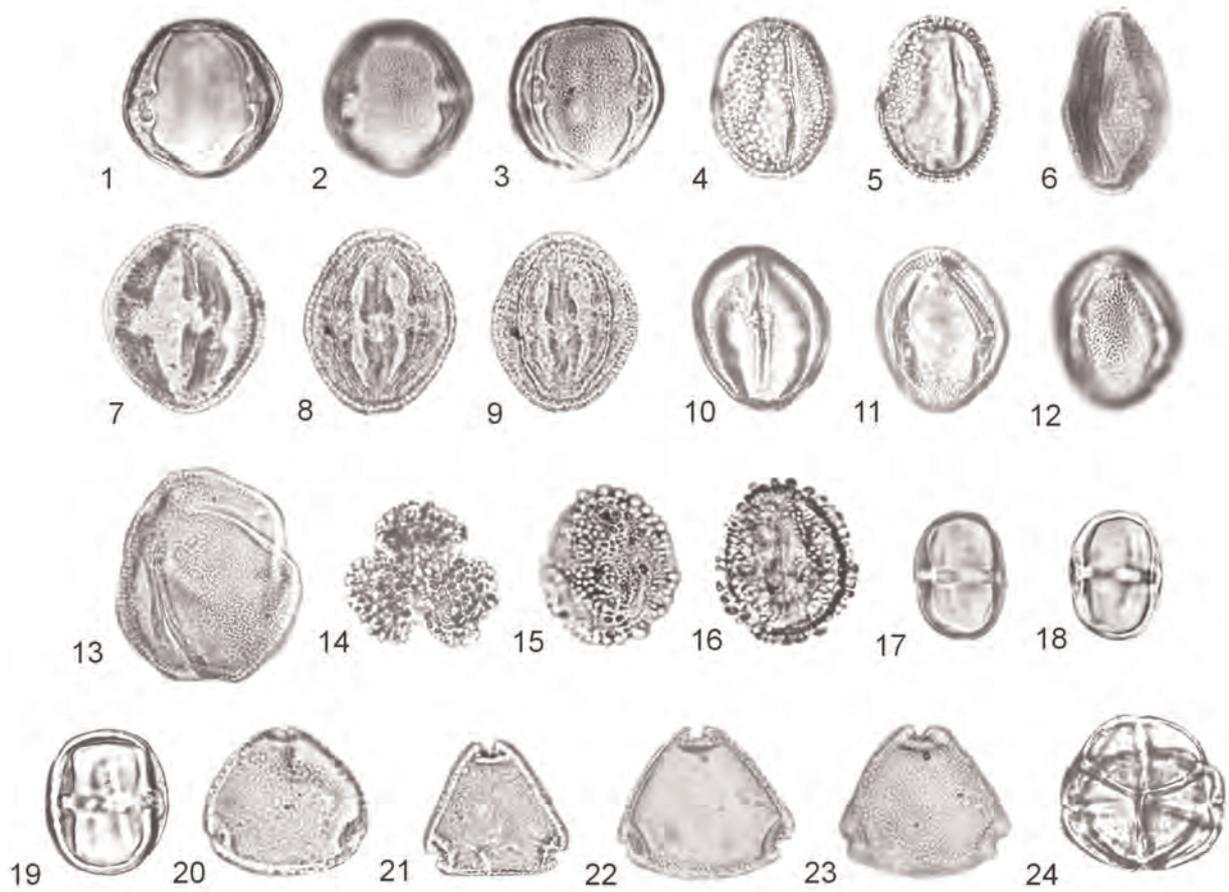


PLANCHE 2b
Florennes CM-FloRW8

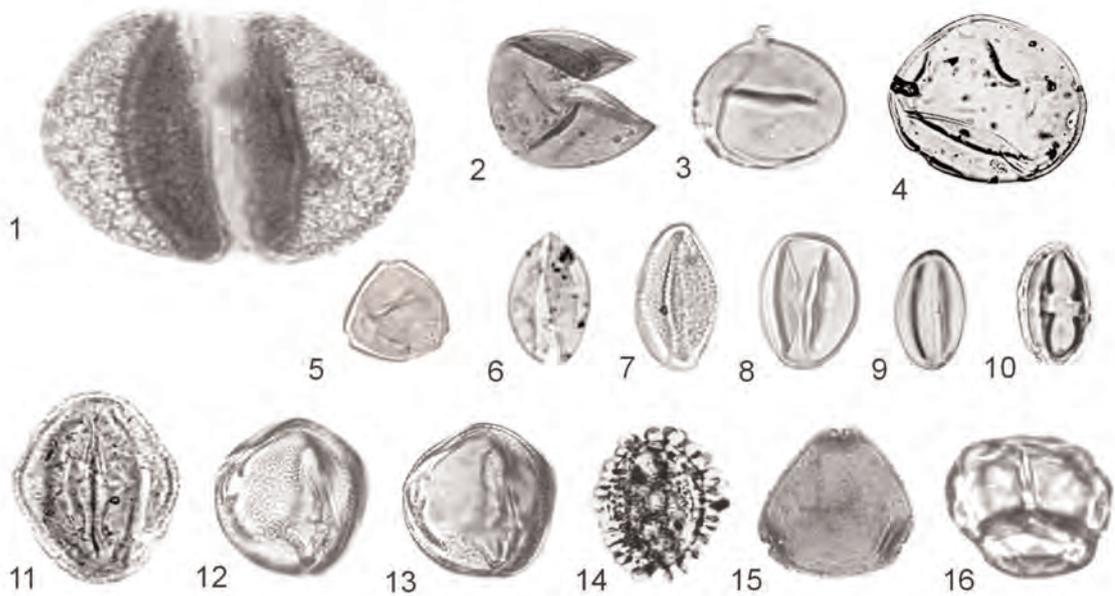


PLANCHE 3

Onhaye

1. *Leiotriletes triangulus* W.Kr. 1962 – **Pteridaceae**
2. *Laevigatosporites haardti* Th. et Pf. 1953 – **Polypodiaceae**
3. *Pityosporites labdacus* Th. et Pf. 1953 – **Pinus**
- 4.5. *Inaperturopollenites polyformosus* Th. et Pf. 1953 – **Sequoia**
- 6.7. *Inaperturopollenites hiatus* Th. et Pf. 1953 – **Taxodium; Glyptostrobus**
8. *Monocolpopollenites serratus* Th. et Pf. 1953 – **Sciadopytis**
9. *Graminidites fsp.* – **Poaceae**
10. *Triporopollenites coryloides* Th. et Pf. 1953 – **Corylus**
11. *Triporopollenites rhenanus* Th. et Pf. 1953 – **Ostrya**
12. *Trivestibulopollenites betuloides* Pf. 1953 – **Betula**
13. *Triatriopollenites engelhardtoides* Roche et Schuler 1976 – **Engelhardia**
- 14.15. *Triatriopollenites platycaryoides* Roche 1965 – **Platycarya**
16. *Triatriopollenites rurensis* Th. et Pf. 1953 – **Myrica**
17. *Polyporopollenites carpinoides* Th. et Pf. 1953 – **Carpinus**
18. *Polyporopollenites undulosus* Pf. 1953 – **Ulmus**
19. *Caryapollenites simplex* W.Kr. 1961 – **Carya**
20. *Intratriporopollenites instructus* Th. et Pf. 1953 – **Tilia**
21. *Polyvestibulopollenites verus* Th. et Pf. 1953 – **Alnus**
22. *Periporopollenites multiplex* Weyl. et Pf. 1957 – **Chenopodiaceae**
23. *Multiporopollenites maculosus* Th. et Pf. 1953 – **Juglans**
24. *Periporopollenites stigmosus* Th. et Pf. 1953 – **Liquidambar**
25. *Polyporopollenites stellatus* Th. et Pf. 1953 – **Pterocarya**
26. *Tricolporopollenites henrici* Th. et Pf. 1953 – **Quercus**
27. *Tricolporopollenites asper* Pf. et Th. 1953 – **Quercus**
28. *Tricolporopollenites verus* Raatz 1937 – **Fagus**
29. *Tricolporopollenites cingulum* Th. et Pf. 1953 – **Castanea**
- 30.31. *Tricolporopollenites kruschi* Th. et Pf. 1953 – **Nyssa**
32. *Tricolporopollenites marcodurensis* Th. et Pf. 1953 – **Cissus; Parthenocissus**
33. *Tricolporopollenites edmundi* Th. et Pf. 1953 – **Mastixia**
- 34.35. *Tricolporopollenites iliacus* Th. et Pf. 1953 – **Ilex**
36. *Tricolporopollenites microreticulatus* Pf. et Th. 1953 – **Fraxinus**
37. *Tricolporopollenites sustmannii* Pf. et Th. 1953 – **Phellodendron**
- 38.39. *Reevesiapollis major* Roche et Schuler 1976 – **Reevesia**
- 40.41.42. *Porocolpopollenites vestibulum* Th. et Pf. 1953 – **Symplocos**
43. *Tetradopollenites fsp.* – **Ericaceae**
44. *Ovoidites ligneolus* R.Pot. 1951 – **Zyguemataceae**

Grossissements : x 50

PLANCHE 3

Onhaye

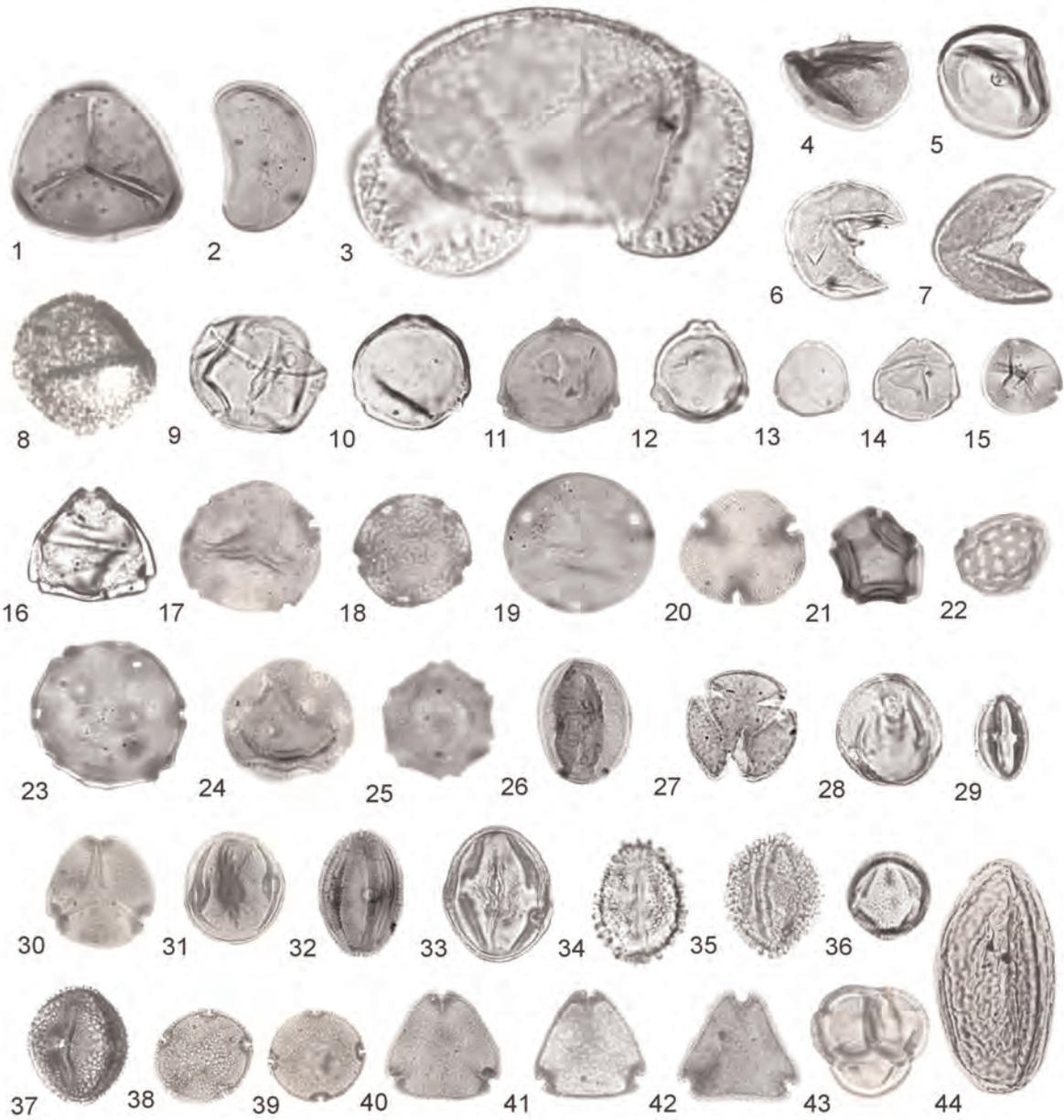


PLANCHE 4

Bioul

1. *Leiotriletes triangulus* W.Kr. 1962 – **Pteridaceae**
2. *Laevigatosporites discordatus* Pf. 1953 – **Polypodiaceae**
3. *Pityosporites labdacus* Th. et Pf. 1953 – *Pinus*
4. *Pityosporites absolutus* Th. et Pf. 1953 – *Abies*
5. *Pityosporites alatus* Th. et Pf. 1953 – *Picea*
- 6.7. *Inaperturopollenites hiatus* Th. et Pf. 1953 – *Taxodium; Glyptostrobus*
- 8.9.10. *Inaperturopollenites polyformosus* Th. et Pf. 1953 – *Sequoia*
12. *Triporopollenites coryloides* Th. et Pf. 1953 – *Corylus*
13. *Triatriopollenites rurensis* Th. et Pf. 1953 – *Myrica*
14. *Trivestibulopollenites betuloides* Pf. 1953 – *Betula*
15. *Triatriopollenites engelhardtioides* Roche et Schuler 1976 – *Engelhardia*
16. *Triatriopollenites platycaryoides* Roche 1965 – *Platycarya*
17. *Caryapollenites simplex* W.Kr. 1961 – *Carya*
18. *Intratriporopollenites instructus* Th. et Pf. 1953 – *Tilia*
19. *Polyporopollenites carpinoides* Th. et Pf. 1953 – *Carpinus*
20. *Polyporopollenites undulosus* Pf. 1953 – *Ulmus*
21. *Periporopollenites stigmosus* Th. et Pf. 1953 – *Liquidambar*
22. *Multiporopollenites maculosus* Th. et Pf. 1953 – *Juglans*
23. *Polypvestibulopollenites verus* Th. et Pf. 1953 – *Alnus*
24. *Tricolporopollenites henrici* Th. et Pf. 1953 – *Quercus*
25. *Tricolporopollenites asper* Pf. et Th. 1953 – *Quercus*
26. *Tricolporopollenites cingulum* Th. et Pf. 1953 – *Castanea*
27. *Tricolporopollenites microreticulatus* Pf. et Th. 1953 – *Fraxinus*
- 28.29. *Tricolporopollenites verus* Raatz 1937 – *Fagus*
30. *Tricolporopollenites edmundi* Th. et Pf. 1953 – *Mastixia*
31. *Tricolporopollenites iliacus* Th. et Pf. 1953 – *Ilex*
- 32.33. *Porocolporopollenites vestibulum* Th. et Pf. 1953 – *Symplocos*
34. *Tetradopollenites fsp.* – **Ericaceae**

Grossissements: x 50

PLANCHE 4

Bioul

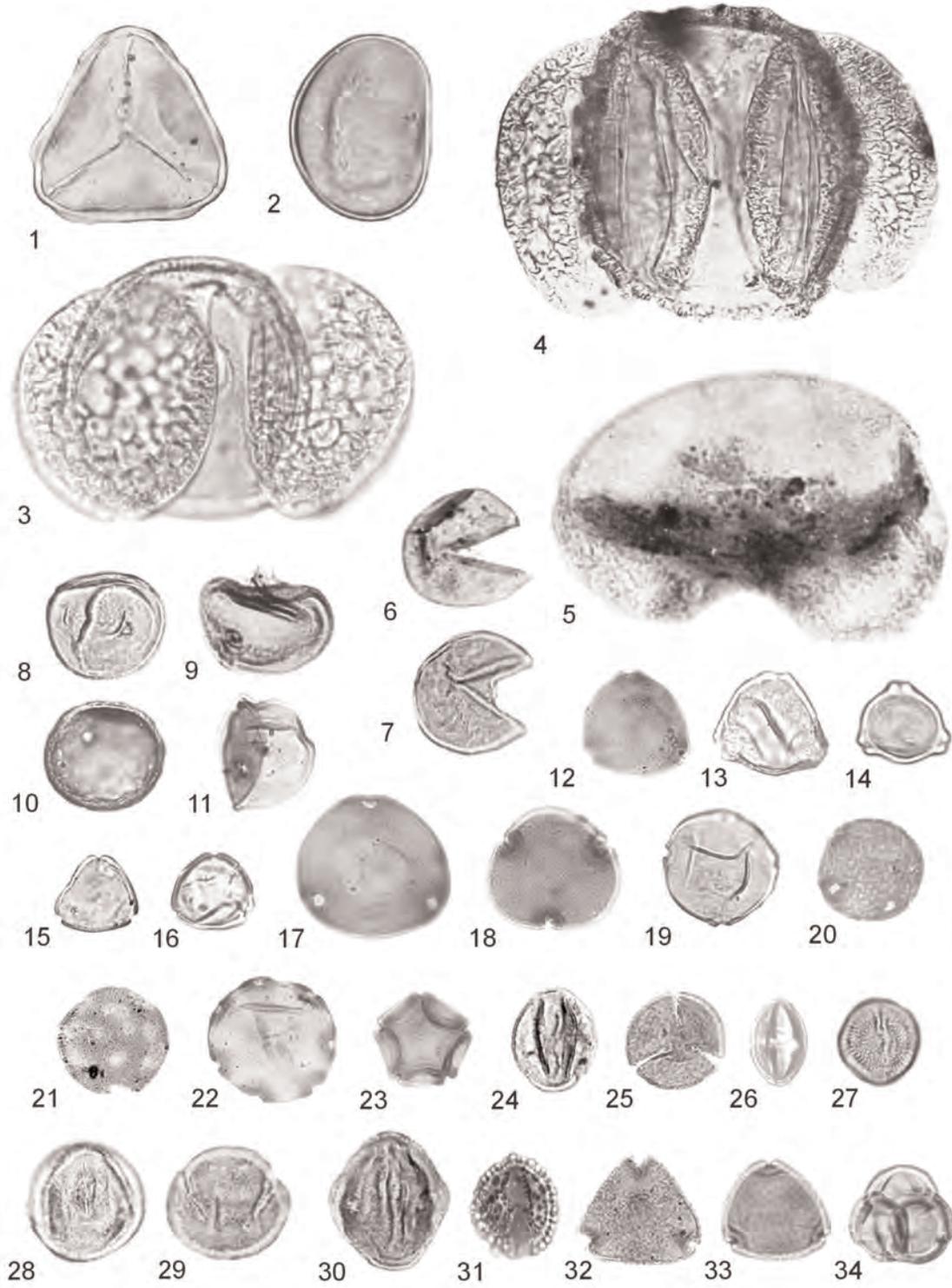


PLANCHE 5.a

Freyr

1. *Retitriletes fsp* – **Lycopodiaceae**
2. *Stereisporites fsp* – **Spagnum**
3. *Inaperturopollenites dubius* Th. et Pf. 1953 – **Taxodiaceae** (cf. *Sequoia*)
4. *Inaperturopollenites dubius* Th. et Pf. 1953 – **Taxodiaceae** (cf. *Taxodium*)
5. *Pityosporites absolutus* Th. et Pf. 1953 – **Abies**
6. *Pityosporites labdacus* Th. et Pf. 1953 – **Pinus**
7. *Pityosporites alatus* Th. et Pf. 1953 – **Picea**
8. *Monocolpopollenites serratus* Th. et Pf. 1953 – **Sciadopitys**
- 9.10. *Zonalapollenites igniculus* Th. et Pf. 1953 – **Tsuga**
11. *Graminidites fsp.* – **Poaceae**
12. *Tripoporopollenites coryloides* Th. et Pf. 1953 – **Corylus**
13. *Triatriopollenites ruvensis* Th. et Pf. 1953 – **Myrica**
14. *Trivestibulopollenites betuloides* Pf. 1953 – **Betula**
15. *Polyvestibulopollenites verus* Th. et Pf. 1953 – **Alnus**
16. *Polypoporopollenites carpinoïdes* Th. et Pf. 1953 – **Carpinus**
17. *Polypoporopollenites undulosus* Pf. 1953 – **Ulmus**
18. *Tricolporopollenites asper* Pf. et Th. 1953 – **Quercus**
19. *Tricolporopollenites liblarensis* (Thoms. 1950) *fallax* Th. et Pf. 1953
20. *Tricolporopollenites retiformis* Pf. et Th. 1953 – **Salix**
21. *Tricolporopollenites cingulum* Th. et Pf. 1953 – **Castanea**
22. *Tricolporopollenites microechinatus* Trevisan 1967 – **Asteraceae**
- 23.24. *Tricolporopollenites verus* Raatz 1937 – **Fagus**
25. *Tricolporopollenites iliacus* Th. et Pf. 1953 – **Ilex**
- 26.27.28. *Tricolporopollenites helmstedtensis* Pf. 1953
29. *Porocolpopollenites vestibulum* Th. et Pf. 1953 – **Symplocos**
- 30.31. *Tetradopollenites fsp.* – **Ericaceae**

Grossissements: x 50

PLANCHE 5.b

Florennes Berthe

- 1.2. *Stereisporites fsp* - **Sphagnum**
3. *Pityosporites labdacus* Th. et Pf. 1953 – **Pinus**
4. *Pityosporites alatus* Th. et Pf. 1953 – **Picea**
5. *Graminidites fsp* – **Poaceae**
6. *Cyperaceapollis fsp* – **Cyperaceae**
- 7.8. *Sparganiaceapollenites fsp* – **Sparganium; Typha**
9. *Tripoporopollenites coryloides* Th. et Pf. 1953 – **Corylus**
10. *Trivestibulopollenites betuloides* Pf. 1953 – **Betula**
11. *Polypoporopollenites carpinoïdes* Th. et Pf. 1953 – **Carpinus**
12. *Polypoporopollenites undulosus* Pf. 1953 – **Ulmus**
13. *Polyvestibulopollenites verus* Th. et Pf. 1953 – **Alnus**
14. *Peripoporopollenites multiplex* Weyl. et Pf. 1957 – **Chenopodiaceae**
15. *Tricolporopollenites asper* Pf. et Th. 1953 – **Quercus**
16. *Tricolporopollenites henrici* Th. et Pf. 1953 – **Quercus**
17. *Tricolporopollenites retiformis* Pf. et Th. 1953 – **Salix**
18. *Tricolporopollenites verus* Raatz 1937 – **Fagus**
- 19.20. *Tricolporopollenites microechinatus* Trevisan 1967 – **Asteraceae**
- 21.22. *Tetradopollenites fsp.* – **Ericaceae**

Grossissements : x 50

PLANCHE 5a

Freyr

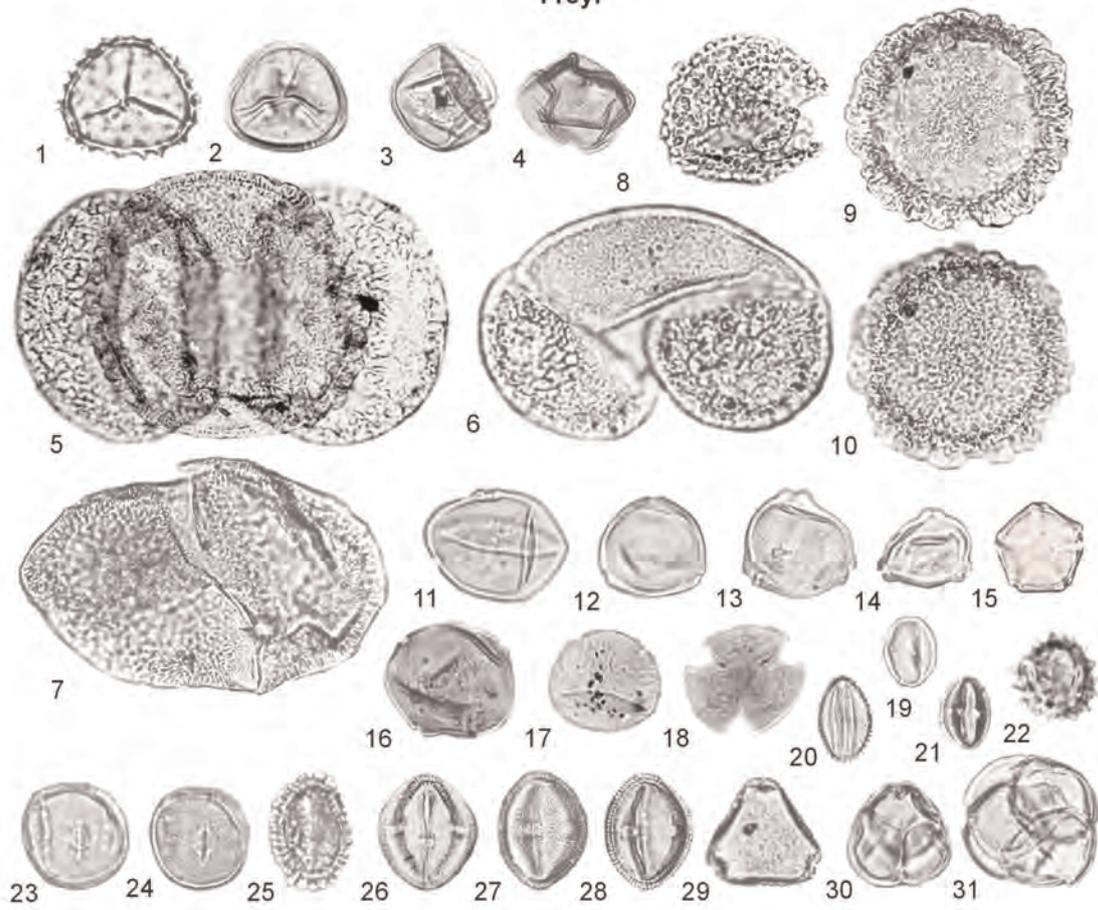


PLANCHE 5b

Florennes Berthe

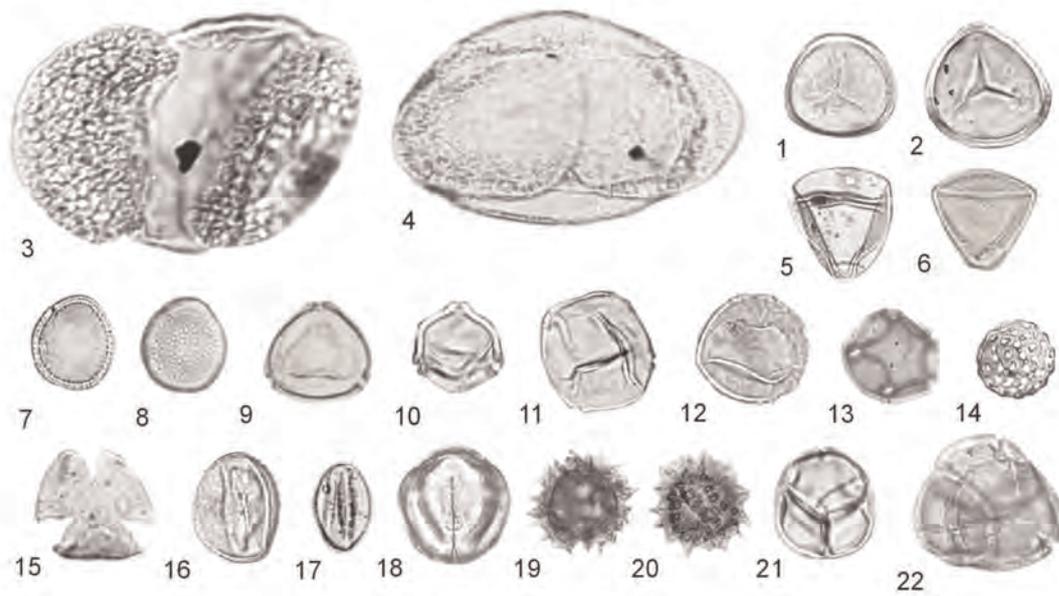


PLANCHE 6

Bioul - Macrorestes

1. *Abies alba* Mill. – écaille – x8
2. *Cupressocornus rhenanus* Kippler – (*Cupressus*) – fragment de cône – x8
3. *Glyptostrobus europaeus* (Brongniart) Unger – écaille – x4
4. *Sequoia langsdorffii* (Brongniart) Heer – fragment de cône – x8
5. *Pinus* sp. – cône mâle – x8
6. *Pinus thomasi* (Goeppert) Reichenbach – cône femelle – x2
7. *Picea* sp. – cône femelle – x2
8. *Taxodium dubium* (Stenberg) Heer – graine – x4
9. *Taxodium dubium* (Stenberg) Heer – cône femelle – x4
10. *Taxodium* sp. – rameau (empreinte) – x1
11. *Alnus lusatica* Mai – graine – x8
12. *Aralia chinensis* L. – endocarpe – x8
13. *Betula longisquamata* Mädlar – fruit – x8
14. *Carpinus betulus* L. – fruit – x5
15. *Eucommia ulmoides* Oliver – samare – x2
16. *Quercus robur* L. – fruit – x15
17. *Ficus potentillonides* Mai – graine – x16
18. *Crataegus nodulosa* Reid – graine – x15
19. *Ilex thuringiaca* Mai – endocarpe – x8
20. *Ilex* sp. – endocarpe – x10
21. *Liquidambar magniloculata* Czechtz et Skirgiello – fruit – x2
22. Ericaceae – capsule – x16
23. Ericaceae – capsule et graine – x16
24. *Magnolia burseracea* (Menzel) Mai – graine – x4
25. *Myrica johnstrupii* Friis – empreinte d'endocarpe – x16
26. *Myrica minima* Negru – endocarpe – x16
27. *Nyssa disseminata* (Ludwig) Kircheimer – endocarpe – x4
28. *Nyssa disseminata* (Ludwig) Kircheimer – endocarpe – x4
29. *Ostrya szaffervii* – fruit – x8
30. *Platanus neptunii* (Ettinghausen) Buzek, Holy et Kvacek – akène – x10
31. *Pterocarya limburgensis* Reid et Reid – endocarpe – x10
32. *Pyracantha acuticarpa* (Reid et Reid) Szafer – graine – x8
33. *Sorbus expansa* Koehne – x15
34. *Symplocos lignitarum* (Quenstedt) Kircheimer – endocarpe – x6
35. *Symplocos pliocaenicum* Van der Burgh – endocarpe – x6
36. *Suida bugloviana* (Dorofeev) Negru – graine – x10
37. *Vitis parasylovestris* Kircheimer – graine – x10
38. *Vitis parasylovestris* Kirchheimert – graine – x10
39. *Rubus microspermus* Reid et Reid – endocarpe – x20
40. *Carex caespitosa* L. – akène – x25
41. *Potamogeton koniensis* Raniecka-Bobrowska – graine – x12
42. *Cladium palaeomariscus* Dorofeev – endocarpe – x20
43. *Monochoria striatella* Mai – graine – x25
44. *Carpolithes nikitinii* Friis – cf. *Hypericum* – graine – x20
45. *Sparganium* sp. – pericarpe – x20
46. *Scirpus* sp. – akène – x18
47. *Typha* sp. – graine – x40

PLANCHE 6

Bioul

