



Available online at www.sciencedirect.com

SCIENCE @ DIRECT®

C. R. Palevol 4 (2005) 135–150



<http://france.elsevier.com/direct/PALEVO/>

Paléontologie générale (Biostratigraphie)

Implications paléontologiques et géodynamiques de la datation palynologique des sédiments à faciès wealdien de Bernissart (bassin de Mons, Belgique)

Johan Yans ^{a,*}, Jean Dejax ^b, Denise Pons ^c, Christian Dupuis ^a, Philippe Taquet ^b

^a Service de géologie fondamentale et appliquée, faculté polytechnique de Mons, 9, rue de Houdain, 7000 Mons, Belgique

^b « Paléobiodiversité et paléoenvironnements », USM 0203, CNRS UMR 5143, Département « Histoire de la Terre », Muséum national d'histoire naturelle, case postale 38, 57, rue Cuvier, 75231 Paris cedex 05, France

^c « Paléobiodiversité et paléoenvironnements », EA3496, CNRS UMR 5143, laboratoire de paléobotanique et paléoécologie, université Pierre-et-Marie-Curie, 12, rue Cuvier, 75005 Paris, France

Reçu le 18 septembre 2004 ; accepté le 7 décembre 2004

Disponible sur internet le 18 janvier 2005

Rédigé à l'invitation du Comité éditorial

Résumé

Le para-taxon *biorecord* *Superret-croton*, défini par Hughes et al. en 1979 dans le sous-bassin du Wessex (Angleterre), est pour la première fois mis en évidence dans les faciès wealdiens du « cran aux Iguanodons » de Bernissart (formation des Argiles de Sainte-Barbe, bassin de Mons, Belgique). Ce morphotype témoigne de la présence d'angiospermes. Il est équivalent au taxon morphologique *Stellatopollis hughesii* Penny, 1986. En utilisant son extension verticale définie dans les coupes de référence bien datées des sous-bassins du Weald et du Wessex (Angleterre), un âge compris entre le Barrémien moyen et l'Aptien basal est attribué sédiments à faciès wealdien situés à 322 m de profondeur dans le « cran aux Iguanodons ». Cette datation confirme, d'une part, l'âge Barrémien hypothétique, antérieurement avancé sur la base de l'évolution morphologique des Iguanodontidae. Elle précise, d'autre part, l'âge du début de la subsidence dans le bassin de Mons, contemporain d'une baisse du niveau eustatique de deuxième ordre et probablement associé à la dissolution d'anhydrites profondes. **Pour citer cet article : J. Yans et al., C. R. Palevol 4 (2005).**

© 2005 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

Abstract

Palaeontological and geodynamical implications of the palynological dating of the wealden facies sediments of Bernissart (Mons Basin, Belgium). The para-taxon *biorecord* *Superret-croton*, characterized in 1979 by Hughes et al. in the Wessex sub-basin (England), is for the first time recognized in the Wealden facies sediments of Bernissart (Sainte-Barbe Formation, Mons Basin, Belgium). This morphotype demonstrates the presence of angiosperms. It is equivalent to the morphogra-

* Corresponding author.

Adresse e-mail : Johan.Yans@fpms.ac.be (J. Yans).

phic taxon *Stellatopollis hughesii* Penny, 1986. By using its stratigraphic distribution in the well-dated reference sections of the Weald and Wessex sub-basins (England), we suggest that the wealden facies sediments at 322 m deep in the natural pit of Bernissart are Middle Barremian to Earliest Aptian in age. This dating confirms the hypothetic Barremian age previously suggested on the basis of the morphologic evolution of the Iguanodontidae. It also clarifies the beginning of the subsidence in the Mons Basin, coeval with an eustatic drop (second order) and probably related to the dissolution of deep anhydrites. **To cite this article:** J. Yans et al., C. R. Palevol 4 (2005).

© 2005 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

Mots clés : Pollen ; Angiospermes ; Faciès wealdien ; *Iguanodon* ; Barrémien ; Aptien ; Subsidence ; Bassin de Mons ; Bernissart ; Belgique

Keywords: Pollen; Angiosperms; Wealden facies; *Iguanodon*; Barremian; Aptian; Subsidence; Mons Basin; Bernissart; Belgium

Abridged English version

Introduction

The wealden facies are the most ancient sediments of the Mons Basin [60]. At Bernissart, in the western part of the basin, they are trapped in the ‘Cran aux Iguanodons’ which is an exceptional palaeontological site. The age of the wealden facies of Bernissart remains approximate. It is however essential to date these sediments in order to (1) integrate the palaeontological content of the ‘Cran’ in the geological and palaeogeographical context, and (2) clarify the timing and the nature of the initial steps of the subsidence in the Mons Basin.

Geological setting

Bernissart is located in the Mons Basin considered as a northeastern extension of the Paris Basin (Fig. 1). The Mons Basin is a gentle synform, filled with Mesozoic and Cainozoic sediments (Fig. 2). The wealden facies occur [30,84,96,97] (Fig. 1):

(1) in outcrops or weakly buried sediments in the northern part of the basin, from Hautrage to La Louvière (Hautrage Clays Formation, Baudour Clays Formation and lower part of the Saint-Pierre Gravels Formation);

(2) in filling several sinkholes developed on carbonates and siliciclastic sediments, for example at Bernissart (Sainte-Barbe Clays Formation);

(3) in outcrops or weakly buried white sands and sandstones in the eastern part of the Mons Basin (upper part of the Saint-Pierre Gravels Formation).

The ‘Cran aux Iguanodons’ of Bernissart (Belgium) is famous because of its abundant and very well-

preserved fossils: twenty-eight specimens of *Iguanodon bernissartensis* Boulenger, 1881, including the holotype, one skeleton of *Iguanodon atherfieldensis* (Hooley, 1925), a phalanx of Theropoda *indet.*, thousands of fishes, six turtles, four crocodiles, one salamander, one fragment of a cicada, numerous coprolites, and fragments of plants [8,62]. The fossils were collected between 1878 and 1881 from the wealden facies at 322 and 356 m deep in a coal mine. In the Mons Basin, a ‘Cran’ is a natural pit that can be considered as a sub-vertical structure that stops the continuity of the carboniferous siliciclastic sediments [17–20] (Fig. 3). Boreholes performed inside and around ‘Crans’ allow several authors to suggest a genetic link between their formation and the incomplete dissolution of deep Viséan anhydrites [17,20,28].

Material and nomenclatures

We have made palynological preparations on sixteen samples of dinosaur-bearing sediments collected at 322 meters deep during the excavations of 1878–1881. We used the *spora dispersae* morphographical classification [79,80] modified after several works [10,21,29,72–78] for the non-angiospermous palynomorphs. For the pollen of angiosperms, we used both the *spora dispersae* morphological classification and the ‘Hughes’ system’, a para-taxonomical nomenclature that has been elaborated by this author and his collaborators in the reference successions of wealden facies of England [44–46,49–51]. Several authors concluded that Hughes’ nomenclatural system is compatible with the conventional nomenclature [69].

Dating

Previous studies

The wealden facies of the Mons Basin have been attributed to various ages on the basis of different approaches [1,2,58,60,66,68,89,92,93] (Fig. 4). A recent lithostratigraphic synthesis of Belgium concluded that they are Late Jurassic to Early Cretaceous in age [84].

Palynological content

The state of preservation of the palynomorphs of Bernissart is very good. The palynological assemblage shows a typical ‘wealden’ character. It comprises palynomorphs of continental origin only: spores, pollen grains and freshwater ‘algae’ spores, among plant debris. We here report for the first time the occurrence of angiosperms in the Wealden facies of the Mons Basin. The biorecord *Superret-croton* (defined by Hughes et al. in 1979, which is equivalent to the morphological taxon *Stellatopollis hughesii* Penny, 1986) has been observed in the wealden facies at 322 m deep in the ‘Cran aux Iguanodons’ (Fig. 5).

Contribution of the palynology to the dating

Unlike other plant groups, the pollen of angiosperms had rapid evolutionary rates during the Early Cretaceous, allowing precise dating of continental sediments. The occurrence of the biorecord *Superret-croton* allows us to propose a correlation between the wealden facies at 322-m depth in the ‘Cran aux Iguanodons’ and the wealden facies from the reference sections of the Weald and Wessex sub-basins. In these reference sections well dated by the dinoflagellate cysts and the ammonites [33,34,50,54,82,83], Hughes and his collaborators highlighted a stratigraphical scheme essentially based on the angiospermous pollen and divided into six MCT phases (*Monosulcate Columellate Tectate*) [42]: MCT phases 0 and 1 are Hauterivian, MCT phase 2 Early Barremian, MCT phase 3 Middle to Late Barremian, MCT phase 4 marks the Barremian/Aptian boundary, and MCT phase 5 covers Early Aptian (Fig. 6).

In the reference successions of the Weald and Wessex sub-basins, the biorecord *Superret-croton* is attributed to MCT phases 3 to 5. The scarcity of the angiospermous pollen grains among the assemblage of Bernissart discards the MCT phase 5, which is charac-

terized by more than 10% of angiosperm pollen [42]. The wealden facies of Bernissart are therefore restricted to the MCT phases 3 and 4, which encompass the Middle Barremian to the Barremian–Aptian boundary. More precisely, the Barremian–Aptian boundary has been located within the MCT phase 4 since magnetostratigraphy was used in the Isle of Wight wealden facies reference succession to constrain the position of the reversal Magnetochron Zero (M0r). This latter has been considered as the best method with which to define the Barremian–Aptian boundary [55]. Therefore, the upper part of the MCT 4 phase should be Earliest Aptian in age (Fig. 6). The dating is corroborated by the occurrence of *Stellatopollis hughesii* Penny, 1986 in sediments from Egypt well dated with dinoflagellate cysts from Late Barremian to Early Aptian [71]. Moreover, fragments of the macrospore *Dijkstrasporites helios* (Dijkstra, 1951) Potonié, 1956 have been observed in the material of Bernissart. This taxon is Middle–Late Barremian to Santonian–Campanian in age [56,86].

Paleontological implication of the dating

The Middle Barremian to Earliest Aptian age of the wealden facies of Bernissart (at 322-m depth) is consistent with the previous dating suggested by Taquet [89] on the basis of the morphological evolution of the Iguanodontidae. The discovery of an abundant fauna of Iguanodontidae in Aptian beds of Niger allows Taquet [89] to propose comparisons with the European wealden fauna. The African fauna contains two distinct morphological groups: (1) a slender taxon, *Ouranosaurus nigeriensis* Taquet 1976 [90], which can be compared to European *Iguanodon atherfieldensis* even if the former is more developed and probably closer to Hadrosauridae than Iguanodontidae, and (2) a stocky taxon, *Lurdusaurus arenatus* Taquet & Russell, 1999 [91], which can be compared to the European *Iguanodon bernissartensis*. Taking into account the steps of the evolution of the Iguanodontidae–Hadrosauridae, and the developed characters of the Aptian taxon *O. nigeriensis*, Taquet [89] suggests that the European Iguanodontidae are more ancient than the African fauna. The European Iguanodontidae should therefore be ante-Aptian and probably Barremian in age. This previous hypothesis is confirmed by the palynological dating of this work.

Geodynamic implication of the dating

The wealden facies are the most ancient sediments of the Mons Basin. The wealden facies of Bernissart (at 322-m depth) are Middle Barremian to Earliest Aptian in age, allowing us to clarify the lithostratigraphic chart of the Mons Basin (Fig. 7).

The initial steps of the Mons Basin subsidence remain a field of debate [60]. Several mechanisms were suggested [17,28,85,94], including deposition in residual topographies, development during a global extensional regime, and space created at the surface in response to the incomplete dissolution of deep anhydrites. In this context the dating of the wealden facies trapped in the ‘Cran aux Iguanodons’ enables us to integrate the initial step of the basin subsidence into its geological context. The Middle Barremian to Earliest Aptian time interval is characterized by the beginning of an eustatic drop (second order), which is consistent with the activation of the dissolution of the Viséan anhydrites. The dating of the Wealden facies therefore argues about a genetic link between the beginning of the subsidence in the Mons Basin and the incomplete dissolution of the Viséan anhydrites.

Conclusions

Pollen of angiosperms is for the first time recognized in the wealden facies, which are the most ancient sediments of the Mons Basin (Belgium). The stratigraphic distribution of the biorecord *Superret-croton* (equivalent to *Stellatopollis hughesii* Penny, 1986) suggests a Middle Barremian to Earliest Aptian age for the wealden facies and the dinosaurs trapped at 322-m depth in the ‘Cran aux Iguanodons’ of Bernissart. This dating thus confirms the pre-Aptian age previously suggested on the basis of the morphological evolution of the Iguanodontidae. It also demonstrates the Middle Barremian to Earliest Aptian age of the beginning of the subsidence in the Mons Basin, which is correlated with an eustatic drop (second order). This is consistent with the probable genetic link between the initial steps of basin subsidence and the dissolution of deep anhydrites.

1. Introduction

Les sédiments à faciès wealdien (ou faciès wealdiens) sont les dépôts les plus anciens du bassin de

Mons [60]. À Bernissart, dans la partie ouest du bassin, les faciès wealdiens sont piégés dans le « cran aux Iguanodons », un gisement paléontologique remarquable par la richesse et la diversité des spécimens (crocodiles, dinosaures, poissons, tortues, végétaux...) qui y ont été découverts entre 1878 et 1881.

L’âge des faciès wealdiens du bassin de Mons reste cependant très imprécis. Les dater est essentiel afin (1) d’intégrer le contenu paléontologique du « cran aux Iguanodons » dans son contexte géologique et paléogéographique et (2) de préciser l’histoire géologique du bassin de Mons, alors naissant. Cette note déterminera l’âge des faciès wealdiens de Bernissart, à partir de l’analyse palynologique et plus particulièrement du pollen d’angiospermes, pour la première fois mis en évidence en Belgique. Des implications paléontologiques et géodynamiques seront déduites de cet âge.

2. Cadre géologique

2.1. Les faciès wealdiens dans le Bassin de Mons

Le site de Bernissart est localisé dans le bassin de Mons (Belgique), à remplissage méso-cénozoïque (Fig. 1). Ce bassin, d’allure globalement synforme (Fig. 2), constitue une digitation d’orientation est-ouest d’une quarantaine de kilomètres de longueur, sur une dizaine de kilomètres de largeur, située à la bordure nord-est du bassin de Paris [4,7,59].

Pour la première fois appliqué pour définir la formation *weald clay* affleurant dans la région du Weald, dans le Sud-Est de l’Angleterre [11], le terme *wealdien* fait son apparition en 1849 en Belgique [27] : les Argiles d’Hautrage sont alors attribuées à « *quelque partie de la formation wealdienne* ». Dans le bassin de Mons, les faciès wealdiens sont reconnus dans trois contextes différents (Figs. 1 et 2) [84,97] :

(1) à l’affleurement ou enfouis sous les couches albocénomaniennes, dans des « poches », sur la bordure nord du bassin, d’Hautrage à l’ouest jusqu’à La Louvière à l’est, ainsi qu’au centre du bassin ; ces dépôts appartiennent à la formation des Argiles d’Hautrage, à la formation des Argiles de Baudour et à la partie inférieure de la formation des Gravieres de Saint-Pierre, datée de l’Albien supérieur, dans la région de Strépy [96,97] ;

(2) en remplissages de karsts et de puits naturels (par exemple à Bernissart), regroupés dans la formation des

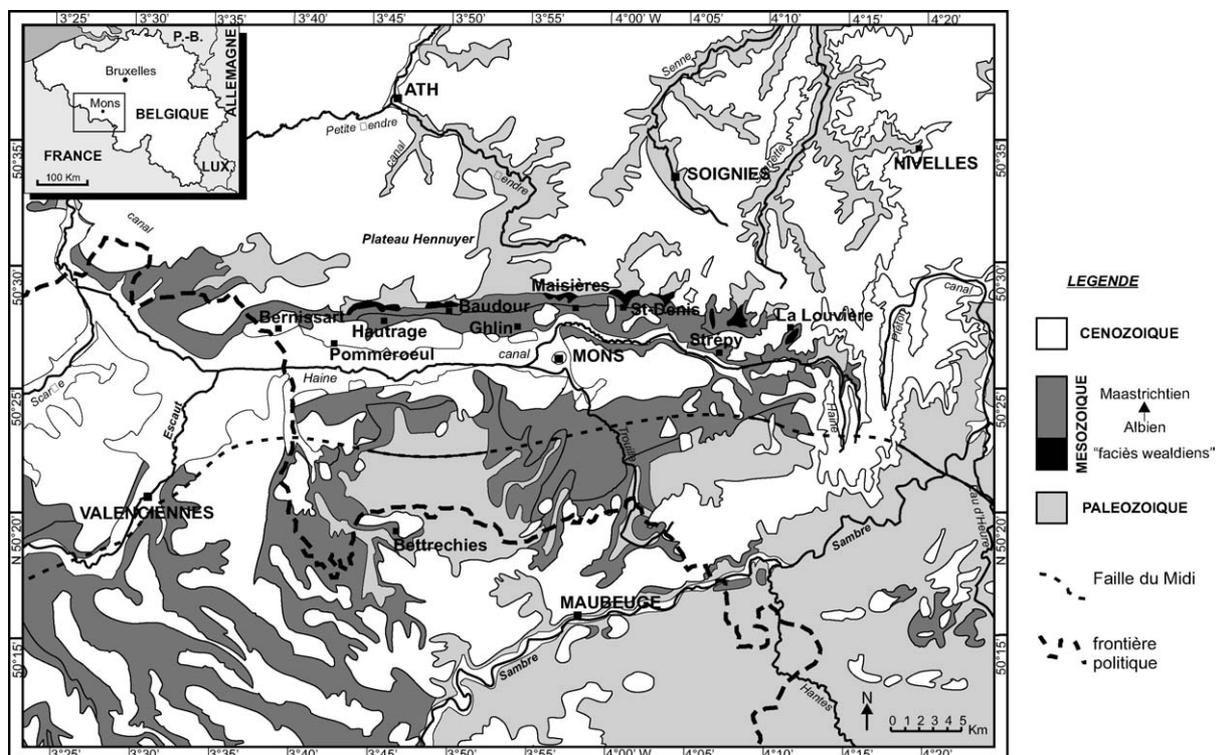


Fig. 1. Carte géologique simplifiée du bassin de Mons [4,61]. Localisation du site de Bernissart et des « poches » de faciès wealdiens (en noir) sur le bord nord du bassin.

Fig. 1. Simplified geological map of the Mons Basin [4,61]. Location of Bernissart and of the ‘pockets’ filled with Wealden facies sediments (in black) on the northern border of the Basin.

Argiles de Sainte-Barbe (en référence à l’ancienne mine Sainte-Barbe de Bernissart) ;

(3) intercalés entre les couches de l’Albo-Cénomaniens et du Turonien supérieur, dans la partie est du Bassin de Mons ; ces faciès constituent le Céo-

manien à faciès wealdien [30] ; ils sont datés du Turonien [96] et assimilés à la partie supérieure de la formation des Gravieres de Saint-Pierre.

Seule la formation des Argiles de Sainte-Barbe sera étudiée dans ce travail.

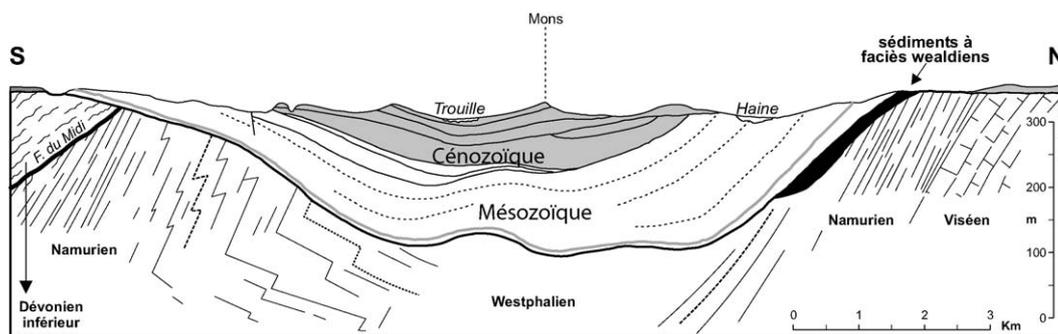


Fig. 2. Coupe schématique nord–sud du bassin de Mons, présentant les sédiments mésozoïques et cénozoïques sur le socle paléozoïque [4,60]. Les « poches » de faciès wealdiens (en noir) sont perchées sur la bordure nord du bassin.

Fig. 2. Schematic north–south section of the Mons Basin consisting of Mesozoic and Cainozoic sediments over a Palaeozoic basement [4,60]. The ‘pockets’ filled with Wealden facies sediments (in black) are located in the northern part of the basin.

2.2. Le « cran aux Iguanodons » de Bernissart

2.2.1. Morphologie et genèse

Le « cran aux Iguanodons » de Bernissart est un puits naturel recoupant les schistes houillers, comblé par des faciès wealdiens et recouvert par des sédiments albiens à yprésiens (Fig. 3). Dans le bassin de Mons, on appelle puits naturel une cheminée ou colonne subverticale de section subcirculaire, qui interrompt la continuité du gisement houiller (Fig. 3) [18]. Le diamètre de ces puits varie de 30 à 600 m [19] ; leur profondeur peut atteindre plus de 1200 m [81]. Entre 1864 et 1918, le « cran aux Iguanodons » de Bernissart a été recoupé par les mineurs à 240 (en partie), 322, 356 et 415 m de profondeur [12]. À 240, 322 et 356 m de profondeur, il est colmaté par des faciès wealdiens, alors qu'à 415 m ne subsistent que des débris de roches houillères [12], formant une brèche à ciment argileux (Fig. 3). À la suite de forages profonds réalisés dans différents puits naturels, et à proximité de ceux-ci, plusieurs auteurs [17,20,28] ont émis l'hypothèse d'un lien génétique entre leur formation et la dissolution plus ou moins complète des niveaux d'anhydrites situées plus en profondeur, dans le calcaire viséen.

2.2.2. Contenu macropaléontologique

Vingt-neuf squelettes complets du genre *Iguanodon* ont été extraits du « cran aux Iguanodons », à 322 et 356 m de profondeur. Vingt-huit spécimens appartiennent à l'espèce *Iguanodon bernissartensis* Boulenger, 1881 (dont l'holotype) et un seul à l'espèce *Iguanodon atherfieldensis* (Hooley, 1925). Sur le plan historique,

les squelettes du genre *Iguanodon* extraits de ce site sont parmi les premiers dinosauriens complets mis au jour [64]. Une phalange de Theropoda *indet.* a également été recensée. Outre les dinosauriens, près de 3000 poissons, six tortues, plusieurs restes de crocodiles, un amphibien proche de la salamandre, deux fragments d'insecte et les restes de nombreux végétaux y furent également découverts (références complètes in [8,62]).

3. Matériel, méthodes et nomenclatures

Lors des fouilles réalisées entre 1878 et 1881 à 322 m de profondeur dans le « cran aux Iguanodons » de Bernissart, plusieurs échantillons de sédiments qui contenaient les squelettes ont été récoltés, puis entreposés à l'Institut royal des sciences naturelles de Belgique. Seize de ces échantillons (silt et argiles riches en matière organique) ont été préparés en 2001 pour en extraire la matière organique, et de procéder à leur analyse palynologique. Le traitement vise principalement à éliminer la phase minérale au moyen d'acide fluorhydrique à 70%. Le résidu organique obtenu fut filtré à 10 µm.

La majorité des observations et des déterminations palynologiques a été effectuée avec un microscope photonique en lumière transmise (généralement en contraste interférentiel–différentiel selon Nomarski). Les formes figurées dans ce travail sont repérées par leurs coordonnées relevées au moyen d'une lame graticule « England Finder ». À une autre échelle d'obser-

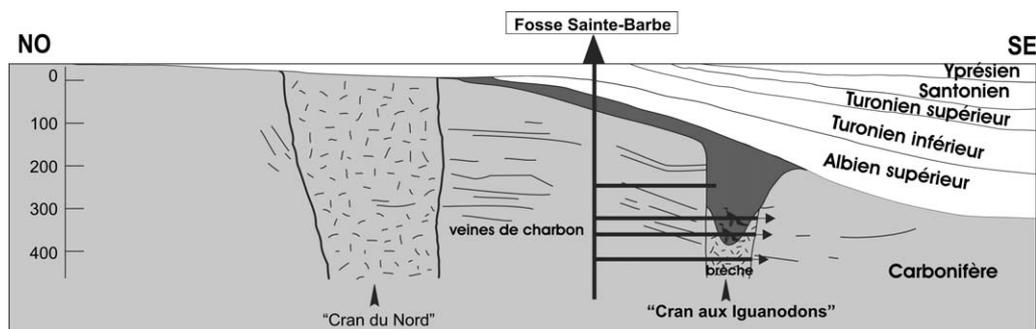


Fig. 3. Coupe NW–SE du bord nord du bassin de Mons aux environs du « cran aux Iguanodons » de Bernissart [19 (modifié)]. Le puits naturel, formé dans les sédiments détritiques houillers, est recouvert par les dépôts d'âge Albien supérieur à Yprésien. L'exploitation de la fosse Sainte-Barbe a recoupé le puits naturel à 240, 322, 356 et 415-m de profondeur.

Fig. 3. NW–SE section of the northern border of the Mons Basin near the 'Cran aux Iguanodons' of Bernissart [19 (modified)]. The natural pit, formed in the detritic coal-bearing sediments, is covered by Upper Albian to Ypresian deposits. The exploitation of the Sainte-Barbe mine cut the natural pit at 240, 322, 356 and 415-m depth.

vation, le microscope électronique à balayage (MEB) a été utilisé pour préciser la morphologie des grains de pollen d'angiospermes (microscope JEOL 840 A, tension d'accélération = 15 kV).

En ce qui concerne les palynomorphes d'affinité non angiospermiennes, nous utiliserons la classification des *sporae dispersae* [79,80] modifiée à la suite de plusieurs travaux [10,21,29,72–78]. En ce qui concerne le pollen d'angiospermes, nous utiliserons la classification des *sporae dispersae* et le « système de Hughes », nomenclature développée par cet auteur et par ses collaborateurs [45,46,48,49,51]. Ces auteurs ont instauré une classification para-taxonomique lors de leurs analyses palynologiques de faciès wealdiens du Crétacé inférieur du Sud et de l'Est de l'Angleterre, que l'on pourrait qualifier de « stratotypique » ou de coupes de référence [43–46,48,50,51]. Le fondement de cette classification repose sur l'exigence de rigueur qui contraint ses artisans à dénoncer la confusion de la littérature paléo-palynologique, entraînant une dérive conceptuelle progressive : la fréquente mauvaise délimitation des diagnoses conduisait en effet au mauvais usage du genre (*misuse of the genus*) [35–38]. Selon Hughes et ses collaborateurs, un taxon palynologique de rang générique devrait être caractérisé par les limites morphologiques qui le séparent des genres adjacents (définies de façon arbitraire), et non par la diagnose de son espèce type ; de plus, la diagnose d'un genre devrait comporter la mention de son extension verticale [37–41]. Ainsi, Hughes et al. préconisent l'usage de *biorecords* : « *the reference taxa are biorecords that are comparable in scope with species, but each consists of a stated number of fossils from a stated unit of rock (usually a single sample)* » selon l'acception qu'ils leur confèrent, plutôt que celui de genres morphographiques, dont ils rejettent le caractère souvent approximatif et ambigu. Une forme semblable, retrouvée ailleurs que dans le niveau où elle est définie, est désignée comme *comparison record*, et se note alors « CfA *biorecord* ». En outre, chaque *biorecord* est rangé dans une *genusbox*. Plusieurs auteurs ont commenté cette nomenclature et concluent que le système nomenclatural de Hughes demeure néanmoins compatible avec la nomenclature classique : « *this system is indeed compatible with traditional use of the International Code of Botanical Nomenclature. As Hughes stated (1976), the two can be complementary* » [69]. “*This avoids difficulties associated with*

the use of the International Code of Botanical Nomenclature for describing dispersed fossil pollen taxa” [70].

4. Datation sur la base du contenu paléontologique

4.1. Les opinions antérieures

Des hypothèses très différentes, fondées sur des approches diverses, ont été émises quant à l'âge des célèbres dinosaures (Fig. 4). Dès 1900, Vandebroek [93] soutient un âge Jurassique supérieur pour les faciès wealdiens de Bernissart, en comparant la flore recueillie en 1878–1881 dans le « Cran aux Iguanodons » à celle des faciès wealdiens du Sud et de l'Est de l'Angleterre. En 1954, également à partir de comparaisons avec la flore du Sud de l'Angleterre, Marlière [58] suggère que l'âge des faciès wealdiens du bassin de Mons est compris entre le Jurassique supérieur et le « Néocomien » ; toutefois, en 1970, il émet l'hypothèse d'un âge un peu plus récent que le Valanginien–Hauterivien [60]. En 1975, des considérations relatives à l'évolution morphologique des Iguanodontidae, conduisent Taquet [89] à proposer un âge Barrémien pour les dinosaures de Bernissart. En s'appuyant sur des corrélations lithologiques et paléontologiques avec le « wealdien » anglais, Allen propose en 1955 [1] un âge Aptien supérieur–Albien inférieur. Par la suite, Allen et Wimbledon [2] suggèrent un âge Hauterivien–Barrémien, Pelzer et Wilde [68] ainsi que Vakhrameev [92] un âge Néocomien. D'après une récente synthèse [66], l'espèce *Iguanodon bernissartensis* incluant *Iguanodon orientalis* Rozhdestvenskii, 1952 d'après les recommandations de Norman [65], est reconnue du Valanginien à l'Albien, et l'espèce *Iguanodon atherfieldensis* du Berriasien à l'Aptien. L'association des espèces *I. bernissartensis* et *I. atherfieldensis*, recueillies à Bernissart, caractériserait donc l'intervalle Valanginien–Aptien. La variabilité des âges proposés ci-dessus témoigne de l'absence d'arguments précis et fiables. Faute de mieux, une récente synthèse lithostratigraphique conclut qu'un âge compris entre le Jurassique supérieur et l'Aptien doit être envisagé pour les faciès wealdiens du bassin de Mons [84].

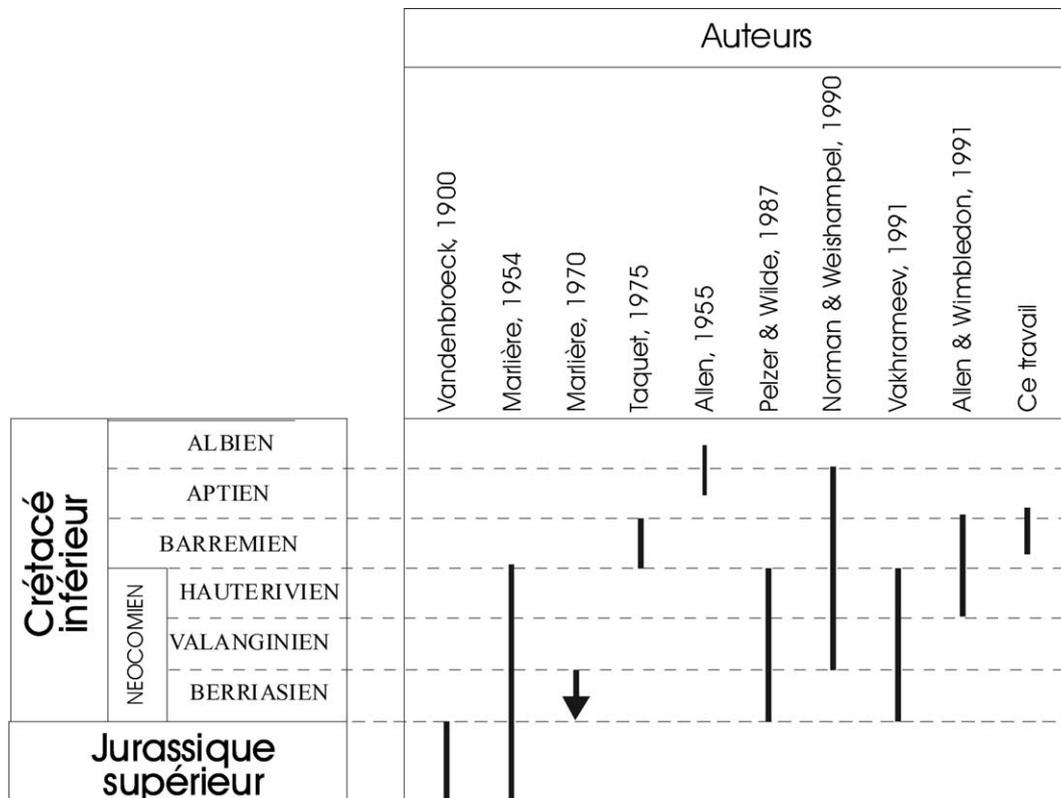


Fig. 4. Synthèse des précédentes hypothèses de datation relatives aux faciès wealdiens du « cran aux Iguanodons » de Bernissart [1,2,58,60,65,68,89,92,93].

Fig. 4. Synthesis of previous dating hypotheses of the Wealden facies sediments of the 'Cran aux Iguanodons' at Bernissart [1,2,58,60,65,68,89,92,93].

4.2. Apport de la palynologie à la datation

4.2.1. Contenu palynologique dominant

L'état de conservation de l'association palynologique de Bernissart est excellent, notamment en raison de son faible degré d'altération thermique. Elle présente un cachet typiquement « wealdien », comparable à celui de nombreuses autres études menées dans les faciès wealdiens d'Europe du Nord [3,5,9,13–16,23–26,35,36,43,44,47,53,57,67,95]. Elle comporte des palynomorphes dont l'origine est exclusivement continentale : spores, grains de pollen et spores d'« algues » d'eau douce, parmi des débris végétaux (trachéides, lambeaux de cuticule). Nous retrouvons ainsi une grande partie des taxons déjà répertoriés dans des sédiments à faciès wealdien du bassin de Mons dès 1955, 1956 [14,15] et revus en 1963 [16]. Ces derniers travaux regroupent les sites à faciès wealdien du bassin de Mons dans l'ensemble « wealdien », et aucune impli-

cation stratigraphique n'a pu être déduite de l'analyse palynologique (seul un âge « wealdien » est suggéré). Depuis cette époque, pionnière en matière de palynologie, aucune nouvelle étude n'a précisé notre connaissance du sujet et « little has been published on Belgian and French Purbeck-Wealden strata. Work by Delcourt & Sprumont (1955, 1959) was pioneering but taxonomically inadequate » [6].

Les spores de fougères sont rapportées en grande majorité aux genres *Cicatricosisporites* Potonié & Gellertich, 1933, *Concavissimisporites* (Delcourt & Sprumont, 1955, Delcourt, Dettmann & Hughes, 1963), *Gleicheniidites* (Ross, 1949) Dettmann, 1963, *Pilosisporites* Delcourt & Sprumont, 1955 et *Trilobosporites* Pant, 1954 ex Potonié, 1956. Les espèces *Echinatisporis varispinosus* (Pocock, 1962) Srivastava, 1975 et *Neoraistrickia truncatus* (Cookson, 1953) Potonié, 1956, appartiennent aux Lycophytes.

Quant au pollen d'affinité gymnospermienne, il consiste essentiellement en des grains disaccates. Quelques spécimens monosaccates, appartenant notamment à l'espèce *Applanopsis dampieri* (Balme, 1957) Döring, 1961, ont néanmoins été reconnus. Soulignons également la présence de quelques rares grains rapportés aux genres *Classopollis* (Pflug, 1953) Reyre, 1970, et *Eucommiidites* (Erdtman, 1948) Couper, 1958, d'assez nombreux exemplaires d'*Ephedripites montanaensis* Brenner, 1968, espèce attribuée à l'ordre des Gnétales et de fragments de macrospores appartenant à l'espèce *Dijkstrasporites helios* (Dijkstra, 1951) Potonié, 1956.

4.2.2. Pollen d'angiospermes

Dès 1891, quelques paléobotanistes recherchèrent vainement des restes macroscopiques d'angiospermes dans les faciès wealdiens de Belgique [63,87]. Dans ce travail, nous mentionnons, pour la première fois, la présence de pollen d'angiospermes dans les sédiments à faciès wealdien du bassin de Mons. En l'occurrence, le *biorecord* Superret-croton (défini par Hughes et al. en 1979, équivalent du taxon morphographique *Stellatopollis hughesii* Penny, 1986 [69]) a été reconnu dans les faciès wealdiens situés à 322 m de profondeur dans le « cran aux Iguanodons » de Bernissart. La sculpture crotonoïde de ce taxon (Fig. 5) oriente son affinité botanique vers les Liliaceae, voire les Buxaceae ou les Euphorbiaceae.

4.2.3. Discussion de l'âge déduit de l'analyse palynologique

La quasi-totalité des taxons palynologiques d'origine continentale du Jurassique supérieur au Crétacé inférieur possède une extension verticale relativement longue. Même en considérant la présence conjointe de certains d'entre eux, une datation fine n'est guère possible. Cependant, quelques taxons rapportés aux Angiospermes font progressivement leur apparition dans les sédiments du Crétacé inférieur. Bien que rares et d'identification délicate en microscopie photonique, ces taxons ont une extension verticale assez réduite et autorisent en conséquence une datation relativement précise. À Bernissart, la présence de l'un d'entre eux, le *biorecord* Superret-croton, autorise une corrélation entre le matériel de Bernissart et les sédiments des coupes de référence des sous-bassins du Weald et du Wessex. Dans ces dernières coupes, Hughes et ses collabo-

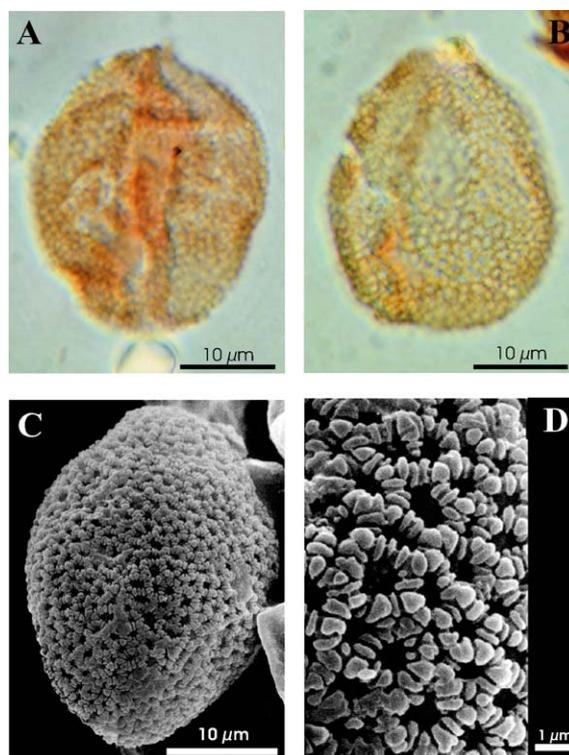


Fig. 5. *Biorecord* Superret-croton (équivalent de *Stellatopollis hughesii* Penny, 1986) : (A–B) en microscopie photonique ; A : échantillon BER-7, lame 2, coord. Q 49 ; B : échantillon BER-7, lame 3, coord. R47-3 ; (C–D) en microscopie électronique à balayage, lamelle n° 1 ; D : détail de la sculpture crotonoïde du grain photographié en C.

rateurs définissent une stratigraphie essentiellement fondée sur le pollen d'angiospermes et articulée autour de six phases MCT ('*Monosulcate Columellate Tectate*'). Grâce aux kystes de dinoflagellés et aux ammonites associés au pollen d'angiospermes [33,34,50,54,82,83], les phases MCT sont datées de la façon suivante [42] : les phases MCT 0 et 1 correspondent à l'Hauterivien, la phase MCT 2 au Barrémien inférieur, la phase MCT 3 au Barrémien moyen à supérieur, la phase MCT 4 à la limite Barrémien/Aptien, et la phase MCT 5 à l'Aptien inférieur. L'extension verticale du *biorecord* Superret-croton y est réduite à la phase MCT 4 ; ses *comparison records* CfA et CfB appartiennent respectivement aux phases MCT 3 à 5 et à la phase MCT 5 [42]. Dans les coupes de référence

des sous-bassins du Weald-Wessex, ce taxon est donc présent dans les phases MCT 3 à 5. Cette corrélation pourrait être restreinte à la seule phase MCT 4, car les formes observées paraissent appartenir à ce *bio-record* et non à l'un ou à l'autre de ses *comparison records*. Toutefois, la subtilité des différences séparant ce *bio-record* Superret-croton de ses *comparison records* est telle qu'il serait illusoire de prétendre exclure ces derniers de l'association palynologique de Bernissart.

Le pourcentage du pollen d'angiospermes est faible à Bernissart, de très loin inférieur aux 10% qui caractérisent la phase MCT 5, qualifiée de « consolidation » par Hughes [42]. En conséquence, la phase MCT 5 est exclue.

Au regard de l'échelle stratigraphique internationale, les phases MCT 3 et 4 s'étendent du Barrémien moyen à la limite Barrémien–Aptien ; la limite Barrémien–Aptien s'abaisse dans la phase MCT 4, si l'argument paléomagnétique (*palaeomagnetic evidence*) proposé par Kerth et Hailwood [55] dans les coupes de référence de l'île de Wight (Angleterre) est pris en compte [42]. Kerth et Hailwood [55] remarquent en effet que le « magnétochrone zéro » (M0r), utilisé pour définir la limite Barrémien–Aptien, est localisé dans la formation Vectis, située pour l'essentiel dans la phase MCT 4. La phase MCT 4 recouvre, en conséquence, la période du Barrémien supérieur à l'Aptien basal. Attribués aux phases MCT 3 et 4, les sédiments étudiés dans ce travail ont un âge Barrémien moyen à Aptien basal (Fig. 6).

Cette datation est corroborée par la présence de l'espèce morphologique *Stellatopollis hughesii* Penny, 1986, équivalente du *bio-record* Superret-croton, du Barrémien supérieur à l'Aptien inférieur d'Égypte, daté par les kystes de dinoflagellés [71].

Enfin, la présence de *Dijkstrasporites helios* (Dijkstra, 1951) Potonié, 1956 à Bernissart autorise une information stratigraphique. Dijkstra définit ce taxon (*Triletes helios*) en 1951 [22], lors de l'analyse palynologique d'échantillons carottés (466 et 275 pieds) dans le forage anglais Kingsclere n° 1, pratiqué au nord du sous-bassin de Wessex (Angleterre). À la profondeur de 466 pieds, le sédiment correspond à la limite entre les phases MCT 4 et 5 [41], soit la limite Barrémien/Aptien. Vers le bas, l'extension verticale de *D. helios* se prolonge dans le Barrémien moyen à supérieur [56,86], c'est-à-dire dans les phases MCT 4 et 3. Vers le haut, cette espèce perdure jusqu'au Santonien,

voire au Campanien [56]. Son extension stratigraphique est comprise entre le Barrémien moyen à supérieur et le Santonien, voire le Campanien. En conséquence, la présence de *D. helios* à Bernissart est cohérente avec l'âge Barrémien moyen à Aptien basal énoncé ci-dessus (Fig. 6).

5. Implications de la datation sur l'évolution morphologique des Iguanodontidae

La datation déduite de l'association palynologique (Barrémien moyen à Aptien basal) est compatible avec celle émise par Taquet [89] sur la base d'une discussion indépendante, relative à l'évolution morphologique des Iguanodontidae. En 1966, au Niger, la récolte d'une abondante faune d'Iguanodontidae dans des niveaux d'âge Aptien a permis des comparaisons avec la faune des Iguanodontidae européens, récoltée dans des niveaux « wealdiens ». La faune africaine comprend deux formes bien distinctes, d'une part une forme gracile, *Ouranosaurus nigriensis* Taquet, 1976 [90], proche de *Iguanodon atherfieldensis* européen, mais présentant des caractères plus évolués (arrière-crâne élevé au niveau des frontaux, nasaux bombés, bec de canard etc.), qui le rapprocheraient des Hadrosauridae du Crétacé supérieur. Cette faune comprend d'autre part une forme trapue, nommée depuis *Lurdusaurus arenatus* Taquet & Russell, 1999 [91], proche de *Iguanodon bernissartensis* d'Europe, mais plus massive et incontestablement quadrupède.

Dès lors, Taquet [89] suggère un schéma de l'évolution au Crétacé des Iguanodontidae et des Hadrosauridae. En considérant les différents stades de l'évolution des Iguanodontidae, ancêtres des Hadrosauridae, et tenant compte des caractères évolués de l'Iguanodontid aptien *O. nigriensis*, une hypothèse fut alors avancée : les Iguanodontidae européens, plus primitifs, seraient anté-aptiens, et donc très probablement d'âge Barrémien. L'âge proposé alors reçoit aujourd'hui, grâce à la palynologie, une belle confirmation.

6. Implications de la datation sur l'évolution géodynamique du bassin de Mons

Notre étude fournit une datation pour les faciès wealdiens de Bernissart et précise en conséquence la charte

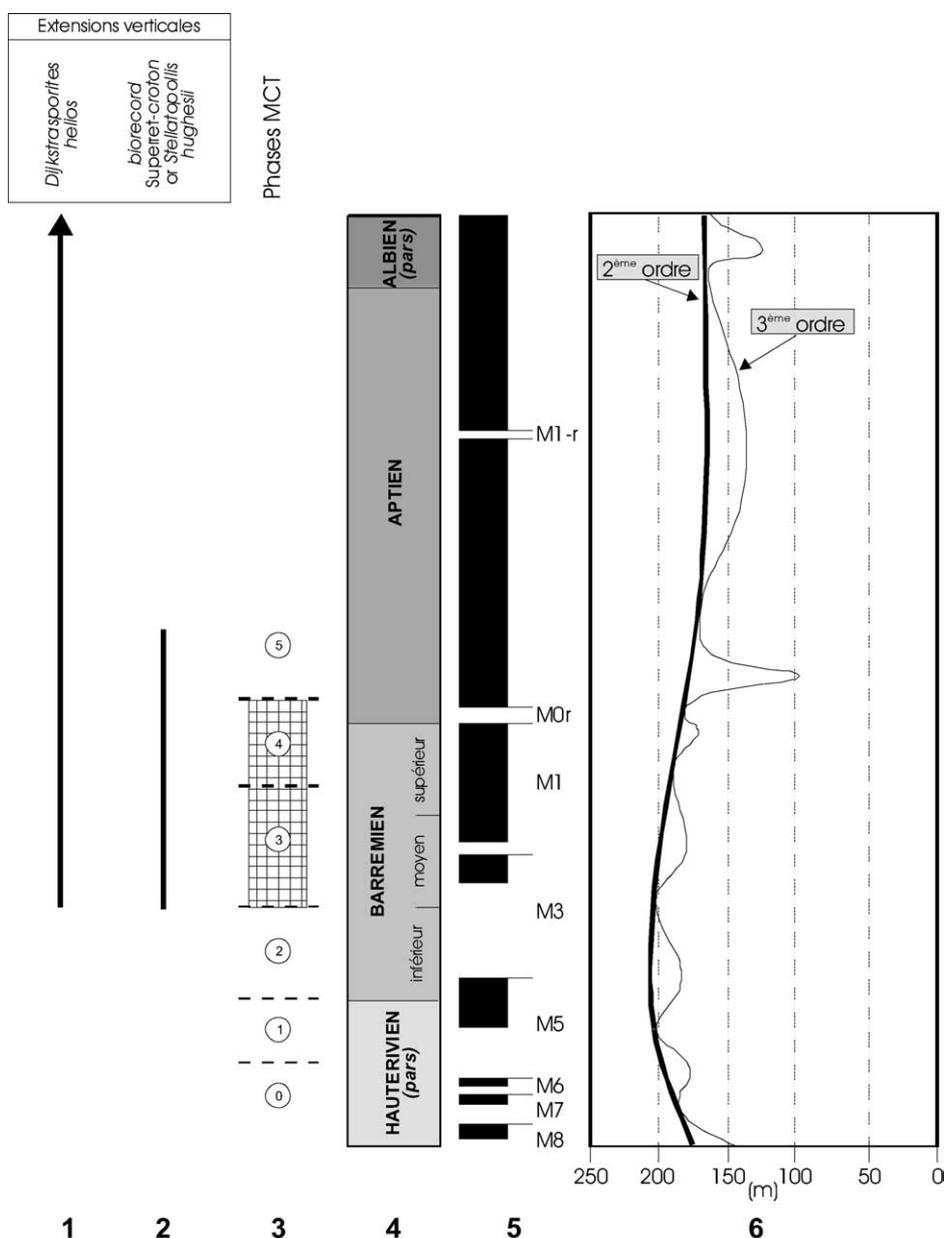


Fig. 6. Stratigraphie des faciès wealdiens de la formation des Argiles de Sainte-Barbe, à 322 m de profondeur dans le « cran aux Iguanodons » de Bernissart : 1 = répartition verticale de *Dijkstra sporites helios* ; 2 = extension verticale du biorecord Superret-croton (équivalent de *Stellettopollis hughesii* Penny, 1986) dans les coupes de référence des sous-bassins du Weald-Wessex [42] ; 3 = calibrage des phases MCT [42] en Angleterre ; 4 = chronostratigraphie ; 5 = magnétostratigraphie [55] ; 6 = niveau eustatique [32]. Les sédiments étudiés appartiennent aux phases MCT 3 et 4 (zone hachurée à la colonne 3).

Fig. 6. Stratigraphic distribution of the Wealden facies sediments from the Sainte-Barbe Clays Formation, at 322-m depth in the ‘Cran aux Iguanodons’ de Bernissart : 1 = stratigraphic distribution of *Dijkstra sporites helios* ; 2 = stratigraphic distribution of the biorecord Superret-croton (equivalent to *Stellettopollis hughesii* Penny, 1986) in the reference succession of the Weald-Wessex sub-basins [42]; 3 = succession of the MCT phases in England [42]; 4 = chronostratigraphy; 5 = magnetostratigraphy [55]; 6 = eustatic sea level [32]. The studied sediments belong to the MCT phases 3 and 4 (dashed area in column 3).

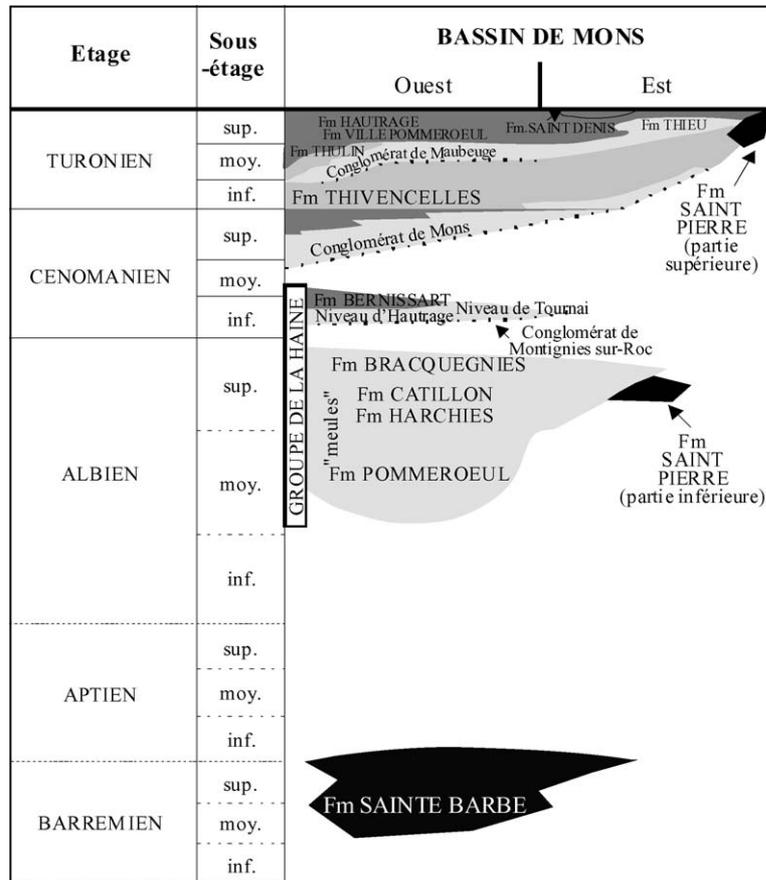


Fig. 7. Lithostratigraphie des sédiments crétacés inférieurs à turoniens du bassin de Mons [84, modifié]. Les faciès wealdiens (en noir) des formations des Gravieres de Saint-Pierre et des Argiles de Sainte-Barbe sont datés [97, ce travail]. L'âge des faciès wealdiens de la formation des Argiles d'Hautrage et de la formation des Argiles de Baudour (non reprises dans la figure) est compris entre le Jurassique supérieur et le Crétacé inférieur [84]. Fm = formation.

Fig. 7. Lithostratigraphy of the Mons Basin from Early Cretaceous to Turonian [84, modified]. The Wealden facies (in black) of the Saint-Pierre Gravels and Sainte-Barbe Clays Formations are mentioned [97, this work]. The Wealden facies of the Hautrage Clays Formation, Baudour Clays Formation (not mentioned in the figure) are Late Jurassic to Early Cretaceous [84]. Fm = Formation.

lithostratigraphique du bassin de Mons : ses plus anciens sédiments datés jusqu'à ce jour sont d'âge Barremien moyen à Aptien basal (Fig. 7).

La nature et la cause de la conservation des sédiments du bassin de Mons ont été et sont encore, au moins partiellement, controversées. Dans une synthèse de 1970 [60], Marlière passe en revue les différentes explications avancées après la mise en évidence de cette synforme au début du XIX^e siècle. Depuis, plusieurs travaux ont proposé des modèles explicatifs tenant compte, d'une part, de mécanismes de subsidence mis en évidence ailleurs dans le monde et, d'autre part, d'études structurales et sédimentologiques régionales [17,28,85,94]. C'est ainsi que la préservation de cou-

ches méso-cénozoïques dans le bassin de Mons serait contrôlée par plusieurs mécanismes agissant séparément ou conjointement dans le temps : inondation initiale de paléotopographies résiduelles, dispositifs en *pull-apart*, organisation des prismes sédimentaires en fonction des variations du niveau de la mer, déséquilibres gravitaires liés à la dissolution ménagée d'anhydrites viséennes en profondeur. Il semble toutefois acquis que les premiers dépôts conservés dans les limites du futur bassin sont les faciès wealdiens piégés dans les structures d'effondrement de tailles variées, qui résultent de la dissolution ménagée des évaporites viséennes, comme le « cran aux Iguanodons » de Bernissart. Dans ce cadre, les résultats biostratigraphiques

rapportés ici apportent une argumentation solide qui précise l'âge Barrémien moyen à Aptien basal des manifestations de ces phénomènes particuliers, mais non exceptionnels et largement reconnus [31,52,88], qui inaugurent l'enregistrement sédimentaire du bassin de Mons. De plus, la datation obtenue autorise une comparaison avec la charte eustatique [32] ; elle suggère une corrélation entre la phase initiale de fonctionnement du bassin et l'amorce d'une notable baisse du niveau eustatique de deuxième ordre (Fig. 6). Ainsi se trouverait confirmée la relation génétique entre la baisse du niveau de base et l'activation de la karstification profonde des évaporites viséennes, génératrice de subsidence en surface [28].

7. Conclusions

La présence de pollen d'angiospermes est mentionnée pour la première fois dans les faciès wealdiens du bassin de Mons. L'extension verticale du *bioecord* *Superret-croton* (équivalent de *Stellatopollis hughesii* Penny, 1986) attribue un âge Barrémien moyen à Aptien basal aux faciès wealdiens récoltés à 322 m de profondeur dans le « cran aux Iguanodons » de Bernissart. Par conséquent, les dinosaures ont été piégés et fossilisés dans le « cran » à cette même période. Ainsi, se trouve confirmé l'âge pré-Aptien hypothétique antérieurement avancé sur la base de l'évolution morphologique des Iguanodontidae. De plus, l'âge Barrémien moyen à Aptien basal des faciès wealdiens, premiers sédiments déposés dans le bassin de Mons, est aussi celui du début de sa subsidence. Celle-ci se révèle étroitement associée à une diminution eustatique de deuxième ordre, ce qui renforce l'hypothèse d'une formation des « crans », dont celui de Bernissart, en relation avec la dissolution d'anhydrites profondes.

Remerciements

Les auteurs remercient M. Bultynck pour son aide lors de l'échantillonnage de sédiments entreposés à l'Institut royal des sciences naturelles de Belgique, Mme Gasset du Service Inter-universitaire de microscopie électronique de l'université Pierre-et-Marie-Curie. Cette recherche a bénéficié du soutien du fonds Tournesol de la communauté française de Belgique et

du fonds national de la recherche scientifique de Belgique.

Références

- [1] P. Allen, Age of the Wealden in North-Western Europe, *Geol. Mag.* XCII (4) (1955) 265–281.
- [2] P. Allen, W.A. Wimbledon, Correlation of NW European Purbeck-Wealden (nonmarine Lower Cretaceous) as seen from the English type-areas, *Cretaceous Res.* 12 (1991) 511–526.
- [3] H.W.J. Amerom, G.F.W. Herengreen, B.J. Romein, Palaeobotanical and palynological investigation with notes on the microfauna of some core samples from the Lower Cretaceous in the West Netherlands Basin, *Mededelingen Rijks geologisch-Dienst N.S.* 27 (2) (1976) 41–79.
- [4] J.-M. Baele, Genèses de la silicite et de la microbialite turo-niennes de Saint-Denis (bord occidental du bassin de Mons, Belgique), thèse de doctorat non publiée, faculté polytechnique, Mons, Belgique, 2003, 215 p.
- [5] D.J. Batten, Palynology of Early Cretaceous soil beds and associated strata, *Palaeontology* 16 (2) (1973) 399–424.
- [6] D.J. Batten, Upper Jurassic and Cretaceous miospores, in: J. Jansonijs, D.C. McGregor (Eds.), *Palynology: principles and applications*, Am. Assoc. Stratigr. Palynol. Found., Salt Lake City, 1996, pp. 807–830.
- [7] M.-F. Brunet, X.-L. Le Pichon, Subsidence of the Paris Basin, *J. Geophys. Res.* 87 (1982) 8457–8650.
- [8] P. Bultynck, Bernissart et les Iguanodons, *Publ. Inst. R. Sci. Nat. Belg.*, Bruxelles, 1989 115 p.
- [9] D. Burger, Palynology of Uppermost Jurassic and Lowermost Cretaceous strata in the eastern Netherlands, *Leidse Geol. Meded.* 35 (1966) 209–276.
- [10] M.A. Butterworth, R.W. Williams, The small spore floras of coals in the Limestone Coal Group and Upper Limestone Group of the Lower Carboniferous of Scotland, *Trans. R. Soc. Edinb.* 63 (1958) 353–392.
- [11] W.D. Conybeare, W. Phillips, in: *Outlines of the Geology of England and Wales*, London Press, London, 1822 470 p.
- [12] J. Cornet, L'époque wealdienne dans le Hainaut, deuxième note, *Ann. Soc. géol. Belg.* 50 (1927) 132–145.
- [13] R.A. Couper, British Mesozoic microspores and pollen grains, a systematic and stratigraphic study, *Palaeontographica B* 103 (4–6) (1958) 75–179.
- [14] A. Delcourt, G. Sprumont, Les spores et grains de pollen du Wealdien du Hainaut, *Mém. Soc. belg. Géol. Paléontol. Hydrol.* 4 (1955) 1–73.
- [15] A. Delcourt, G. Sprumont, Spores, grains de pollen, Hystri-cosphères et Périddiniens dans le Wealdien de Féron-Glaçon, *Ann. Soc. géol. Nord LXXIX* (1959) 29–64.
- [16] A. Delcourt, M.E. Dettmann, N.F. Hughes, Revision of some Lower Cretaceous microspores from Belgium, *Palaeontology* 6 (1963) 282–292.

- [17] A. Delmer, Origine du bassin crétacique de la vallée de la Haine. Une hypothèse, Service géologique de Belgique, Bruxelles, 1972 Professional Paper No. 1972-5, 13 p.
- [18] A. Delmer, Description, genèse et âge des « puits naturels » du Hainaut, Tunnels et ouvrages souterrains 93 (1989) 114–116.
- [19] A. Delmer, P. Van Wichelen, Répertoire des puits naturels connus en terrain houiller du Hainaut, Service géologique de Belgique, Bruxelles, 1980 Professional Paper No. 172, 79 p.
- [20] A. Delmer, V. Leclercq, R. Marlière, F. Robaszynski, La géothermie en Hainaut et le sondage de Ghlin (Mons, Belgique), Ann. Soc. géol. Nord 101 (1982) 189–206.
- [21] M.E. Dettmann, Upper Mesozoic microfloras from south-eastern Australia, Proc. R. Soc. Victoria 77 (1963) 1–148.
- [22] S.J. Dijkstra, Wealden megaspores and their stratigraphical value, Meded. Geol. Sticht. N.S. 5 (1951) 7–21.
- [23] G. Dörhöfer, Palynologie und Stratigraphie der Bückeberg-Formation (Berriasium–Valanginium) in der Hilsmulde (NW-Deutschland), Geol. Jahrb. A 42 (1977) 3–122.
- [24] H. Döring, Trilete Sporen aus dem Oberen Jura und dem Wealden Norddeutschlands, Geologie 13 (9) (1964) 1099–1129.
- [25] H. Döring, Die sporenpaläontologische Gliederung des Wealden in Westmecklenburg (Struktur Werle), Geologie 14 (47) (1965) 1–118.
- [26] H. Döring, Sporenstratigraphischer Vergleich zwischen dem Wealden Norddeutschlands und Südenglands, Geologie 15 (55) (1966) 102–129.
- [27] A. Dumont, Rapport sur la carte géologique du royaume, Bull. Acad. R. Belg., 1^{re} série 16 (1849) 351–373.
- [28] C. Dupuis, S. Vandycke, Tectonique et karstification profonde : un modèle de subsidence original pour le bassin de Mons, Ann. Soc. géol. Belg. 112 (1989) 479–487.
- [29] S. Dybová, A. Jachowicz, Microspores of the Upper Silesian Coal Measures, Prace Inst. Geol. 23 (1957) 1–328.
- [30] M. Gulinck, L'Albien–Cénomaniens et le Wealdien dans la région de Thieu (sondage du canal du Centre), Ann. Soc. géol. Belg. 97 (1974) 311–315.
- [31] F. Gutiérrez, Gypsum karstification induced subsidence: effects on alluvial systems and derived geohazards (Calatayud Graben, Iberian Range, Spain), Geomorphology 16 (1996) 277–293.
- [32] B.U. Haq, J. Hardenbol, P.R. Vail, Mesozoic and Cenozoic Chronostratigraphy and cycles of sea-level change, SEPM Spec. Publ. 42 (1988).
- [33] I.C. Harding, An Early Cretaceous dinocyst assemblage from the Wealden of Southern England, Spec. Pap. Palaeontol. 35 (1986) 95–109.
- [34] I.C. Harding, A dinocyst calibration of the European Borel Barremian, Palaeontographica B 218 (1990) 1–76.
- [35] G.F.W. Herngreen, Palynology of a Wealden section (Lower Cretaceous) in the 'Carrière de Longueville', the Boulonnais (France), Rev. Palaeobot. Palynol. 12 (1971) 271–302.
- [36] N.F. Hughes, Wealden plant microfossils, Geol. Mag. 92 (3) (1955) 201–217.
- [37] N.F. Hughes, The assignment of species of fossils to genera, Taxon 12 (8) (1963) 336–337.
- [38] N.F. Hughes, Suggestions for better handling of the genus in palaeo-palynology, Grana Palynol. 9 (1–3) (1969) 137–146.
- [39] N.F. Hughes, in: Towards effective data-handling in palaeo-palynology (sic), Proc. 3rd Int. Palynol. Conf., Moscou, 1973, pp. 9–14.
- [40] N.F. Hughes, The challenge of abundance in palynomorphs, Geoscience and Man 11 (1975) 141–149.
- [41] N.F. Hughes, Palaeobiology of Angiosperm Origins, Cambridge University Press, Cambridge, 1976, 242 p.
- [42] N.F. Hughes, The enigma of angiosperm origins, Cambridge University Press, Cambridge, 1994, 303 p.
- [43] N.F. Hughes, J.-C. Moody-Stuart, Palynological facies and correlation in the English Wealden, Rev. Palaeobot. Palynol. 1 (1967) 259–268.
- [44] N.F. Hughes, J.-C. Moody-Stuart, Proposed method of recording pre-Quaternary palynological data, Rev. Palaeobot. Palynol. 3 (1967) 347–358.
- [45] N.F. Hughes, J.-C. Moody-Stuart, A method of stratigraphic correlation using Early Cretaceous miospores, Palaeontology 12 (1) (1969) 84–111.
- [46] N.F. Hughes, C.A. Croxton, Palynologic correlation of the Dorset 'Wealden', Palaeontology 16 (1973) 567–601.
- [47] N.F. Hughes, I.C. Harding, Wealden occurrence of an isolated Barremian dinocyst facies, Palaeontology 28 (1985) 555–565.
- [48] N.F. Hughes, A.B. McDougall, Records of angiosperm pollen entry into English Early Cretaceous succession, Rev. Palaeobot. Palynol. 50 (1986) 255–272.
- [49] N.F. Hughes, A.B. McDougall, New Wealden correlation for the Wessex Basin, Proc. Geol. Assoc. 101 (1990) 85–90.
- [50] N.F. Hughes, A.B. McDougall, Search for antecedents of Early Cretaceous monosulcate columellate pollen, Rev. Palaeobot. Palynol. 83 (1994) 175–183.
- [51] N.F. Hughes, G.E. Drewry, J.F. Laing, Barremian earliest angiosperm pollen, Palaeontology 22 (1979) 513–535.
- [52] K.S. Johnson, Evaporite karst in the United States, Carbonates and Evaporites 12 (1) (1997) 2–14.
- [53] E.M. Kemp, Aptian and Albian miospores from southern England, Palaeontographica B 131 (1–4) (1970) 73–143.
- [54] E. Kemper, P.F. Rawson, J.-P. Thieuloy, Ammonites of Tethyan ancestry in the early Lower Cretaceous of north-west Europe, Palaeontology 24 (1981) 251–311.
- [55] M. Kerth, E.A. Hailwood, Magnetostratigraphy of the Lower Cretaceous Vectis Formation (Wealden Group) on the Isle of Wight, southern England, J. Geol. Soc. Lond. 145 (1988) 351–360.
- [56] W.L. Kovach, D.J. Batten, Worldwide stratigraphic occurrences of Mesozoic and Tertiary Megaspores, Palynology 13 (1989) 247–277.
- [57] J. Lantz, Étude palynologique de quelques échantillons mésozoïques du Dorset (Grande-Bretagne), Rev. IFP 13 (6) (1958) 917–943.

- [58] R. Marlière, Le Crétacé, in: P. Fourmarier (Ed.), *Prodrome d'une description géologique de la Belgique*, université de Liège, Belgique, 1954, pp. 417–443.
- [59] R. Marlière, Les connexions du Bassin crétacé de Mons au bassin de Paris, *Acad. R. Belg. Bulletin Classe des Sciences* 5 (1965) 604–615.
- [60] R. Marlière, Géologie du bassin de Mons : un siècle d'histoire, *Ann. Soc. géol. Nord* XC 4 (1970) 171–189.
- [61] R. Marlière, Carte géologique Beloeil–Baudour n° 139 (1:25 000), ministère des Affaires économiques, Belgique, 1977.
- [62] F. Martin, P. Bultynck, The Iguanodons of Bernissart, *Publ., Inst. R. Sci. Nat. Belg.*, Bruxelles, 1990, 51 p.
- [63] J.S. Newberry, The flora of the Great Falls coal-field, *Montana, Am. J. Sci.* XLI (1891) 191.
- [64] D.B. Norman, On the ornithischian dinosaur *Iguanodon bernissartensis* from the Lower Cretaceous of Bernissart (Belgium), *Mém. Inst. R. Sci. Nat. Belg.* 178 (1980) 1–103.
- [65] D.B. Norman, On Mongolian ornithopods (Dinosauria: Ornithischia). 1. *Iguanodon orientalis* Rozhdestvenskii, 1952, *Zool. J. Linn. Soc.* 116 (1996) 303–315.
- [66] D.B. Norman, D.B. Weishampel, Iguanodontidae and Related Ornithopods, in: D.B. Weishampel, P. Dodson, H. Osmolska (Eds.), *The Dinosauria*, University of California Press, Berkeley, 1990, pp. 510–533.
- [67] G. Norris, Miospores from the Purbeck Beds and marine Upper Jurassic of southern England, *Palaeontology* 12 (4) (1969) 574–620.
- [68] G. Pelzer, V. Wilde, Klimatische Tendenzen während der Ablagerung der Wealden-Fazies in Nordwesteuropa, *Geol. Jahrb.* A96 (1987) 239–263.
- [69] J.H. Penny, An Early Cretaceous angiosperm pollen assemblage from Egypt, *Spec. Pap. Palaeontol.* 35 (1986) 119–132.
- [70] J.H. Penny, New Early Cretaceous forms of the angiosperm pollen genus *Afropollis* from England and Egypt, *Rev. Palaeobot. Palynol.* 58 (1989) 289–299.
- [71] J.H. Penny, Early Cretaceous angiosperm pollen from the borehole Mersa Matruh 1, North West Desert, Egypt, *Palaeontographica B* 222 (1991) 31–88.
- [72] R. Potonié, Synopsis des Gattungen der Sporae dispersae. I. Teil: Sporites, *Beih. geol. Jahrb.* 23 (1956) 1–103.
- [73] R. Potonié, Synopsis der Gattungen der Sporae dispersae. II. Teil: Sporites (Nachträge), Saccites, Aletes, Praecolpates, Polyplicates, Monocolpates, *Beih. geol. Jahrb.* 31 (1958) 1–114.
- [74] R. Potonié, Synopsis der Gattungen der Sporae dispersae. III. Teil: Nachträge Sporites, Fortsetzung Pollenites mit Generalregister zu Teil I–III, *Beih. geol. Jahrb.* 39 (1960) 1–189.
- [75] R. Potonié, Synopsis der Gattungen der Sporae dispersae. IV. Teil: Nachträge zu allen Gruppen (Turmae), *Beih. geol. Jahrb.* 72 (1966) 1–244.
- [76] R. Potonié, Synopsis der Gattungen der Sporae dispersae. V. Teil: Nachträge zu allen Gruppen (Turmae), *Beih. geol. Jahrb.* 87 (1970) 1–222.
- [77] R. Potonié, Synopsis der Gattungen der Sporae dispersae. VI. Teil: Nachträge zu allen Gruppen (Turmae), *Beih. geol. Jahrb.* 94 (1970) 1–176.
- [78] R. Potonié, Synopsis der Gattungen der Sporae dispersae. VII. Teil: Nachträge zu allen Gruppen (Turmae), *Fortschr. Geol. Rheinl. Westfal.* 25 (1975) 23–150.
- [79] R. Potonié, G. Kremp, Die Gattungen der paläozoischen Sporae dispersae und ihre Stratigraphie, *Geol. Jahrb.* 69 (1954) 111–194.
- [80] R. Potonié, G. Kremp, Die Sporae dispersae des Ruhrkarbons, ihre Morphographie und Stratigraphie mit Ausblicken auf Arten anderer Gebiete und Zeitabschnitte Teil I, *Palaeontographica B* 98 (1955) 1–136.
- [81] Y. Quinif, Le puits de Flénu (Belgique). La plus grande structure endokarstique au monde (1200 m) et la problématique des puits du Houiller, *Karstologia* 24 (1995) 29–36.
- [82] P.F. Rawson, The Hauterivian, (Lower Cretaceous) biostratigraphy of the Speeton Clay of Yorkshire, England, *Newslett. Stratigr.* 1 (1971) 61–76.
- [83] P.F. Rawson, J. Mutterlose, Stratigraphy of the Lower B and basal Cement Beds (Barremian) of the Speeton Clay, Yorkshire, England, *Proc. Geol. Assoc.* 94 (1983) 133–146.
- [84] F. Robaszynski, A. Dhondt, J.W.M. Jagt, Cretaceous lithostratigraphic units (Belgium), P. Bultynck, L. Dejonghe (Eds.), *Guide to a revised lithostratigraphic scale of Belgium*, Brussels, *Geol. Belg.* 4 (1–2) (2001) 121–134.
- [85] J.-M. Rouchy, E. Groessens, A. Laumondais, Dislocation des formations évaporitiques par la tectonique et la dissolution : le modèle des évaporites dinantiennes du domaine varisque franco-belge, *Bull. Soc. géol. France* 164 (1) (1993) 39–50.
- [86] G. Schultz, H. Noll, Die Megasporen-Assoziation in den unterkretazischen Sedimenten einer Paläokarsthöhle bei Nehden im Sauerland (Rheinisches Schiefergebirge), *Palaeontographica B* 203 (1–3) (1987) 83–107.
- [87] A.C. Seward, La flore wealdienne de Bernissart, *Mém. Mus. R. Hist. Nat. Belg.*, Bruxelles 1 (1901) 1–37.
- [88] R.J. Stanton, The solution brecciation process, *Bull. Geol. Soc. Am.* 77 (1966) 843–848.
- [89] P. Taquet, Remarques sur l'évolution des Iguanodontidés et l'origine des Hadrosauridés, in: *Colloque international CNRS n° 218 : Problèmes actuels de paléontologie–évolution des vertébrés*, Paris, 1975, pp. 503–511.
- [90] P. Taquet, Géologie et paléontologie du gisement de Gadoufaoua (Aptien du Niger), *Cah. Paléontol.*, CNRS, Paris, 1976 191 p.
- [91] P. Taquet, D. Russell, A massively-constructed iguanodont from Gadoufaoua, Lower Cretaceous of Niger, *Ann. Paléontol.* 85 (1) (1999) 85–96.
- [92] V.A. Vakhrameev, *Jurassic and Cretaceous floras and climates of the Earth*, Cambridge University Press, Cambridge, 1991 318 p.

- [93] E. Vandebroek, La question de l'âge des dépôts wealdiens et bernissartiens. Pourquoi, dans la nouvelle édition de la légende de la carte géologique de la Belgique, les dépôts à Iguanodons de Bernissart viennent d'être classés dans le Jurassique supérieur, *Bull. Soc. belg. Géol.* XIV (1900) 70–73.
- [94] S. Vandycke, F. Bergerat, C. Dupuis, Meso-Cenozoic faulting and inferred paleostress of the Mons basin (Belgium), *Tectonophysics* 192 (1991) 261–271.
- [95] G. Von der Brelie, Eine unterkretazische Mikroflora aus dem nördlichen Sauerland, *Fortschr. Geol. Rheinl. Westfal.* 12 (1964) 117–168.
- [96] J. Yans, Chronologie des sédiments kaoliniques à faciès wealdien (Barrémien moyen et Albien supérieur; bassin de Mons) et de la saprolite polyphasée (Crétacé inférieur et Miocène inférieur) de la Haute-Lesse (Belgique). Implications géodynamiques et paléoclimatiques, thèse de doctorat non publiée, faculté polytechnique de Mons et université Paris-Sud, Orsay, 316 p.
- [97] J. Yans, P. Spagna, J.-C. Foucher, A. Perruchot, M. Streef, P. Beaunier, et al., Multidisciplinary study of the Wealden deposits of the Mons Basin (Belgium): a progress report, *Aardkundige Meded.* 12 (2002) 39–42.