



Paléontologie générale, systématique et évolution (Paléobotanique)

Flore du Jurassique basal de la ville de Mende (Lozère) : synthèse des gisements historiques, nouvelles données sédimentologiques, paléontologiques et paléoenvironnementales



Early Jurassic flora from the city of Mende (Lozère): Synthesis of the historical sites, new sedimentological, palaeontological, and palaeoenvironmental data

Jean-David Moreau^{a,*}, Marc Philippe^b, Frédéric Thévenard^b

^a Biogéosciences, UMR 6282 CNRS, université de Bourgogne Franche-Comté, 6, boulevard Gabriel, 21000 Dijon, France

^b Université de Lyon, Claude-Bernard Lyon-1, ENTPE, CNRS, UMR 5023 LEHNA, 69622 Villeurbanne, France

INFO ARTICLE

Historique de l'article :

Reçu le 12 avril 2018

Accepté après révision le 6 juillet 2018

Disponible sur internet le 5 septembre 2018

Handled by Evelyn Kustatcher

Mots clés :

Conifères
Ptéridospermes
Hettangien
Sinémurien
Lozère
Bassin des Causses

RÉSUMÉ

Au cours du XX^e siècle, la majorité des sites à plantes fossiles (Hettangien–Sinémurien) de la ville de Mende ont disparu à cause d'une importante urbanisation ou bien sont tombés dans l'oubli. Cet article présente une synthèse des gisements à végétaux fossiles, depuis leur découverte au XIX^e siècle jusqu'aux campagnes de prospection récentes. De nouvelles données lithostratigraphiques et paléobotaniques sont apportées pour deux sites historiques (le Ravin del Pouset et le Petit Séminaire), ainsi que deux localités fossilifères dernièrement découvertes (route du Causse-d'Auge et route de Gardès). Cette étude révèle la diversité des lithofaciès contenant les plantes (*dolomudstone*, marne, calcaire/calcarénite et calcaire oo-bioclastique) et des types de préservation végétale (compressions charbonneuses avec ou sans cuticule, cuticules isolées, moulages externes/impressions). L'étude microfaciologique des niveaux à plantes démontre la mixité des milieux de dépôt. Les milieux protégés, restreints, à faible bathymétrie et probables conditions euryhalines, sont de loin les plus favorables à l'accumulation et la préservation des végétaux fossiles. Ces paléoflores du Lias inférieur, parmi les plus méridionales connues pour la Laurasie, ont une grande importance paléobiogéographique et sont un marqueur paléoécologique utile.

© 2018 Académie des sciences. Publié par Elsevier Masson SAS. Cet article est publié en Open Access sous licence CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

ABSTRACT

During the 20th century, because of urbanization, most palaeontological sites yielding plants (Hettangian–Sinemurian in age) from the city of Mende have disappeared, or they have been forgotten. This article presents a synthesis of sites yielding plants, from their discoveries in the 19th century to recent prospecting. New lithostratigraphic and palaeobotanical data are brought for two historic sites (Ravin del Pouset and Petit Séminaire), as well as two new localities (Causse d'Auge road and Gardès road).

Keywords:

Conifers
Pteridosperms
Hettangian
Sinemurian
Lozère
Causses Basin

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : jean.david.moreau@gmail.com (J.-D. Moreau).

This study reveals the diversity of plant-containing lithofacies (dolomudstone, marl, limestone/calcarene and oo-bioclastic limestone) and the diversity of plant preservations (charcoalified compressions with or without cuticle, isolated cuticle, external casts/impressions). Microfaciological study of plant beds demonstrates the diversity of depositional environments. Protected, restricted and shallow environments with low wave exposure and probable euryhaline conditions are clearly the most favourable to the accumulation and the preservation of fossil plants. These early Liassic palaeofloras, among the southernmost yet reported for Laurasia, are of significance for the plant geography and global paleoecology at that time.

© 2018 Académie des sciences. Published by Elsevier Masson SAS. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Abridged English version

Introduction and historical context

During the second half of the 19th century, lowermost Jurassic lignitic layers from Mende (Lozère, southern France) were actively prospected by regional naturalists. Gaston de Saporta was the first palaeobotanist to study Hettangian–Sinemurian plants from the city of Mende (Saporta, 1873, 1884). Three first fossiliferous sites were mentioned by Saporta (1873, 1884): the Roussel farm, Petits-Enfers and Rieucros de Rieumenou (Fig. 1). Saporta (1873, 1884) identified the conifers *Cheirolepis escheri* Saporta and *Pagiophyllum peregrinum* (Lindley et Hutton) A. Schenk emend. Kendall, as well as the pteridosperms *Thinnfeldia obtusa* A. Schenk and *Thinnfeldia rhomboidalis* Ettingsh. (Table 1). Saporta (1873, 1884) also mentioned *Clathropteris platyphylla* Brongn. and *Widdringtonites* Endl. (Table 1). He described a new species of *Brachyphyllum* in honor of the geologist Pierre-Jean Paparel: *Brachyphyllum paparelii* Saporta (Ressouche, 1910).

At the beginning of the 20th century, Jules Ressouche, curator of the natural history collections of the “Société d’agriculture, industrie, sciences et arts du département de la Lozère”, re-studied plants beds from Mende. In a short paper entitled *Horizon fluvio-lacustre du sommet de l’Hettangien en Lozère*, Ressouche (1910) listed two of the three localities indicated by Saporta: the Roussel Farm and Petits-Enfers. However, Ressouche (1910) did not mention Rieucros de Rieumenou, which was probably no longer accessible. He reported two new Hettangian localities: Ravin del Pouset and Petit Séminaire (Fig. 1). Ressouche’s (1910) descriptions were succinct and devoid of detailed lithostratigraphic data. Information about plants collected in Ravin del Pouset and Petit Séminaire is limited to a list of taxa (Table 1). He indicated the occurrence of *B. paparelii*, *Pagiophyllum peregrinum* (= *Pagiophyllum peregrinum*), *T. obtusa*, and *T. rhomboidalis* (already observed by Saporta 1873, 1884) and added *Ctenopteris* (Brongn) Saporta (= *Ctenozamites* Nathorst emend. T. M. Harris). Twenty-four years later, without more explanation, Roquefort (1934) indicated the presence of fossil plants in a small quarry near the “Nouveau Séminaire” (Fig. 1). Thus, during the 19th century and the first half of the 20th century, at least six fossiliferous sites yielding lowermost Jurassic plants were observed near the

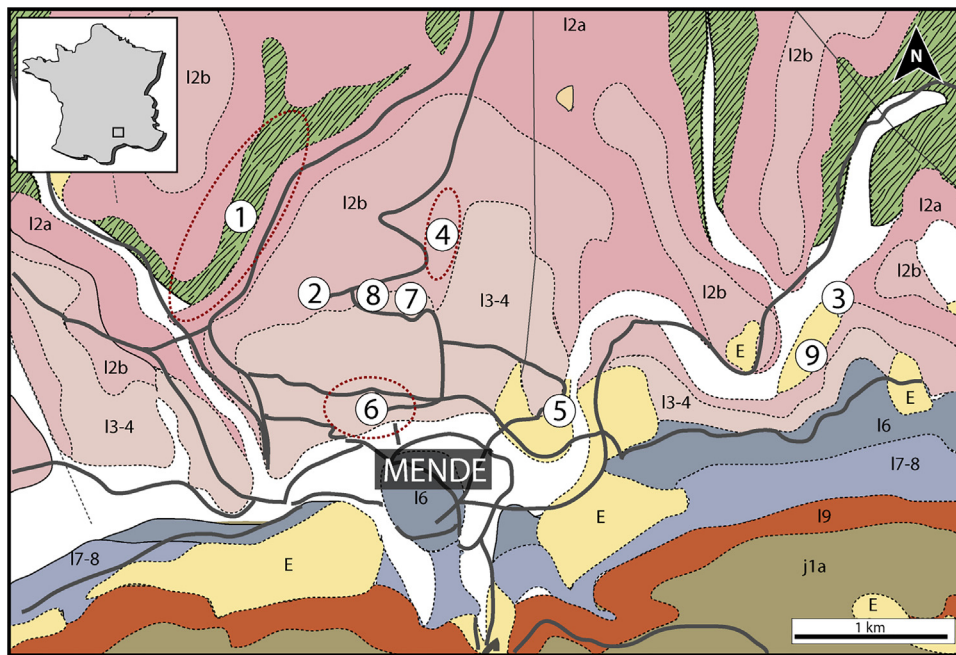
city centre of Mende (Fig. 1). At the end of the 20th century, researching these plant beds from Mende, Frédéric Thévenard (1992) noted that modern buildings now covered four-fifths of the historical outcrops. In 1992, only two localities still yielded plant remains. Near the historical site of the Roussel farm, Thévenard (1992) found lignitic fragments as well as some cuticles. In gardens from the Chaldecoste hill (Fig. 1), Thévenard (1992) studied six layers located near the Hettangian–Sinemurian boundary, yielding a rich plant assemblage (Table 1). Based on material from Chaldecoste, Thévenard (1993) emended the diagnosis of *B. paparelii* and described a new species of male cone, *Classostrobus lozerianus* Thévenard, as well as a new species of ovuliferous scale, *Hirmeriella peregrinum* Thévenard. In addition, Thévenard (1992) tentatively ascribed some conifer woods to *Protopodocarpoxylon* Eckhold. Among Ginkgoales, a single fragment of leaf was ascribed to *Eretmophyllum caussenense* Thévenard.

Recent field prospecting (2015–2018) located several plant beds in the upper part of the Ravin del Pouset outcrop and discovered two new plant localities, along the Causse d’Auge road and the Gardès road, respectively (Fig. 1). In parallel, a recent investigation of the palaeontological collections from the ‘Musée du Gévaudan’ (Mende) reveals unstudied material from two historical sites (Ravin del Pouset and Petit Séminaire). It consists of specimens collected by Jules Ressouche at the beginning of the 20th century.

Thus, this article proposes a synthesis of historical and new sites yielding plants from the city of Mende (Fig. 1; Table 1), and presents new lithostratigraphic and palaeobotanical data from Ravin del Pouset, Petit Séminaire, as well as the Causse d’Auge and Gardès roads (Figs. 2–10; Table 2). These data are used to discuss depositional environments of plant layers and palaeoecosystems.

Jules Ressouche collection

Foliar remains from the Jules Ressouche collection (‘Musée du Gévaudan’) are preserved as charcoalified compressions without cuticles. Most specimens are preserved in a grey limestone with a mudstone–wackestone texture (Facies F5; Table 2). A single specimen is preserved in a grey oolitic limestone (Facies F6; Table 2). Plant remains include fragmented pinnae of pteridosperms ascribed to *Thinnfeldia rhomboidalis*, cf. *Thinnfeldia rhomboidalis*, and *Thinnfeldia obtusa*, and leafy axes of conifers assigned to



SITES FOSSILIFÈRES

- | | | |
|-------------------------|--------------------|---------------------------|
| ① Rieucros de Rieumenou | ④ Ravin del Pouset | ⑦ Villas de Chaldecoste |
| ② Ferme Roussel | ⑤ Petit Séminaire | ⑧ Route du Causse D'Auge* |
| ③ Petits Enfers | ⑥ Grand séminaire | ⑨ Gardès* |

FORMATIONS GÉOLOGIQUES

l2a Hettangien inf.	l3-4 Sinémurien	l7-8 Toarcien	j1a Bajocien inf.
l2b Hettangien sup.	l6 Domérien	l9 Aalénien	E Eboulis
S Socle cristallin			

Fig. 1. Carte géologique synthétique de la ville de Mende (redessinée à partir de Briand et al., 1979) et localisation des gisements à plantes d'âge Hettango-Sinemurien. Les noms des localités dernièrement découvertes sont suivis d'une étoile.

Fig. 1. Synthetic geological map of the city of Mende (redrawn after Briand et al., 1979) and location of the sites yielding Hettangian–Sinemurian plants. The names of newly discovered localities are followed by a star.

cf. *B. paparelii* (Fig. 8). Although Ressouche (1910) considered all specimens collected as Hettangian in age, the diversity of the lithofacies suggests that this date should be re-evaluated. Indeed, the oolitic nature of some specimens suggests a Sinemurian age. As the stratigraphic origin of specimens collected by J. Ressouche is not accurately known, we consider this collection to be upper Hettangian to lower Sinemurian in age.

Ravin del Pouset

Although plant beds from Ravin del Pouset were not re-observed since the beginning of the 20th

century (Ressouche, 1910), field prospecting conducted in 2015–2018 revealed five plant beds yielding foliar meso- and macroremains of conifers as well as wood in the non-urbanized part of the Chon de Perdrix district (upper part of the Ravin del Pouset outcrop; Figs. 1 and 2A). Fossiliferous beds are located in two 4.5-m- and 2.5-m-high lithostratigraphic sections (Fig. 4) showing grey to blue limestone and calcarenite (Facies F3 et F5; Table 2) alternating with grey to yellow lenses of marl (Facies F4; Table 2). Foliar remains are preserved as charcoallified compressions with or without cuticle (Figs. 2C and 9A–D) and impressions (external casts; Fig. 2A). Plant remains are locally associated with bivalves (*Liostrea* cf. *hisingeri* Nilson) and rare crinoids (Fig. 7A–B). The presence of

Liostrea cf. hisingeri, suggests an upper Hettangian age for the plant beds (see Hanzo, 2012).

Gardès road

At the end of the last century, fragments of wood were collected near the Gardès road, east of Mende (Fig. 1). In 2017, three beds bearing wood were identified in a 30-m-high lithostratigraphic section along the Gardès road (Figs. 2B and 3). The basal part of the section shows decametric to metric dolomite beds (Facies F1) with mud cracks alternating with yellow layers of marl (Facies F2). The median part of the section is characterized by bioclastic calcarenite (Facies F3) and oolitic limestone (Facies F6) alternating with blue marl bearing charcoaled lenses showing rare fragments of wood (Fig. 2B). The end of the section shows a bioclastic calcarenite containing a rich marine fauna (ammonites, belemnites, bivalves, brachiopods) including abundant *Gryphaea arcuata* Lamarck (Fig. 7C and D). Woods are here ascribed to *Brachyoxylon voisinii* Thévenard, Philippe et Barale. Because they are present in calcarenite and oolitic limestone (Facies F3 et F6), the plant beds from Gardès are considered lower Sinemurian in age.

Causse d'Auge road

Between 2016 and 2018, a 4-m-high outcrop was opened during road work in the Vignette-Haute district (Figs. 1 and 5), along the Causse d'Auge road (Fig. 2D and E). The basal part of the lithostratigraphic section shows yellow dolomite (Facies F1; Table 2) alternating with brown to yellow lenses of marl (Facies F2 and F4; Table 2). A single marly bed bears cuticles and wood associated with rare fragments of oysters. The upper part of the section consists of oolitic to lumachellic limestone locally showing rich accumulations of crinoids (Facies F6; Fig. 7E and F, Table 2). According to the geological map of Mende (Briand et al., 1979), the fossiliferous layers observed along the Causse d'Auge road (Figs. 1 and 5) are located near the Hettangian–Sinemurian boundary. However, because plant-yielding marls occur 2 m under the oolitic limestone, we assume a lower Sinemurian age for the cuticle and wood from the Causse d'Auge road (see Marza, 1995).

Depositional environments

This study reveals the diversity of plant-containing lithofacies (dolomudstone, marl, limestone/calcarenite and oo-bioclastic limestone) and the diversity of plant preservation (charcoaled compressions with or without cuticle, isolated cuticle, external casts/impressions). Microfaciological study of plant beds demonstrates the diversity of depositional environments. Three categories can be identified: (1) intertidal to supratidal environments such as very shallow flat marshes that were periodically emerged (middle Hettangian in age); (2) protected, restricted, shallow environments with low wave exposure and probable euryhaline conditions such as bay/lagoon/estuary (upper Hettangian in age); (3) deeper shoreface domain with strong wave exposure with probable euhaline conditions

(lower Sinemurian in age). The second category is largely the most favourable to the accumulation and the preservation of fossil plants.

1. Introduction

Dès le XIX^e siècle, les calcaires et marnes ligniteuses hettango-sinemuriens de la région mendoise ont suscité la curiosité de naturalistes régionaux (Dorlhac, 1860). Durant la seconde moitié du XIX^e siècle, certains ont collecté des végétaux dans différentes localités de la ville de Mende, comme l'abbé Boissonade, Georges Fabre, ou encore Pierre-Jean Parapel. Soucieux de servir la science, ceux-ci ont envoyé des spécimens à Paris. Le paléobotaniste Gaston de Saporta ne tarda pas à étudier ces fossiles (Saporta, 1873, 1884). Georges Fabre, alors ingénieur forestier, mais aussi géologue a entretenu une correspondance avec l'illustre savant, lui communiquant ses observations de terrain et des informations concernant les localisations des gisements. La ferme Roussel est un des premiers sites à avoir été fouillé. Dans une lettre de 1869, Georges Fabre écrivait à Gaston de Saporta « les couches sont visibles sur plusieurs points du faubourg de Mende, et contiennent toutes des traces de matière charbonneuse... la localité précise où se trouvent les fougères se nomme le Roussel... Les fougères sont très rares, mais le lit est rempli de *Brachyphyllum* » (Fabre, 1869).

Trois premiers sites fossilifères ont été mentionnés dans les travaux de Saporta (1873, 1884) : la ferme Roussel, les Petits-Enfers et Rieucros de Rieumenou (Fig. 1). Sur la base des spécimens collectés à Mende, Saporta (1873, 1884) identifia les conifères *Cheirolepis escheri* Saporta, et *Pagiophyllum peregrinum* (Lindley et Hutton) A. Schenk emend. Kendall, ainsi que les ptéridospermes *Thinnfeldia obtusa* A. Schenk et *Thinnfeldia rhomboidalis* Ettingsh. (Tableau 1). Saporta (1873, 1884) mentionne également la présence de *Clathropteris platyphylla* Brongn. et de *Widdringtonites* Endl. (Tableau 1). Il décrit une nouvelle espèce de *Brachyphyllum*, *B. paparelii* Saporta en l'honneur du géologue Paparel (Ressouche, 1910).

Au tout début du XX^e siècle, l'abbé Jules Ressouche, alors conservateur des collections d'histoire naturelle de la Société d'agriculture, industrie, sciences et arts du département de la Lozère, et directeur de l'institution Notre-Dame, reprend l'étude des niveaux à plantes de Mende et ses environs. Dans un court article intitulé *Horizon fluvio-lacustre du sommet de l'Hettangien en Lozère*, Ressouche (1910) mentionne deux des trois sites indiqués par Saporta : la ferme Roussel et les Petits-Enfers. En revanche, il ne parle pas de Rieucros de Rieumenou, dont les niveaux fossilifères n'étaient peut-être déjà plus accessibles. Par ailleurs, il signale deux nouvelles localités, leur attribuant un âge Hettangien : le Ravin del Pouset et le Petit Séminaire (Fig. 1). Le Petit Séminaire devint le collège municipal en 1906, puis le lycée Chaptal en 1949 (Collectif, 1974).

Ressouche (1910) insiste sur la très faible étendue latérale des niveaux fossilifères et indique que, malgré ses nombreuses prospections, il constate l'absence de végétaux en dehors des sites découverts par lui-même et ses prédécesseurs. Les descriptions des gisements mendois faites par Ressouche (1910) sont succinctes et dépourvues de données lithostratigraphiques précises. Les informations

Tableau 1

Synthèse des restes foliaires et bois des différents sites hettango-sinemuriens de la ville de Mende. Gin. (Saporta, 1884; Saporta, 1884; Saporta, 1884; Ressouche, 1910; cette étude; Ressouche, 1910; cette étude; Roquefort, 1934; Barale et al., 1991; Thévenard, 1992, 1993).

Table 1

Synthesis of foliar remains and woods from the diverse Hettangian–Sinemurian sites of Mende. (Saporta, 1884; Saporta, 1884; Saporta, 1884; Ressouche, 1910; cette étude; Ressouche, 1910; cette étude; Roquefort, 1934; Barale et al., 1991; Thévenard, 1992, 1993).

	<i>Thinnfeldia rhomboidalis</i>	<i>Thinnfeldia obtusa</i>	<i>Clathropteris platyphylla</i>	<i>Pachypteris cf. rhomboidalis</i>	<i>Brachyphyllum paparelli</i>	<i>Pagiophyllum peregrinum</i>	<i>Widdringtonites keuperianus</i>	<i>Cheirolepis escheri</i>	<i>Himeriella airelensis</i>	<i>Himeriella peregrinum</i>	<i>Classostrobus lozerianus</i>	<i>Corallina torosus</i>	<i>Brachyoxylon voisinii</i>	<i>Protopocarpoxylon</i>	<i>Eremtophyllum caussenense</i>	<i>Ctenozamites</i> (ex. <i>Ctenopteris</i>)
	Ptéridospermes				Conifères										Gin.	Cyc.
1_Rieucros de Rieumenou					+	+										
2_Ferme Roussel					+			+								
3_Petits-Enfers	+	+			+	+										+
4_Ravin del Pouset (Chaldecoste)	?	+			+	+										
5_Petit Séminaire	+					+										?
6_Grand Séminaire																
7_Jardins des villas de Chaldecoste	+	+		+	+	+			+	+	+	+		+	+	+
8_Route du Causse-d'Auge					+											
9_Route de Gardès													+			

concernant les végétaux qu'il observe dans le Ravin del Pouset et au Petit Séminaire sont limitées à une liste de taxons (Tableau 1). Il indique la présence de *B. paparelii*, *Pachyphyllum peregrinum* (= *Pagiophyllum peregrinum*), *T. obtusa* et *T. rhomboidalis* (déjà observées par de Saporta, 1873, 1884) et ajoute *Ctenopteris* (Brongn.) Saporta (= *Ctenozamites* Nathort emend. T.M. Harris).

Vingt-quatre années plus tard, sans plus d'informations, Roquefort (1934) signale une petite carrière, près du nouveau séminaire, dans laquelle il aurait trouvé des végétaux fossiles. Dans son énumération des gisements mendois, lui non plus n'évoque pas le site de Rieucros de Rieumenou, qui semble donc être tombé dans l'oubli et dont les spécimens étudiés par Saporta (1884) sont aujourd'hui conservés au MNHN (Muséum national d'histoire naturelle, Paris).

Ainsi, au cours du XIX^e siècle et de la première moitié du XX^e siècle, au moins six gisements fossilifères livrant des végétaux liasiques ont été signalés dans un rayon de

moins de trois kilomètres autour du centre-ville de Mende (Fig. 1).

À la fin du XX^e siècle, en recherchant les gisements historiques de la ville de Mende, Frédéric Thévenard (1992) constate que « des constructions modernes ont recouvert les quatre cinquièmes des affleurements cités par Saporta [...], Ressouche [...] et Roquefort [...] ». Les zones fossilifères ayant été urbanisées, Frédéric Thévenard, guidé par l'abbé Maurice Saint-Pierre, remarque que les niveaux à plantes du Petit Séminaire, du Ravin del Pouset et du Ravin des Petits-Enfers ne sont plus accessibles. En 1992, seuls deux gisements livrent des restes végétaux. À proximité du site historique de la ferme Roussel, Thévenard (1992) retrouve des fragments ligniteux et quelques niveaux livrant des cuticules. Le second gisement se révèle lui beaucoup plus intéressant. Il s'agit d'un affleurement situé dans les jardins de villas d'un quartier pavillonnaire, sur la colline de Chaldecoste (Fig. 1). Thévenard (1992) y lève

une coupe lithostratigraphique détaillée de près de six mètres de hauteur où il localise six niveaux très riches en végétaux autour de la limite Hettangien–Sinémurien (Tableau 1). Sur la base du matériel collecté à Chaldecoste, Thévenard (1993) émette la diagnose de *Brachyphyllum paparelii* et décrit une nouvelle espèce de cône mâle, *Classostrobus lozerianus* Thévenard, ainsi qu'une nouvelle espèce d'écaille ovulifère, *Hirmeriella peregrinum* Thévenard. En plus des restes foliaires, Thévenard (1992) signale quelques bois de conifères attribués à *Protopodocarpoxylon* Eckhold et trois fragments ligneux possiblement rattachés aux Ginkgoales. Un unique fragment de feuille de ginkgoale fut attribué à *Eretmophyllum caussenense* Thévenard.

De récentes campagnes de terrain (2015–2018) ont permis de retrouver plusieurs niveaux à végétaux dans la partie supérieure du Ravin del Pouset. De plus, deux nouvelles localités ont fourni des restes végétaux sur la route du Causse-d'Auge et à Gardès (Fig. 1). En parallèle, un récent examen des collections paléontologiques du musée du Gévaudan (Mende) a permis de révéler du matériel inédit provenant de deux gisements historiques de la ville de Mende (le Ravin del Pouset et le Petit Séminaire). Il s'agit de spécimens collectés durant le tout début du XX^e siècle par le géologue Jules Ressouche.

Ainsi, cet article fait la synthèse des gisements à plantes historiques de la ville de Mende (Fig. 1 et 2 ; Tableau 1), et présente de nouvelles données lithostratigraphiques et paléobotaniques concernant les sites du Ravin del Pouset, du Petit Séminaire, des routes du Causse-d'Auge et de Gardès (Fig. 2–10 ; Tableau 2). Ces données sont utilisées pour discuter et affiner notre connaissance des milieux de dépôt des couches à végétaux et des écosystèmes mendois au cours de l'Hettangien–Sinémurien.

2. Contexte géologique régional

Mende se trouve au sud du Massif central, au niveau de l'extrémité nord du bassin des Causses. Localisée dans la vallée du Lot, la ville s'étale entre le causse d'Auge (au nord), le causse de Mende (au sud) et le causse de Changefège (à l'est). L'essentiel des gisements paléobotaniques historiques se trouvent sur le flanc du causse d'Auge exposé au sud. Dans ce secteur, les niveaux à plantes sont localisés dans l'Hettangien et le Sinémurien.

L'Hettangien régional est divisé en deux formations : la formation des Grès et Argilites bariolées puis la formation Dolomitique. La formation des Grès et Argilites bariolées est composée de corps gréseux ou conglomératiques chenalisés, alternant avec des niveaux d'argilites bariolées (Simon-Coinçon, 1989). Très réduite, voire localement absente dans le secteur de Mende, cette formation montre une épaisseur très variable, allant cependant jusqu'à une trentaine de mètres dans certaines localités du département de la Lozère (Briand et al., 1979). Notons que l'âge de cette formation a longuement été débattu. D'abord considérée comme rhétienne (e.g., Malafosse, 1873 ; Ressouche et Sarran-D'Allard, 1916 ; Roquefort, 1934), la formation fut ensuite considérée comme diachrone et son âge fut révisé. À partir d'études palynologiques, Grigniac et Taugourdeau-Lantz (1982) et Taugourdeau-Lantz (1983) montrent que

les sédiments de la formation des Grès et Argilites bariolées sont datés de l'Hettangien dans la bordure nord du bassin des Causses, alors qu'ils sont d'âge Trias supérieur plus au nord dans le bassin. Les fossiles sont extrêmement rares dans cette formation, essentiellement limités à des macrorestes de Bennettiales attribués à *Weltrichia fabrei* Saporta et *Otozamites latior* Saporta (Briand et al., 1979 ; Malafosse, 1873 ; Moreau et Thévenard, in press ; Saporta, 1875, 1891 ; Thévenard, 1992) et des empreintes de dinosaures théropodes (Moreau et al., 2012).

La formation Dolomitique est caractérisée par des dolomies et des calcaires argileux pouvant s'organiser en fines plaquettes ou en bancs massifs, alternant avec des niveaux d'argilites vertes, centimétriques à décimétriques. À Mende, la partie basale de l'Hettangien carbonaté est essentiellement composée d'un calcaire magnésien brun appelé « calcaire capucin ». La partie médiane de l'Hettangien carbonaté est, quant à elle, composée de calcaire et dolomie jaunâtres (« dolomie cubique ») montrant localement des laminites cryptoalgaires, alternant avec des lits de marnes gris bleuté. Vers sa partie supérieure, l'Hettangien carbonaté de la région de Mende montre des bancs de calcaire gris bleuté, localement dolomitisés et alternant avec des niveaux de marnes parfois ligniteuses et livrant des cuticules végétales (Fabre, 1893 ; Malafosse, 1873 ; Ressouche, 1910 ; Roquefort, 1934 ; Thévenard, 1992, 1993). Hormis les végétaux et des empreintes de pas de vertébrés (e.g., Demathieu, 1993 ; Moreau et al., 2014), seuls de rares fossiles ont été signalés dans la formation Dolomitique. Quelques lamellibranches (e.g., *Cardinia concinna* Sowerby, *Liostrea* sp. Douvillé, *Ostrea irregularis* Münster), des moulages internes de gastéropodes non identifiants et de très rares ammonites (e.g., *Psiloceras planorbis* Sowerby) y ont été signalés en Lozère (Briand et al., 1979 ; Brouder et al., 1977 ; Gèze et al., 1980).

Le Sinémurien mendois est caractérisé par des calcaires gris clair souvent oolithiques, localement à entroques. Briand et al. (1979) signalent *Gryphaea obliquata* Sowerby, *Spiriferina walcotti* Sowerby et *Oxynotoceras oxynotum* Quenstedt. À sa base, le Sinémurien montre des passées bréchiques et des accumulations de macrorestes végétaux, souvent des bois.

3. Matériel et méthodes

3.1. Origine du matériel étudié

Les spécimens inédits présentés dans cet article correspondent à des méso- et macrorestes foliaires ainsi que des bois. Ils sont issus :

- de la collection Jules-Ressouche, conservée au musée du Gévaudan ;
- de collectes réalisées à la fin du XX^e siècle à proximité de la zone industrielle de Gardès et conservées aujourd'hui à l'université Lyon-1 ;
- de nouvelles campagnes de terrain menées entre 2015 et 2018 sur le site historique du Ravin del Pouset ainsi que dans un nouveau gisement sur la route du Causse-d'Auge. Les spécimens collectés durant cette période sont conservés dans la collection de l'APHPL.

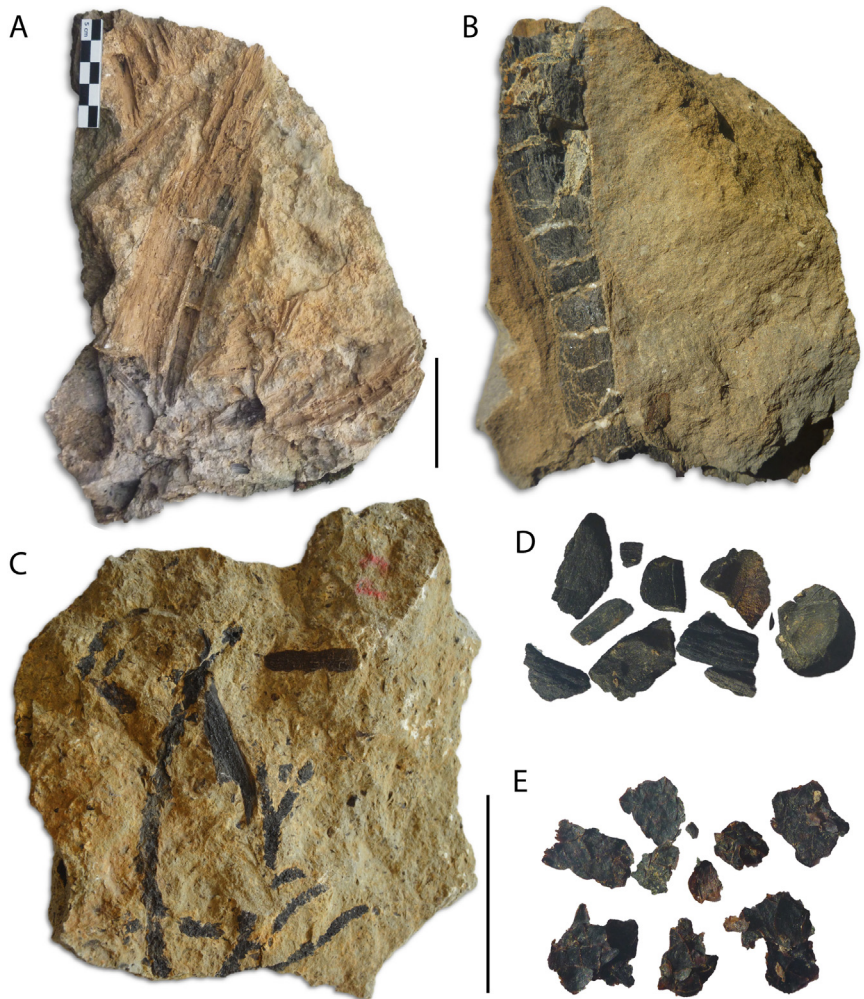


Fig. 2. Divers types de préservation végétale provenant de l'Hettangien–Sinémurien de la ville de Mende. A. Bloc de calcarénite montrant des empreintes végétales (moulages externes/impressions), Ravin del Pouset. B. Bloc de calcarénite avec bois (compression), Gardès. C. Bloc de calcaire montrant diverses compressions, incluant des axes feuillés sans cuticule et des fragments de bois, Ravin del Pouset. D. Fragments de bois isolés provenant des marnes de la route du Causse-d'Auge. E. Cuticules isolées (fragments de rameaux et feuilles de conifères) provenant des marnes de la route du Causse-d'Auge. Barres d'échelle, A–C = 5 cm, D–E = 1 cm.

Fig. 2. Diverse kinds of plant preservation from the Hettangian–Sinemurian of Mende city. A. Block of calcarenite showing plant impressions (external casts), Ravin del Pouset. B. Block of calcarenite with wood (compression), Gardès. C. Block of limestone showing diverse compressions including leafy axes without cuticle and wood fragments, Ravin del Pouset. D. Isolated wood fragments from the marls of the Causse d'Auge road. E. Isolated cuticles (leafy axes of conifer) from the marls of the Causse d'Auge road. Scale bars, A–C = 5 cm, D–E = 1 cm.

(Association paléontologique des hauts plateaux de Languedoc, Mende).

3.1.1. Collection Jules-Ressouche

En 2017, un examen des végétaux liasiques provenant de Mende et conservés au CECJM (Centre d'étude et de conservation Jean-Mazel, musée du Gévaudan, Mende) a permis d'identifier des spécimens collectés par Jules Ressouche. Cette collection fut constituée au tout début du XX^e siècle. Elle inclut des fragments de pennes de ptéridospermes et des rameaux de conifères (Fig. 8). Ces macrorestes proviennent du Ravin del Pouset et du Petit Séminaire (Fig. 1). Les restes foliaires de la collection Ressouche sont préservés sous forme de compressions charbonneuses sans cuticule. Cette collection était

autrefois conservée au musée Ignon-Fabre, qui fut fermé en 1995, puis vidé en 2003. Après avoir été stocké au château de Saint-Alban-sur-Limagnole, les collections ont rejoint les nouveaux locaux du CECJM, qui furent inaugurés en 2016.

3.1.2. Zone industrielle de Gardès

À la fin du siècle dernier, deux d'entre nous (MP et FT) ont collecté des fragments de bois dans un talus au-dessus de la zone industrielle de Gardès, à l'est de Mende. En 2017, l'examen de l'affleurement le long de la route de Gardès a permis de lever une coupe lithostratigraphique de près de 30 m de hauteur et de localiser trois niveaux à bois (Fig. 2B et 3).

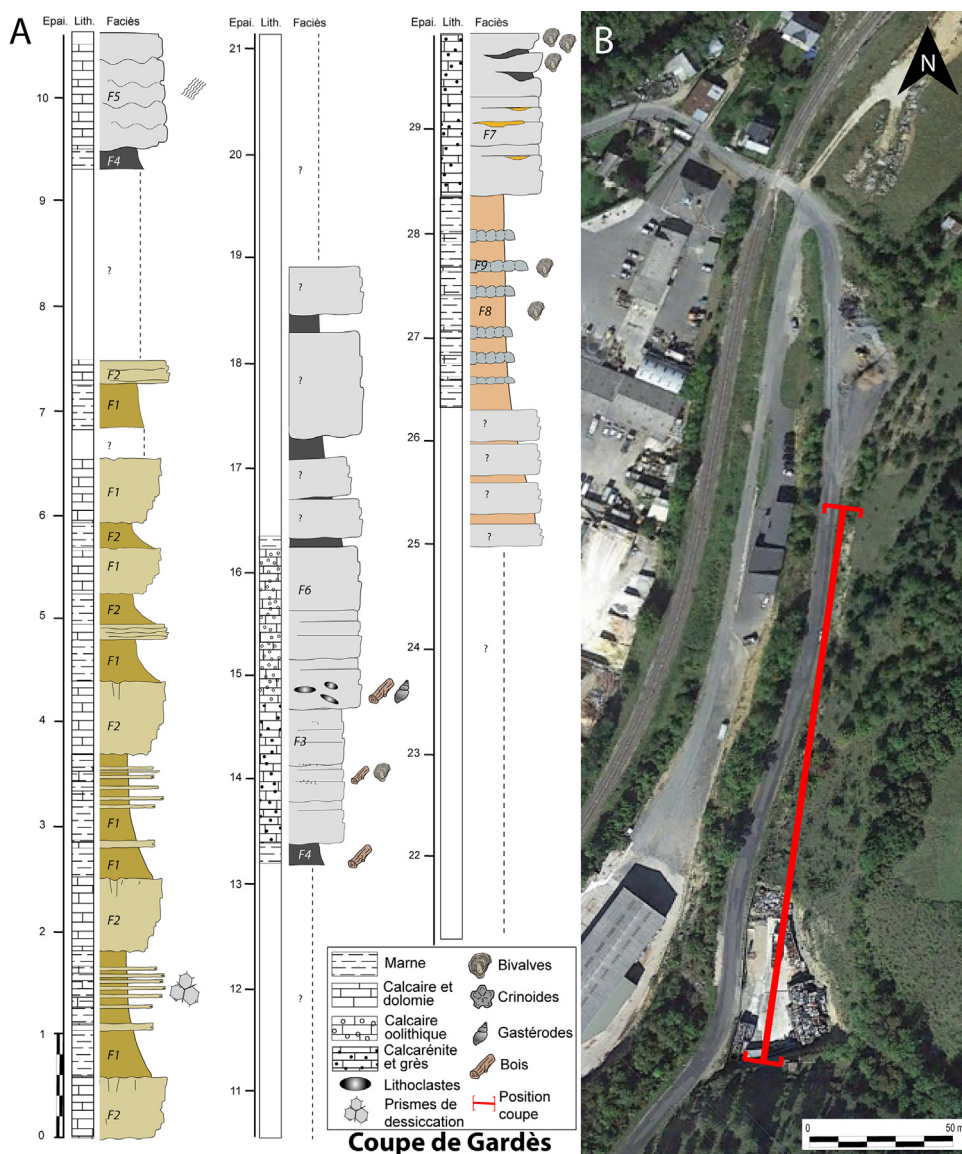


Fig. 3. A. Coupe lithostratigraphique de la route de Gardès et localisation des niveaux à plantes. B. Position de la zone de levé de coupe.

Fig. 3. A. Lithostratigraphic section of the Gardès road and location of plant beds. B. Location of the section area.

3.1.3. Campagnes de terrain de 2015–2018

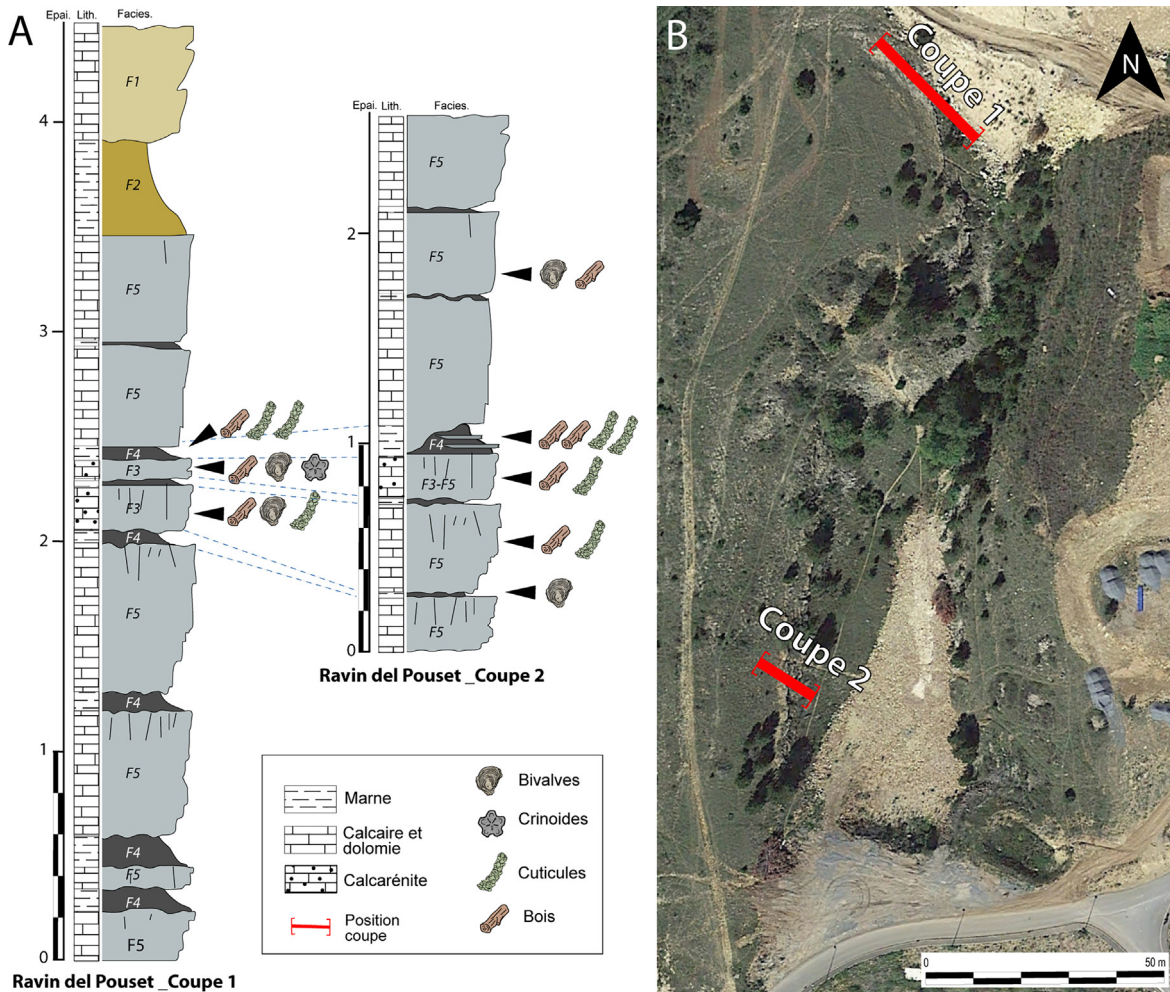
Ravin del Pouset. Bien que les niveaux à végétaux du Ravin del Pouset n'aient pas été revus depuis le début du XX^e siècle (Ressouche, 1910), les campagnes de prospection menées depuis 2015 par l'un d'entre nous (JDM) ont permis de révéler cinq couches fossilifères livrant des méso- et macrorestes foliaires ainsi que des fragments de bois dans la partie non urbanisée du quartier Chon-de-Perdrix (partie haute du Ravin del Pouset ; Fig. 1 et 2A). Les niveaux à plantes ont pu être replacés dans deux coupes lithostratigraphiques de 4,50 m et 2,50 m de haut (Fig. 4). Notons qu'en absence de données lithostratigraphiques précises dans les travaux de Ressouche (1910), il n'est pas certain que les plantes du musée du Gévaudan proviennent

des mêmes niveaux que ceux documentés dans le présent article.

Route du Causse-d'Auge. Entre 2016 et 2018, à l'occasion de travaux dans le quartier pavillonnaire de la Vignette-Haute, une tranchée fut ouverte au-dessus de la route du Causse-d'Auge (Fig. 5). L'affleurement offre une coupe lithostratigraphique de plus de 4 m de hauteur. Un unique niveau a livré des lentilles ligniteuses à micro- et méso-restes cuticulaires et bois (Fig. 2D–E).

3.2. Méthodes

Les intervalles stratigraphiques affleurant dans la zone industrielle de Gardès, le Ravin del Pouset et la route du



Causse-d'Auge ont été documentés banc par banc (Fig. 3–5). Sur la base d'observations de terrain et d'analyses microfaciologiques, les roches sédimentaires observées sur ces sites ont été catégorisées en neuf faciès, nommés F1 à F9 (Tableau 2). La caractérisation microfaciologique de chacun d'entre eux a été réalisée à l'aide d'un microscope numérique XCSOURCE USB 800. La caractérisation microfaciologique des spécimens de la collection Jules-Ressouche a également été faite à l'aide de la même technique.

Afin de rechercher des cuticules dans les niveaux marneux, les sédiments ont été plongés en masse dans un mélange d'eau et d'eau oxygénée (H₂O₂). Le résidu végétal de la macération a été rincé à l'eau claire et passé dans une colonne composée de plusieurs tamis de maille décroissante pour dissocier les différentes fractions. Le tri de la fraction grossière (> 2 mm) a été réalisé à l'œil nu, le reste à l'aide d'une loupe binoculaire. Les bois ont été étudiés à l'aide d'un MEB JEOL-35 CF au Centre technique des microstructures de l'université de Lyon, selon la méthode exposée dans Philippe et al. (2006).

4. Résultats

4.1. Données lithostratigraphiques et microfaciologiques

Ravin Del Pouset. Les deux coupes lithostratigraphiques du Ravin Del Pouset sont dominées par des bancs de calcaire et calcarénite gris bleuté (faciès F3 et F5 ; Tableau 2) alternant avec des lits et lentilles de marnes grises à jaunâtres (faciès F4 ; Tableau 2). Quatre niveaux calcaires (Fig. 4) livrent des méso- et macrorestes végétaux. Ces derniers correspondent à des bois et des rameaux de conifères, dispersés dans la matrice, mais fréquents. Les restes foliaires sont préservés sous forme de compressions charbonneuses sans cuticule (Fig. 2C et 9A–B) ou bien sous forme d'empreintes (moulages externes ; Fig. 2A). Un niveau de marne grise (Fig. 4) livre d'abondantes accumulations de rameaux et de feuilles isolées de conifères préservés sous forme de cuticules (Fig. 9C–D). Ces restes forment de fines lentilles s'apparentant à une « purée végétale compressée ». Quelques rameaux feuillés de

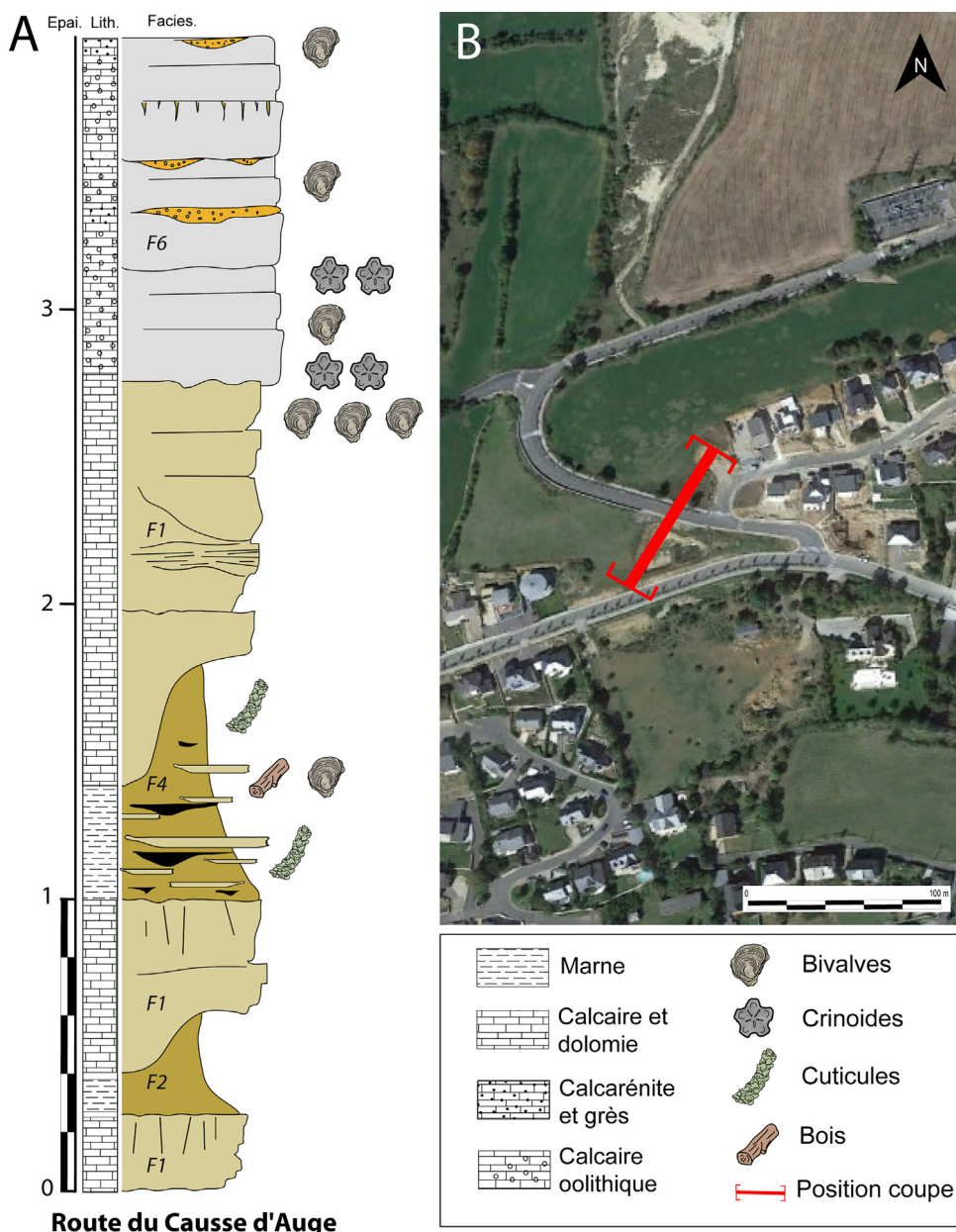


Fig. 5. A. Coupe lithostratigraphique la route du Causse-d'Auge et localisation du niveau à plantes. B. Position de la zone de levé de coupe.

Fig. 5. A. Lithostratigraphic section of the Causse d'Auge road and location of the plant bed. B. Location of the section area.

conifères, encore souples, ont pu être décollés manuellement (Fig. 9C–D). Dans certains niveaux calcaires du Ravin Del Pouset, les plantes sont associées à des bivalves (*Lios-trea* cf. *hisingeri* Nilson) et de rares entroques (Fig. 7A–B) (Hanzo, 2012).

Route du Causse-d'Auge. La coupe lithostratigraphique de la route du Causse-d'Auge est un peu plus haute dans la série. Sa partie inférieure est marquée par des bancs dolomitiques jaunâtres (faciès F1 ; Tableau 2) alternant avec des niveaux anisopaques de marnes brun-jaunâtres (faciès F2 et F4 ; Tableau 2). Un unique banc de marnes fourni de

fines lentilles ligniteuses à étendue latérale réduite (pluridécimétrique à métrique). Après macération en masse du sédiment de ce niveau, de petits fragments de bois (< 10 mm) et des cuticules ont pu être isolés (Fig. 2D–E). De rares fragments de coquilles d'huîtres ont été trouvés parmi les restes de cuticules. Dans la partie supérieure de la coupe lithostratigraphique de la route du Causse-d'Auge, les dolomies passent brutalement à des calcaires oolithiques très bioclastiques blancs à gris clair, localement lumachelliques et riches en entroques (faciès F6, Tableau 2 ; Fig. 7E–F). Ces calcaires montrent quelques surfaces durcies marquées

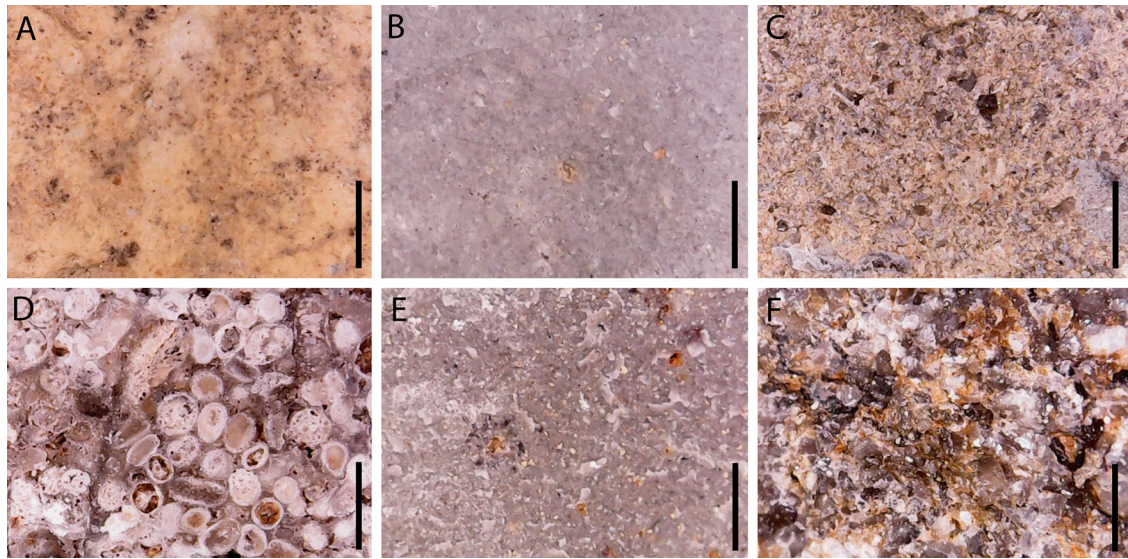


Fig. 6. Microfaciès. A. Dolomudstone (faciès F1). B. Calcaire gris bleuté à débris végétaux (faciès F5). C. Calcarénite à plantes (faciès F3). D. Calcaire oo-bioclastique (faciès F6). E. Calcaire argileux, noduleux (faciès F9). F. Grès à *Gryphaea* (faciès F7). Barres d'échelle = 500 μ m.

Fig. 6. Microfaciès. A. Dolomudstone (Facies F1). B. Grey blue limestone with plant debris (Facies F5). C. Calcareenite with plants (Facies F3). D. Oo-bioclastic limestone (Facies F6). E. marly and nodular limestone (Facies F9). F. sandstone with *Gryphaea* (Facies F7). Scale bars = 500 μ m.



Fig. 7. Invertébrés marins. A et B. *Liostrea* cf. *hisingeri*, Ravin del Pouset (faciès 3–5). C et D. *Gryphaea arcuata*, Gardès (faciès 7). E et F. Entroques, route du Causse-d'Auge (faciès 6). Barres d'échelle : A–D = 1 cm ; E–F = 0,5 cm.

Fig. 7. Marine invertebrates. A and B. *Liostrea* cf. *hisingeri*, Ravin del Pouset (Facies 3–5). C and D. *Gryphaea arcuata*, Gardès (Facies 7). E and F. Crinoids, Causse d'Auge road (Facies 6). Scale bars: A–D = 1 cm; E–F = 0.5 cm.

par des grès de granulométrie moyenne, de couleur rouille et des surfaces criblées de perforations et petits terriers verticaux.

Route de Gardès. La partie inférieure de la coupe de Gardès montre des bancs décimétriques à métriques de dolomie jaunâtre à nombreux joints verticaux (faciès F1 ; [Tableau 2](#)) alternant avec des lits de marne jaune en plaquettes dolomitiques centi- à décimétriques (faciès F2 ; [Tableau 2](#)). Les plaquettes dolomitiques montrent des prismes de dessiccation. La partie médiane de la coupe est caractérisée par des bancs métriques de calcarénites (faciès F3 ; [Tableau 2](#)) et calcaires oolithiques (faciès F6 ; [Tableau 2](#)) gris bleus alternant avec des lits de marnes bleues à fines lentilles localement charbonneuses (rares morceaux de bois inférieurs au centimétrique). Les calcarénites montrent localement des rides de vague et contiennent de petits débris coquillés. Les calcarénites sont surmontées par un calcaire oolithique localement bréché et à nombreux lithoclastes (petits galets calcaires centimétriques) et moules internes de gros gastéropodes indéterminés. Des morceaux de bois, parfois pluridécimétriques, ont été observés dans les calcarénites comme

les calcaires oolithiques ([Fig. 2B](#)). La fin de la coupe est marquée par une calcarénite bioclastique contenant une riche faune marine (ammonites, bélemnites, brachiopodes, lamellibranches, nautilus) abondante en *Gryphaea arcuata* Lamarck ([Fig. 7C–D](#)).

Collection Jules-Ressouche. La majorité des spécimens de la collection Jules-Ressouche sont préservés dans un calcaire gris bleuté à patine jaunâtre et à texture *mudstone-wackestone*. Ce calcaire est similaire au faciès F5 ([Tableau 2](#)). Un unique spécimen de la collection Ressouche est préservé dans un calcaire oolithique gris, que nous rattachons au faciès F6 ([Tableau 2](#)).

4.2. Contenu paléobotanique

4.2.1. Restes foliaires

Ptéridospermes

Genre *Thinnfeldia* Ettingsh., 1852

***Thinnfeldia rhomboidalis* Ettingsh., 1852**

[Fig. 8F–G](#)

Spécimen : M486.2016.0.1338_1 (coll. Jules-Ressouche, musée du Gévaudan)



Fig. 8. Pennes de ptéridospermes de la collection Ressouche (M486.2016.0.1338). A–C. *Thinnfeldia obtusa* Schenk, Ravin del Pouset. D et E. Cf. *Thinnfeldia rhomboidalis* Ettingsh., Petit Séminaire. F et G. *Thinnfeldia rhomboidalis* Ettingsh., ville de Mende (localité précise inconnue). Barres d'échelle = 1 cm.

Fig. 8. Pinnae of pteridosperms from the Ressouche collection (M486.2016.0.1338). A–C. *Thinnfeldia obtusa* Schenk, Ravin del Pouset. D and E. Cf. *Thinnfeldia rhomboidalis* Ettingsh., Petit Séminaire. F and G. *Thinnfeldia rhomboidalis* Ettingsh., City of Mende (precise locality unknown). Scale bar = 1 cm.

Localité : secteur de Mende (localité précise inconnue)

Âge : Hettangien/Sinemurien ?

Description : la penne mesure 38 mm de long et 15 mm de large. Elle montre de petites et courtes pinnules à disposition alterne à sub-opposée. Les pinnules s'insèrent sur un rachis mesurant jusqu'à 2,5 mm de large, selon un angle compris entre 55 et 90°. Les pinnules sont entières, polymorphes, de forme assez rhomboïdale et à bords non découpés. Elles mesurent jusqu'à 8 mm de long et 5 mm de large. Les pinnules montrent une base localement décourante sur le rachis (bord basiscopique). Le bord des pinnules semble montrer une bordure marginale ourlée. L'apex est arrondi. La nervation primaire est peu marquée et n'occupe pas une position médiane, mais est parfois décalée vers le bord acroscopique. La nervation secondaire part directement du rachis et se dichotomise avant d'atteindre le bord de la pinnule.

Remarques : la morphologie de ce spécimen est très proche de celle de *T. rhomboidalis* illustrée dans la figure 36F, p. 72 de [Thévenard \(1992\)](#) et provenant de la collection Saporta du MNHN. [Thévenard \(1992\)](#) avait noté le caractère aléatoire de l'épaississement marginal chez *T. rhomboidalis* de la région des Grands Causses, permettant d'éliminer *Cycadopteris* Zigno emend. Barale. Notons que les genres *Thinnfeldia* et *Pachypteris* Brongn. sont extrêmement proches morphologiquement et que leur distinction a été beaucoup débattue (voir [Thévenard, 1992](#)). Seul un examen de la cuticule permettrait de rattacher le spécimen à *Pachypteris*. Le spécimen est préservé sous forme de matière charbonneuse et ne permet pas d'examen cuticulaire.

cf. *Thinnfeldia rhomboidalis* Ettingsh., 1852

Fig. 8D–E

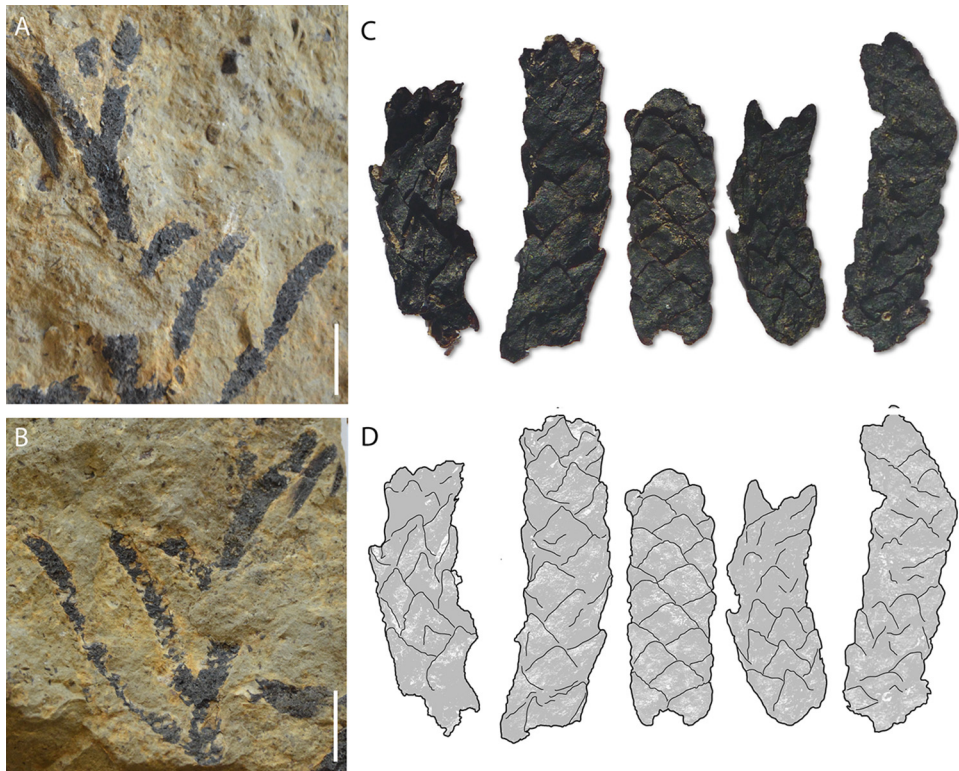


Fig. 9. Rameaux feuillés de cf. *Brachyphyllum*, Ravin del Pouset. A et B. Compressions sans cuticules ; collection Ressouche (M486.2016.0.1338). C et D. Cuticules provenant des marnes du Ravin del Pouset, collecte de 2017 ; collection APHPL (APHPL.POU1 à APHPL.POU5). Barres d'échelle = 1 cm.

Fig. 9. Leafy axes of cf. *Brachyphyllum*, Ravin del Pouset. A and B. Compressions without cuticle; Ressouche collection (M486.2016.0.1338). C and D. Cuticles from the marls of the Ravin del Pouset, collected in 2017; APHPL collection (APHPL.POU1 à APHPL.POU5). Scale bar = 1 cm.

Spécimen : M486.2016.0.1338.2 (coll. Jules-Ressouche, musée du Gévaudan)

Localité : Petit Séminaire

Âge : Sinémurien

Description : la penne mesure 65 mm de long et 18 mm de large. Elle montre des pinnules à disposition opposée et qui s'insèrent sur le rachis selon un angle compris entre 40° et 60°. Le rachis est large (jusqu'à 3 mm de large). Les pinnules sont entières, de forme assez oblongue asymétrique et à bord non découpé. Elles mesurent jusqu'à 9 mm de long et 4 mm de large. Le bord basiscopique des pinnules est légèrement décurrent sur le rachis. Le bord des pinnules est courbe et l'apex est arrondi. La nervure principale occupe une position médiane à sub-médiane, étant parfois légèrement décalée vers le bord acroscopique. Elle est bien visible à la base, mais ne se distingue plus en s'approchant de l'apex des pinnules. La nervation secondaire est peu visible.

Remarques : Jules Ressouche a attribué ce spécimen à *Ctenopteris cycadea* Brongn. (cf. étiquette accolée sur le spécimen). Notons que le genre *Ctenopteris* a ensuite été mis en synonymie avec *Ctenozamites* (Harris, 1964). La présence d'une nervure primaire médiane sur toutes les pinnules du spécimen suggère plutôt l'appartenance de ce spécimen à l'espèce *Thinnfeldia rhomboidalis*. La cuticule de ce spécimen n'est pas préservée. Notons que, lors d'un examen des collections de paléontologie du musée Ignon-Fabre, Thévenard (1992) avait pu observer trois

spécimens du Lias de la région de Mende, que George Fabre avait attribués à *Ctenopteris cycadea*. Thévenard (1992) rattachera finalement deux des spécimens à *Thinnfeldia rhomboidalis*, tandis que le troisième, mal préservé, sera attribué à *Ctenopteris* sp. Le récent examen des anciennes collections du musée du Gévaudan n'a pas permis de retrouver les spécimens observés par Thévenard (1992).

***Thinnfeldia obtusa* A. Schenk, 1867**

Fig. 8A–C

Spécimen : M486.2016.0.1338.3 (coll. Jules-Ressouche, musée du Gévaudan)

Localité : Ravin del Pouset

Âge : Hettangien

Description : le fragment de penne mesure 67 mm de long et 28 mm de large. Il montre des pinnules distantes, à disposition alterne, qui s'insèrent sur le rachis selon un angle compris entre 50° et 90°. Les pinnules sont entières, de forme oblongue asymétrique et à bord non découpé. Elles mesurent jusqu'à 15 mm de long et 7 mm de large. Sur le bord basiscopique, elles montrent une base localement très décurrente. Sur le bord acroscopique, la base des pinnules est localement contractée. Le bord des pinnules est droit à courbe et l'apex est arrondi. La nervure principale est médiane et bien visible. La nervation secondaire forme un angle de 30° à 40° avec la nervation primaire.

Remarques : Jules Ressouche attribua ce spécimen à *T. rhomboidalis* (cf. étiquette accolée sur le spécimen).

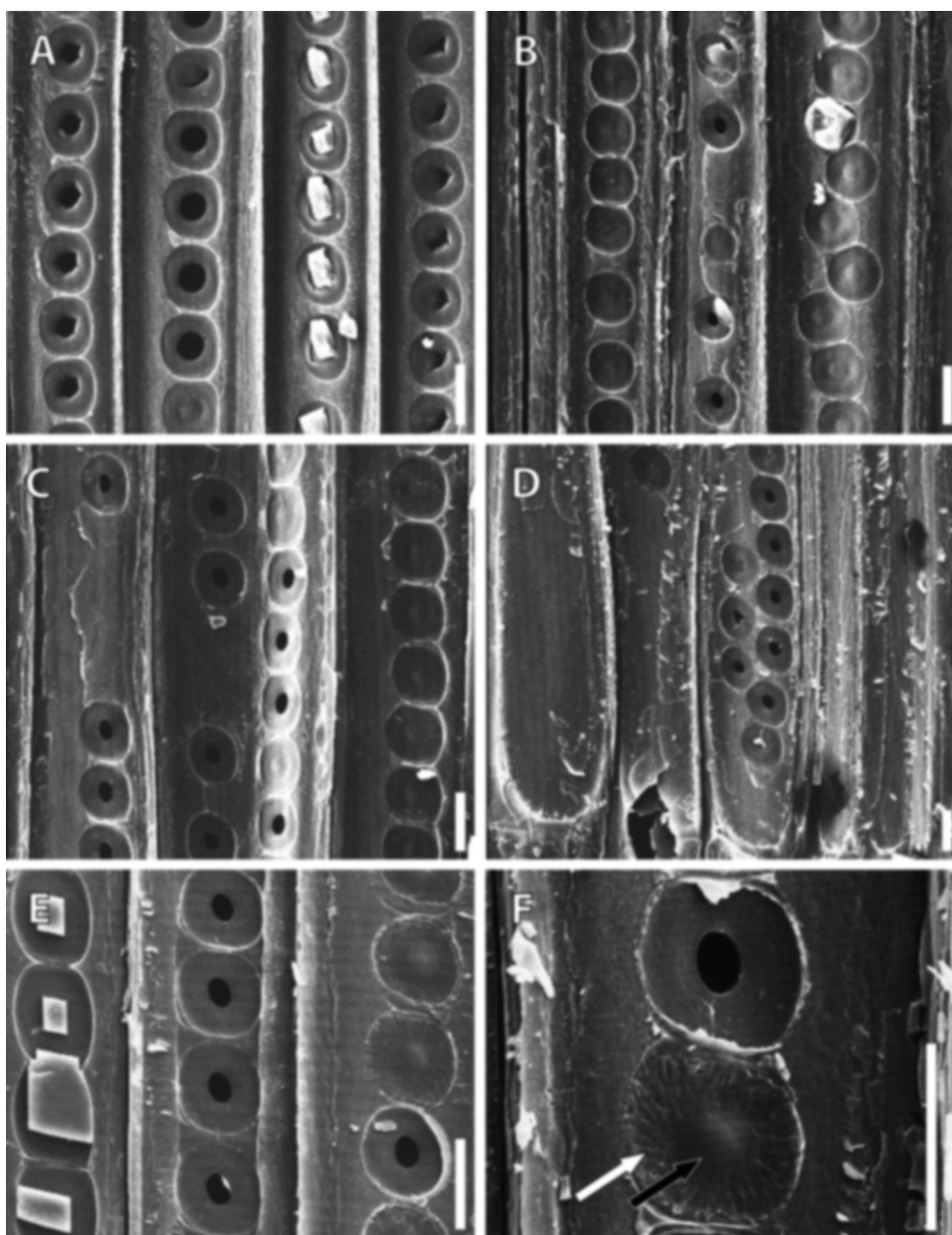


Fig. 10. Bois, *Brachyoxylon voisinii*. Ponctuation radiale de l'échantillon MP903, provenant de la zone industrielle de Gardès, collection de paléobotanique de l'université Claude-Bernard-Lyon-1 ; barre d'échelle 10 μ m pour toutes les vues. A. Ponctuation unisériée usuelle des trachéides, noter l'espacement irrégulier des pores. B. Ponctuation unisériée incluant des ponctuations sub-alternes. C. Ponctuation araucarienne ou mixte selon les faces des trachéides. D. Ponctuations bisériées alternes, en élargissement spatulé terminal ici. E. Différents types contigus de préservation des ponctuations radiales, avec à gauche une trachéide où les pores ont été le lieu de cristallisations (rhomboèdres d'un carbonate ?). F. Ponctuations, noter la préservation de la marge avec ses microfibrilles (flèche blanche) et du torus (flèche noire) dans celle du bas, l'absence de ces deux éléments dans celle du haut, où l'on voit donc la face externe de la paroi secondaire au niveau de l'aréole et le pore.

Fig. 10. Wood, *Brachyoxylon voisinii*. Radial pitting of the sample MP903, from Gardès, 'Collection de paléobotanique de l'université Claude-Bernard-Lyon-1'; scale bar, 10 μ m for all views. A. Uniseriate pitting on a tracheid, note the irregular spacing of the pits. B. Uniseriate pitting with some subalternate pits. C. Araucarian or mixed type of radial pitting on four contiguous tracheid radial walls. D. Alternate biseriate radial pits, clustered in a terminal cluster. E. Different types of preservation, side by side, with on the left a tracheid where crystals grew on the pit pores (carbonate rhombohedra?). F. Pitting on the radial wall of a tracheid, note that torus (black arrow) and margo with its microfibrillae (white arrow) are preserved in the lowest pit, while they are missing in the pit just above, displaying the external face of the areola secondary wall and the pit pore.

Tableau 2

Synthèse des faciès et environnements de dépôt. M : mudstone ; W : wackestone ; P : packstone ; G : grainstone.

Table 2

Synthesis of facies and depositional environments. M: mudstone; W: wackestone; P: packstone; G: grainstone.

Faciès	Noms	Textures	Descriptions	Milieus de dépôt
F1	Dolomudstone	M	Dolomie dépourvue de bioclastes, montrant localement des rides de courant et surface de dessiccation. Joints verticaux fréquents. Rares empreintes de pas vertébré	Zone intertidale à supratidale ; très faible tranche d'eau ; marais maritime ; émergence périodique
F2	Marne jaune	M	Marne jaunâtre. Niveaux souvent à morphologie lenticulaire. Très rares fragments de cuticules végétales. Pas de bioclaste	Milieu protégé et restreint de type baie/lagune/estuaire ; hydrodynamisme faible ; bathymétrie réduite ; conditions euryhalines
F3	Calcarénite à plantes	P	Calcarénite grise montrant localement des débris de lamellibranches (rares <i>Liostrea</i> cf. <i>hisingeri</i>) et entroques, ainsi que des accumulations de méso- et macrorestes végétaux	
F4	Marne à plantes	M (W)	Marne grise à jaunâtre localement charbonneuse à débris de cuticules, bois et rares petites huîtres (<i>Liostrea</i> cf. <i>hisingeri</i>). Niveaux souvent à morphologie lenticulaire	
F5	Calcaire gris bleuté à débris végétaux	M (W)	Calcaire de teinte grise bleutée à cassure conchoïdale, localement dolomitique et à patine jaunâtre. Rides de vagues. Localement, quelques débris de végétaux éparpillés. Rares <i>Liostrea</i> cf. <i>hisingeri</i>	
F6	Calcaire oo-bioclastique à lentilles gréseuses	P (G)	Calcaire oolithique, localement à entroques et accumulations de débris de lamellibranches et gastéropodes. Très localement, lithoclastes calcaires. Localement lentilles calcarénitiques/gréseuses centimétriques, parfois de couleur rouille, surfaces de <i>hard ground</i> et surfaces perforées (terriers verticaux). Rares restes végétaux, généralement petits (quelques millimètres)	Shoreface
F7	Calcarénite/grès à <i>Gryphaea</i>	P (W)	Calcarénite grise bleutée très bioclastique. Lentilles gréseuses. Ammonites, bélemnites, bivalves (<i>Gryphaea</i>), brachiopodes, nautilus	Plate-forme externe ; conditions euhalines
F8	Marne à pectinidae	M	Marne jaune, rares empreintes de pectinidae	
F9	Calcaire argileux noduleux	M	Calcaires argileux bleutés formant des bancs décimétriques à morphologie noduleuse, quelques pectinidae	

Cependant, les pinnules allongées, espacées et à bord basiscopique très décurrent nous permettent de plutôt rattacher ce spécimen à *T. obtusa*. La morphologie de ce spécimen est très proche de celle de *T. obtusa* illustrée dans la figure 36H, p. 72 de [Thévenard \(1992\)](#) et provenant de la collection Saporta du MNHN (secteur de Mende, localité exacte inconnue). Le spécimen est préservé sous forme de matière charbonneuse et ne permet pas d'examen cuticulaire.

Conifères

Genre *Brachyphyllum* Brongn., 1828 emend T.M. Harris, 1979cf. ***Brachyphyllum paparelii* Saporta, 1884**

Fig. 9A–B

Spécimens : M486.2016.0.1338.4, M486.2016.0.1338.5 (coll. Jules-Ressouche, musée du Gévaudan) ; APHPL.POU1 à APHPL.POU5 (coll. Association Paléontologique des hauts plateaux du Languedoc).

Localité : Ravin del Pouset

Âge : Hettangien

Description : les axes feuillés sont droits à légèrement courbes. Le plus long spécimen mesure 90 mm de long. Les rameaux sont étroits et mesurent jusqu'à 9 mm de diamètre. Les feuilles sont persistantes, arrangées de manière hélicoïdale (phyllotaxie 2/5 et 3/8), très aplaties et imbriquées. Elles ont une forme d'écaille, sont triangulaires à rhomboïdales, plus ou moins aussi longues que larges (i.e. jusqu'à 8 mm de large).

Remarques : comme l'avait précédemment signalé [Thévenard \(1992\)](#), *Brachyphyllum paparelii* et *Pagiophyllum*

peregrinum sont clairement dominants dans la flore hettango-sinémurienne des Grands Causses. [Thévenard \(1992, 1993\)](#) signale l'importante variation morphologique de *Pagiophyllum peregrinum* et sa grande ressemblance avec *Brachyphyllum paparelii*. Il insiste sur la difficulté de distinguer les deux espèces uniquement sur la base de la morphologie des axes et des feuilles. Tout comme chez *B. paparelii*, les feuilles de *P. peregrinum* peuvent être aussi longues que larges et montrer un apex arrondi. Selon [Thévenard \(1992, 1993\)](#), ces deux taxons ne peuvent être clairement distingués que sur la base d'une étude cuticulaire, notamment à partir de la morphologie des appareils stomatiques. Chez *B. paparelii*, les parois péricleines des cellules subsidiaires portent un épaississement en forme de bourrelets et qui portent des papilles. Ces dernières sont absentes chez *P. peregrinum* (voir [Thévenard, 1992](#)). L'examen surfacique par microscopie numérique des spécimens de la collection Ressouche a révélé l'absence de cuticule (Fig. 9A–B). L'examen surfacique au MEB des cuticules collectées entre 2015 et 2018 (Fig. 9C–D) dans le Ravin del Pouset n'a pas permis de distinguer d'appareil stomatique.

4.2.2. Bois

Conifères

Genre *Brachyoxylon* Hollick et E. Jeffrey, 1909

***Brachyoxylon voisinii* Thévenard, Philippe et Barale, 1995**

Fig. 10A–F

Spécimen : MP903 et MP904, collection de Paléobotanique de l'Université Claude Bernard

Localité : Gardès

Âge : Sinémurien

Ce matériel remarquable a déjà été succinctement illustré (Philippe et Bamford, 2008, pl. 1 fig. G), mais jamais décrit.

Description : les deux échantillons ont la même anatomie, ils sont donc décrits collectivement. Il s'agit de xylème secondaire isolé, composé de trachéides à ponctuations aréolées et de cellules allongées radialement de rayons. Les cernes de croissance n'ont pu être observés que macroscopiquement. Ils semblent peu marqués, à bois final peu épais et peu différencié. Au MEB, ils n'apparaissent pas clairement. Il n'a été observé, ni canaux sécréteurs, ni parenchyme axial. Les trachéides portent sur leurs parois radiales des ponctuations aréolées, disposées selon le type mixte. Elles sont majoritairement unisériées contiguës et légèrement aplaties (Fig. 10A), en longues files. Dans ces files les ponctuations sont parfois plus rondes, voire légèrement distantes l'une de l'autre. Toujours dans ces files, quelques ponctuations sont parfois désaxées (Fig. 10B), sub-alternes. Par ailleurs, en dehors des files, on observe des ponctuations nettement isolées et rondes (Fig. 10C). Quand elles sont bisériées, les ponctuations sont toujours alternes et contiguës (Fig. 10D). L'aspect des ponctuations varie beaucoup avec leur préservation (Fig. 10E).

Les rayons ligneux sont constitués d'un seul type cellulaire, les cellules marginales étant plus hautes que les internes. Ils comptent (2) 4–5 (7) cellules en hauteur. Les parois des cellules de rayon sont fines, non ponctuées. Les champs de croisement du bois initial ont de 5 à 13 oculipores cupressoides, paraissant espacés (biais de préservation ?). La disposition alterne des oculipores et leur nombre caractérisent des champs araucarioïdes. Les champs du bois final sont plus rarement bien préservés, mais ne diffèrent que par leur moindre surface et leur nombre d'oculipores inférieurs.

Remarques : cette anatomie est typique du genre *Brachyoxylon* Hollick et E. Jeffrey (Philippe et Bamford, 2008). Au sein de ce genre, une révision des espèces est encore à faire. Toutefois, le matériel ne diffère pas de celui décrit comme *Brachyoxylon voisinii* par Thévenard et al. (1995). La similitude de la ponctuation radiale et des champs de croisement est notable. Ce taxon est connu de l'Hettangien d'Hettange-Grande (Lorraine) et de La Grandville (Ardennes) (Thévenard et al., 1995), mais il a aussi récemment été trouvé (Thévenard et Philippe, in press) dans le Sinémurien inférieur de Semur-en-Auxois (Bourgogne) et le Sinémurien supérieur de Tomblaine (Lorraine ; donnée inédite). La présente donnée n'est donc pas concluante biostratigraphiquement.

Ces fossiles présentent, en revanche, un intérêt majeur. Ils montrent des ponctuations aréolées fendues longitudinalement, permettant d'observer une marge fibrilleuse et un torus (Fig. 10). Cette structure est caractéristique des gymnospermes, sauf rares exceptions (Jansen et al., 2010). Elle a une grande importance dans l'efficacité de la conduction hydraulique pour les bois de conifères (Dute, 2015) et constitue pour ceux-ci un avantage certain dans leur compétition avec les angiospermes (Pittermann et al., 2005, et

les références citées dans ce travail). Sa date d'apparition est sujette à controverse, les mentions jurassiques étant peu fiables (Holden, 1915) et, pour paraphraser une synthèse encore largement valide (Schmid, 1967), le torus pré-crétacé reste toujours une énigme. Comme le ginkgo a des ponctuations aréolées à torus et marge différenciés, on peut faire l'hypothèse que cette différenciation a pré-existé à la séparation de la lignée des ginkgos et celles de conifères, au Paléozoïque. C'est une hypothèse assez forte cependant, la convergence étant régulière en xylogologie. Des fossiles jurassiques ou plus vieux sont donc nécessaires (Schmid, 1967). Un bois fossile d'âge Jurassique moyen, montrant un torus, a été décrit par Bodnar et al. (2013) ; cependant la préservation y est nettement moins fine qu'ici, où l'on distingue les microfibrilles de la marge, nettement différenciée. La mise en évidence d'un type moderne de différenciation torus-marge dès le Jurassique basal est un élément important pour comprendre l'histoire de l'évolution des bois de conifères et de leurs capacités hydrauliques (Dute, 2015).

5. Discussion

5.1. Âge des niveaux à plantes

Depuis des décennies, en l'absence de données biostratigraphiques évidentes, donner un âge précis aux différents niveaux à plantes liasiques de la région des Causses s'est avéré compliqué. Les différentes tentatives de positionner la limite Hettangien–Sinémurien menées par Roquefort (1934), Mélas (1982), Arrondeau (1982) ou encore Marza (1995) ont donné des résultats différents. Selon certains auteurs (e.g., Mélas, 1962 ; Roquefort, 1934), les niveaux à plantes du bassin des Causses marqueraient le sommet de l'Hettangien (cf. travaux de Ressouche, 1910). Cependant, les flores associées (e.g., *Brachyphyllum*, *Pagiophyllum*, *Thinnfeldia*...) ne caractérisent réellement ni l'Hettangien, ni le Sinémurien. Les travaux menés par Thévenard (1992) dans la région des Grands Causses ont bien démontré que des niveaux à plantes se rencontrent dans ces deux étages. Les niveaux sont lenticulaires et peuvent difficilement servir de repères stratigraphiques. Nous ne pouvons d'ailleurs pas exclure que ces niveaux soient diachrones à l'échelle du bassin. Pour certains auteurs (e.g., Arrondeau, 1982 ; Michard et Coumoul, 1978), l'apparition des premiers calcaires à bases bréchiques et calcarénites franches marqueraient la base du Sinémurien. En revanche, selon Marza (1995), l'étude cyclostratigraphique de la série liasique caussenarde démontre que la limite Hettangien–Sinémurien pourrait se trouver plus bas dans la série, au sein de la formation Dolomitique.

Ainsi, même si la limite Hettangien–Sinémurien reste difficile à positionner précisément dans la série liasique mendoise, la présence de *Liostrea* cf. *hisingeri* suggère de placer les niveaux à plantes du Ravin del Pouset dans la zone à Angulata, qui est datée de l'Hettangien supérieur (voir Hanzo, 2012). Parce qu'ils sont présents dans des calcarénites et calcaires oolitiques (faciès F3 et F6 ; Tableau 2), les niveaux à plantes de Gardès peuvent être considérés comme d'âge Sinémurien inférieur. En ce qui concerne l'affleurement de la route du Causse-d'Auge, d'après la carte

géologique de Mende au 1/50 000^e (Briand et al., 1979), les niveaux observés (Fig. 1 et 5) se localiseraient à la limite des unités I2b et I3–4 respectivement attribuées à l'Hettangien supérieur et au Sinémurien basal. Cependant, si nous suivons les travaux de Marza (1995), les marnes à plantes localisées 2 m au-dessous des calcaires oolithiques doivent être considérées comme d'âge Sinémurien inférieur.

Toutes les étiquettes accolées sur les spécimens de la collection Jules-Ressouche portent la mention « Hettangien ». En effet, dans ses travaux, Ressouche (1910) considère que tous les niveaux à plantes de Mende sont d'âge Hettangien. Cependant, la diversité de faciès des blocs contenant les plantes fossiles du musée du Gévaudan tend à modérer cette datation. Le caractère oolithique de certains blocs portant les macrorestes (cf. spécimen du Petit Séminaire) suggère un âge Sinémurien. En absence de précision sur l'origine lithostratigraphique des différents spécimens collectés par Jules Ressouche, nous retiendrons que les végétaux fossiles de cette collection sont d'âge Hettangien supérieur–Sinémurien inférieur.

5.2. Implications paléoenvironnementales

Dans la partie médiane de l'Hettangien carbonaté, la présence de dolomie à laminites cryptoalgaires, rides de courant et fentes de dessiccation (Moreau et al., 2017, 2018) suggère des zones intertidales à supratidales périodiquement émergées, où se développent des tapis microbiens dans une tranche d'eau très peu profonde (e.g., Alsharhan et Kendall, 2003 ; Hamon, 2004 ; Matysik, 2016). Dans le secteur de Mende et dans le reste du département de la Lozère, les surfaces émergives de l'Hettangien sont marquées par des empreintes de dinosaures théropodes attribuées à des Coelophysidae ainsi que par de rares pistes de crocodylomorphes (e.g., Moreau et al., 2017). À l'échelle du bassin des Causses comme à l'échelle locale, ces niveaux sont interprétés comme des dépôts margino-littoraux de marais maritimes très plats (Demathieu et al., 2002). De rares niveaux à pseudomorphoses de halite observés à Mende témoignent des conditions évaporitiques du milieu (Moreau, 2011). À Mende, les dolomies et niveaux à laminites cryptoalgaires de la partie médiane de l'Hettangien carbonaté ne livrent pas d'abondantes accumulations de végétaux. Cependant, notons que les campagnes de prospection menées en 2017 ont permis d'observer des feuilles isolées attribuables à cf. *Brachyphyllum*/cf. *Pagiophyllum* dans les marnes sous-jacentes aux niveaux à laminites cryptoalgaires (secteur du Ravin de Rieucros de Rieumennou ; fig. 1). Il convient donc de penser que ces marais maritimes aux conditions évaporitiques étaient localement bordés par des forêts littorales de conifères.

L'apparition de calcaires, calcarénites et marnes bioclastiques marque l'immersion du milieu au cours de l'Hettangien supérieur et l'accélération de la transgression liasique. L'apparition d'une malacofaune et de débris d'échinodermes indique une influence marine. Par ailleurs, la présence de niveaux riches en bois et cuticules végétales atteste un milieu côtier qui reste sous forte influence continentale. Compte tenu de l'importante fracturation des restes parfois isolés dans la matrice (rameaux et feuilles de cf. *Brachyphyllum*/cf. *Pagiophyllum*) de certains niveaux,

le caractère allochtone des fossiles apparaît évident. En revanche, la morphologie des fines accumulations lenticulaires de cuticules suggère que ces accumulations proviennent de dépôts de décantation dans un milieu calme à la suite d'événements plus hydrodynamiques (e.g., crues, tempêtes). Notons que les bois observés sont systématiquement anguleux, ne sont jamais émousés ou roulés. Ceci permet d'écarter une exposition prolongée des restes végétaux à l'action des vagues ou des marées. La présence de *Liostrrea* cf. *hisingeri* dans les niveaux à plantes témoigne du caractère marginal du milieu de dépôt et de conditions probablement euryhalines (Hudson et Palmer, 1976). Toutes ces observations ainsi que les analyses microfaciologiques suggèrent que la grande majorité des niveaux à végétaux de la région de Mende (d'âge Hettangien supérieur) se sont déposés dans des milieux assez protégés, restreints, partiellement ou régulièrement ouverts sur la mer, à bathymétrie réduite, localement saumâtres et de type baie/lagune/estuaire (Tableau 2 ; faciès F3 à F5).

Dans la partie inférieure du Sinémurien, la présence de calcaire oolithique (faciès F6 ; Tableau 2) marque un changement radical de milieu de dépôt et l'installation de conditions euhalines à fort hydrodynamisme en domaine de *shoreface*. Cependant, la présence de végétaux, notamment de bois atteste la persistance de zones végétalisées sur les côtes mendoises durant le Sinémurien basal. Néanmoins, notons que ces conditions vont rapidement changer avec l'installation d'un milieu de type plate-forme externe et l'apparition d'une riche faune marine incluant des brachiopodes et des céphalopodes de type ammonites et bélemnites qui vont persister tout au long de la partie supérieure du Sinémurien (faciès F7 ; Tableau 2).

Les niveaux à plantes observés dans les calcaires hettangiens (partie supérieure essentiellement) et la base du Sinémurien témoignent de la présence d'un couvert végétal dominé par une flore montrant (1) une strate arborescente composée en grande majorité de conifères (e.g., *Brachyphyllum paparelii* ; *Pagiophyllum peregrinum*) et en moindre mesure de Ginkgoales (e.g., *Eretmophyllum caussenense*) et (2) une strate arbustive composée de ptéridospermes (*Thinnfeldia*). Barale et al. (1991) estiment que les conifères constituent près de 98 % des restes étudiés dans le gisement des villas de Chaldecoste. Ce même constat est fait à l'échelle du bassin des Causses, où les Ptéridospermales représentent près de 2 % des niveaux hettango-sinémuriens (Thévenard, 1992). Notons que les Cycadales (e.g., *Ctenopteris*) et les Filicales (*Clathropteris platyphylla*) occupaient également une petite part de la flore mendoise (Tableau 1 ; Ressouche, 1910 ; Saporta, 1873 ; Thévenard, 1992).

Régionalement, le climat global durant le Lias inférieur est considéré comme tropical, faiblement à moyennement humide (Hamon, 2004). De plus, les milieux littoraux sont généralement caractérisés par une forte irradiation solaire, des saisons sèches, des eaux localement sursaturées en sel, des vents violents et des embruns. Face à ces conditions, la flore mendoise a dû développer des caractères morphoanatomiques xéromorphes. Ces derniers étaient nécessaires à la survie et au développement en milieu écologiquement « difficile et instable ». Par exemple, les conifères tels que *B. paparelii* et *P. peregrinum* montrent des microphylls partiellement recouvrants, arrangés en

spirale et avec un angle d'insertion très aigu. Cet agencement assure une réduction de la surface foliaire exposée à l'irradiation solaire et limite ainsi la hausse de la température. Au niveau des appareils stomatiques, l'épaississement des parois périclinales des cellules subsidiaires en forme de bourrelets (qui portent parfois des papilles, e.g., *B. paparelii*) assure une protection et limite l'évapotranspiration.

Remerciements

Nous remercions les deux relecteurs anonymes pour leurs pertinentes suggestions et corrections, ainsi que Kevin Padian pour sa relecture de l'anglais. Nous adressons nos sincères remerciements à Aurélie Jalouneix, conservateur des collections du musée du Gévaudan pour les discussions et l'accès aux spécimens. Les travaux de microscopie électronique ont été réalisés au CTµ, Centre technique des microstructures de l'université Lyon-1, dont nous remercions le personnel.

Références

- Alsharhan, A.S., Kendall, C.S.C., 2003. Holocene coastal carbonates and evaporites of the southern Arabian Gulf and their ancient analogues. *Earth Sci. Rev.* 61, 191–243.
- Arrondeau, J.-P., Thèse 3^e cycle 1982. Étude sédimentologique du Lias inférieur carbonaté du seuil caussenard et de ses abords (Languedoc). université de Nantes (230 p.).
- Barale, G., Philippe, M., Thévenard, F., 1991. L'approche morphologique en paléobotanique : application à l'étude du Jurassique. *Geobios* 13, 57–67.
- Bodnar, J., Escapa, I., Cúneo, N.R., Gnaedinger, S., 2013. First record of conifer wood from the Cañadón asfalto Formation (early–middle Jurassic), Chubut province, Argentina. *Ameghiniana* 50, 227–239.
- Briand, B.-G., Couturié, J.-P., Geoffroy, J., Gèze, B., 1979. Notice explicative, carte géologique au 1/50 000^e de la France, feuille de Mende (862). *Bur. Rech. Géol. Min. Orléans* (52 p.).
- Brouder, P., Gèze, B., Macquar, J.C., Paloc, H., 1977. Notice explicative, carte géologique au 1/50 000^e de la France, feuille de Meyrueis (910). *Bur. Rech. Géol. Min. Orléans* (29 p.).
- Collectif, 1974. Un siècle d'images mendoises. Société des imprimeries Maury, Millau (120 p.).
- Demathieu, G., 1993. Empreintes de pas de dinosaures dans les Causses (France). *Zubia* 5, 229–252.
- Demathieu, G., Gand, G., Sciau, J., Freytet, P., 2002. Les traces de pas de dinosaures et autres archosaures du Lias inférieur des Grands Causses, Sud de la France. *Paleovertebrata* 31 (143 p.).
- Dorlhac, A.M., 1860. Esquisse géologique du département de la Lozère. *Bull. Soc. Agr. Lozère* 11, 374–479.
- Dute, R.R., 2015. Development, Structure, and Function of Torus–Margo Pits in Conifers, Ginkgo and Dicots. In: Hacke, U.G. (Ed.), *Functional and Ecological Xylem Anatomy*. Springer, pp. 77–102.
- Fabre, G., 1869. Lettre manuscrite consultable sur <https://e-corpus.hypotheses.org/109>.
- Fabre, G., 1893. Stratigraphie des petits causses entre Gévaudan et Vivarais. *Bull. Soc. géol. France* 3, 640–674.
- Gèze, B., Pellet, J., Paloc, H., Bambier, A., Roux, J., Senaud, G., 1980. Notice explicative, carte géologique au 1/50 000^e de la France, feuille de Florac (886). *Bur. Rech. Géol. Min. Orléans* (52 p.).
- Grignac, C., Taugourdeau-Lantz, J., 1982. Découverte de microflore d'âge Hettangien dans l'épandage grés-conglomératique « triasique » formant la base du Mésozoïque de la région de Figeac-Capdenac (Quercy). *C. R. Acad. Sci. Paris Ser. II* 295, 57–62.
- Hamon, Y., Thèse 2004. Morphologie, évolution latérale et signification géodynamique des discontinuités sédimentaires : exemple de la marge ouest du bassin du Sud-Est (France). université Montpellier-2 (294 p.).
- Hanzo, M. (Ed.), 2012. Stratotype Hettangien. Muséum national d'Histoire naturelle, Paris. Biotop, Mèze & BRGM, Orléans (316 p.).
- Harris, T.M., 1964. The Yorkshire Jurassic flora. II Caytoniales, Cycadales & Pteridosperms. *British Museum Natural History, London* (191 p.).
- Holden, R., 1915. A Jurassic wood from Scotland. *New Phytol.* 14, 205–209.
- Hudson, J.-D., Palmer, T.J., 1976. A euryhaline oyster from the Middle Jurassic and the origin of the true oysters. *Palaeontology* 19, 79–93.
- Jansen, S., Dute, R., Allison, J., Rabaey, D., 2010. Torus-bearing pit membrane in species of *Osmanthus*. *IAWA J* 31, 217–226.
- Malafosse (de), G., 1873. Recherches sur le Lias de la région de Marvejols. *Bull. Soc. Agr. Lozère* 24, 5–56.
- Marza, P., Thèse 1995. Caractérisation du signal eustatique haute fréquence sur une plate-forme carbonatée péritidale, exemple du Lias des Causses, Sud de la France. université Montpellier-2 (212 p.).
- Matysik, M., 2016. Facies types and depositional environments of a morphologically diverse carbonate platform: a case study from the Muschelkalk (Middle Triassic) of Upper Silesia, southern Poland. *Ann. Soc. Geol. Pol.* 86, 119–164.
- Mélas, P., Thèse 1982. Étude sédimentologique, paléontologique et géochimique du Lias carbonaté du Nord-Lodévois. Application à la reconnaissance et à l'interprétation d'amas métallifères. université Montpellier-2 (419 p.).
- Michard, A.G., Coumoul, A., 1978. La sédimentation liasique dans les Causses : contrôle des minéralisations Zn–Pb associées au Lotharingien. *Bull. BRGM* 2, 57–120.
- Moreau, J.-D., 2011. Nouvelles découvertes d'empreintes de dinosaures en Lozère. Analyse biométrique des traces et synthèse paléoenvironnementale de l'Hettangien. Association paléontologique des hauts plateaux du Languedoc, Mende (34 p.).
- Moreau J.-D., Thévenard F. Rediscovery of the “destroyed” holotype of *Weltrichia fabrei* Saporta from the Rhaetian?/Hettangian of Lozère (Southern France). *Geodiversitas* (accepté).
- Moreau, J.-D., Gand, G., Fara, E., Michelin, A., 2012. Biometric and morphometric approaches on Lower Hettangian dinosaur footprints from the Rodez Strait (Aveyron, France). *C. R. Palevol* 11, 231–239.
- Moreau, J.-D., Trincal, V., Gand, G., Néraudeau, D., Bessière, G., Bourel, B., 2014. Two new dinosaur tracksites from the Hettangian Dolomitic Formation of Lozère, Languedoc-Roussillon, France. *Ann. Paleontol.* 100, 361–369.
- Moreau, J.-D., Fara, E., Néraudeau, D., Gand, G., 2017. New Hettangian tracks from the Causses Basin (Lozère, southern France) complement the poor fossil record of earliest Jurassic crocodylomorphs in Europe. *Hist. Biol.*, 1–12.
- Moreau, J.-D., Trincal, V., André, D., Baret, L., Jacquet, A., Wienin, M., 2018. Underground dinosaur tracksite inside a karst of southern France: Early Jurassic tridactyl traces from the Dolomitic Formation of the Malaval Cave (Lozère). *Int. J. Speleol.* 47, 29–42.
- Philippe, M., Bamford, M., 2008. A key to morphogenera used for Mesozoic conifer-like woods. *Rev. Palaeobot. Palynol.* 148, 184–207.
- Philippe, M., Barbacka, M., Grădinaru, E., Iamandei, E., Iamandei, S., Kázmér, M., Popa, M., Szakmány, G., Tchoumatchenko, P., Zaton, M., 2006. Fossil wood and Mid-Eastern Europe terrestrial palaeobiogeography during the Jurassic–Early Cretaceous interval. *Rev. Palaeobot. Palynol.* 142, 15–32.
- Pittermann, J., Sperry, J.S., Hacke, U.G., Wheeler, J.K., Sikkema, E.H., 2005. Torus-margo pits help conifers compete with angiosperms. *Science* 310 (5756), 1924.
- Ressouche, J., 1910. Horizon fluvio-lacustre au sommet de l'Hettangien en Lozère. *Bull. Soc. Étud. Sci. Nat. Béziers* 32, 10–13.
- Ressouche, J., Sarran-D'Allard, L., 1916. Notes stratigraphiques sur le Lias des environs d'Allenc (Lozère). *Soc. Lettr. Sci. Arts Lozère* 3, 2–11.
- Roquefort, C., 1934. Contribution à l'étude de l'Infra-Lias et du Lias inférieur des Causses cévenols. *Bull. Soc. géol. France* 5, 573–594.
- Saporta (de), G., 1873. Paléontologie française ou description des fossiles de la France, végétaux, plantes jurassiques. Tome I, Algues, Equisétacées, Characées. Masson, Paris (506 p.).
- Saporta (de), G., 1875. Paléontologie française ou description des fossiles de la France, végétaux, plantes jurassiques. Tome II, Cycadées. Masson, Paris (352 p.).
- Saporta (de), G., 1884. Paléontologie française ou description des fossiles de la France, végétaux, plantes jurassiques. Tome III, Conifères ou Aciculariées. Masson, Paris (672 p.).
- Saporta (de), G., 1891. Paléontologie française ou description des fossiles de la France, végétaux, plantes jurassiques. Tome IV, types proangiospermes et supplément final. Masson, Paris (558 p.).
- Schmid, R., 1967. Electron microscopy of wood of *Vallixylon* and *Cordaites*. *Am. J. Bot.* 54, 720–729.
- Simon-Coinçon, R., 1989. Le rôle des paléoolérations et des paléoformes dans les socles : l'exemple du Rouergue (Massif central français). *Mem. Sci. Terre* 9, 1–290.
- Taugourdeau-Lantz, J., 1983. Associations palynologiques définies dans le Trias Languedoci : interprétations stratigraphiques. *Micropal. Cah.* 3, 5–20.

- Thévenard, F., Thèse 1992. La paléoflore du Jurassique inférieur du bassin des Causses (France). Étude systématique, stratigraphique et paléo-écologique. université Claude-Bernard (195 p.).
- Thévenard, F., 1993. Les coniférales du Jurassique inférieur du gisement de Chaldecoste, bassin des Causses (Lozère, France). *Rev. Palaeobot. Palynol.* 78, 145–166.
- Thévenard F., Philippe M. La vie au Sinémurien : les végétaux. In : Neige P., Dommergues J.-L. (Eds.). Le stratotype du Sinémurien (accepté).
- Thévenard, F., Philippe, M., Barale, G., 1995. Le delta hettangien de La Grandville (Ardennes, France) : étude paléobotanique et paléoécologique. *Geobios* 28, 145–162.