



Paléontologie générale, systématique et évolution (Biostratigraphie)

Les kystes de dinoflagelles et palynofacies de la transition Maastrichtien–Danien du stratotype El kef (Tunisie)

Dinoflagellates cysts and palynofacies from Maastrichtian–Danian transition at the stratotype El kef (Tunisia)

Amel M'Hamdi^{a,*}, Hamid Slimani^b, Stephen Louwye^c, Mohamed Soussi^a,
Kmar Ben Ismail-Lattrache^a, Walid Ben Ali^a

^a Département de géologie, unité de recherche : UR 11 ES 15, faculté des sciences de Tunis, université de Tunis El Manar, campus universitaire, 2092 El Manar II, Tunisie

^b Institut scientifique, département des sciences de la terre, laboratoire de géologie et télédétection, URAC 46, université Mohammed-V, avenue Ibn-Batouta, PB 703, 10106 Rabat-Agdal, Maroc

^c Unité de recherche de paléontologie, université de Gent, Krijgslaan 281/S8, 9000 Gand, Belgique



INFO ARTICLE

Historique de l'article :

Reçu le 7 mai 2014

Accepté après révision le 14 janvier 2015

Handled by William A. DiMichele

Mots clés :

Limite Crétacé–Paléogène

Kystes de dinoflagellés

Palynofaciès

Stratotype El kef

R É S U M É

L'étude palynologique des dépôts de la limite Crétacé–Paléogène (K–Pg) du stratotype El kef, Tunisie, a montré une richesse exceptionnelle en palynomorphes. Les kystes de dinoflagellés (dinokystes) sont abondants, diversifiés et bien conservés. La limite K–Pg se trouve juste après la dernière apparition des espèces crétacées *Dinogymnium cretaceum*, *Dinogymnium acuminatum* et *Pterodinium cretaceum*, et directement au-dessous de la première apparition des espèces marqueurs du Danien basal, telles que *Damassadinium californicum*, *Membranilarnacia? tenella*, *Senoniasphaera inornata*, *Carpatella cornuta*, *Eisenackia circumtabulata* et *Lanterosphaeridium reinhardtii*. L'âge attribué à ces niveaux à l'aide des kystes de dinoflagellés est en accord avec celui déterminé à l'aide des foraminifères planctoniques. L'étude du palynofaciès a montré la présence d'une matière organique, dominée par les palynomorphes marins, principalement les kystes de dinoflagellés. Les palynomorphes continentaux (sporomorphes) et la matière organique amorphe (MOA) sont également présents dans tous les échantillons. Le microplancton est dominé par les péridinoïdes, avec un enrichissement progressif au Danien, notamment en ce qui concerne le groupe de *Senegalinium*. Dans ces dépôts, le contenu en carbone organique total (COT) est généralement inférieur à 0,6 % en poids. Les analyses de la pyrolyse Rock–Eval et l'étude de palynofaciès montrent une matière organique immature de type II et III avec un indice d'altération thermique (TAI) faible.

© 2015 Publié par Elsevier Masson SAS on behalf of Académie des sciences.

A B S T R A C T

A palynological study of the Cretaceous–Paleogene (K–Pg) boundary deposits at the stratotype El kef, Tunisia, showed an exceptional richness of palynomorphs. Dinoflagellate cysts (dinocysts) are abundant, diversified and well preserved. The K–Pg boundary lies right after the last appearance of the Cretaceous species, *Dinogymnium cretaceum*, *Dinogymnium acuminatum* and *Pterodinium cretaceum*, and directly below the first appearance of

Keywords:

Cretaceous–Paleogene boundary

Dinoflagellate cysts

Palynofacies

Stratotype El kef

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : mhamdiame25@yahoo.fr (A. M'Hamdi).

the species markers of the basal Danian, such as *Damassadinium californicum*, *Membranilarnacia? tenella*, *Senoniasphaera inornata*, *Carpatella cornuta*, *Eisenackia circumtabulata* and *Lanternosphaeridium reinhardtii*. The age determined for these levels based on dinocysts is in agreement with that determined using planktonic foraminifera. The palynofacies study showed an organic matter dominated by marine palynomorphs, essentially dinoflagellate cysts, the sporomorphs are rare. Continental palynomorphs (Sporomorphs) and Amorphous Organic Matter (AOM) are present in all samples. The microplankton is dominated by peridinoid dinocysts with a progressive enrichment at Danian, mainly the *Senegalinium* group. The Total Organic Carbon (TOC) content is generally less than 0.6 wt %. The TOC, Rock–Eval pyrolysis and palynofacies analyses indicate that the El Haria Formation presents immature organic matter of types II and III and a low Thermal Alteration Index (TAI).

© 2015 Published by Elsevier Masson SAS on behalf of l'Académie des sciences.

Abridged English version

The present work aims to study dinoflagellate cyst biostratigraphy of the Maastrichtian–Danian transition at the stratotype El kef, Tunisia, (Figs. 1 and 2) and to interpret the palynofacies analysis and evaluation of organic matter by geochemical analysis that combines Rock–Eval pyrolysis and TOC. This palynological study, revealed the presence of marine organic-walled microfossil assemblages consisting of well preserved dinocysts, representing 90 % of total palynomorphs. Spores, pollen, acritarchs and foraminiferal linings are rare.

The biostratigraphic interpretation, based on dinocyst events, suggests continuous sedimentation in the studied interval of the section and shows that the K–Pg boundary lies just above the Uppermost Maastrichtian global marker acme of *Manumiella seelandica* and the last appearance of few Cretaceous taxa such as *Dinogymnium* spp. and *Pterodinium cretaceum*, and directly below the first appearance of the basal Danian markers *Damassadinium californicum*, *Membranilarnacia? tenella*, *Senoniasphaera inornata*, *Lanternosphaeridium reinhardtii* and *Carpatella cornuta*. This boundary based on dinocyst biostratigraphy coincides with the K–Pg boundary based on lithostratigraphy and planktic foraminiferal (Gallala, 2010). These bio- events confirm localization of the K–Pg boundary between the two Kef 24 and Ka 2 levels, at the base of the red clay, as defined in the El kef GSSP (Molina et al., 2006). The age determination is based on the comparison with the dinocyst assemblages described in the Maastrichtian–Danian transition of the Northern Hemisphere, including Mediterranean sections in Tunisia (Brinkhuis and Zachariasse, 1988; Brinkhuis et al., 1998; Dupuis et al., 2001; M'Hamdi, 2014; M'Hamdi et al., 2013), Spain (Brinkhuis et al., 1998; De Coninck and Smit, 1982), Morocco (Guédé et al., 2014; Slimani and Toufiq, 2013; Slimani et al., 2010; Soncini, 1990), the Middle East (Eshet et al., 1992) and also in other areas of northern Europe in Denmark (Hansen, 1977), The Netherlands (Brinkhuis and Schiøler, 1996), Belgium (Slimani, 2001; Slimani et al., 2011) and Germany (Kuhn and Kirsch, 1992).

Quantitative and qualitative analysis of dinocysts at El kef section, indicate that no extinction occurred in dinoflagellate cysts unlike the mass extinction recorded in planktonic foraminifera assemblages (Gallala, 2010; Zaaghib-Turki et al., 2000, 2001), but show remarkable changes in the relative abundances of species or groups

of morphologically related species (*Areoligera* spp., *Manumiella seelandica*, *Spiniferites* spp. and *Senegalinium* spp.). The observed dinocyst assemblage is dominated by species of *Cerodinium*, *Lejeunecysta*, *Senegalinium*, *Andalusiella*, *Phelodinium* that characterize the Malloy suite (Lentin and Williams, 1980), and thus confirms deposition under a tropical to subtropical province for the studied interval of El kef section.

The palynofacies study of the Cretaceous–Paleogene transition deposits from the El Haria Formation at the El kef section, revealed the presence of an organic matter dominated by marine palynomorphs; continental palynomorphs (Sporomorphs) and Amorphous Organic Matter (AOM) are also present. The palynomorphs are dominated by dinoflagellate cysts, which are diversified and well-preserved, however the sporomorphs are rare.

The palynofacies distribution is evaluated based on a qualitative and quantitative analyses of dispersed organic constituents. In the AOM–Phytoclast–Palynomorph ternary diagrams of Tyson (1993), the different proportions of the components of this organic matter indicate a palynofacies dominated by abundant palynomorphs 65 % (Fig. 4B). Projection in the Palynofacies diagram of Roncaglia and Kuijpers (2006) shows that different organic matter components are dominated by marine-derived organic matter, such as dinoflagellate cysts, acritarchs and foraminiferal test linings (Fig. 4A). The geochemical data from the El kef section allow a characterization of the organic matter (Table 1). The kerogen has low TOC contents (<0.6 wt.%) and is predominantly characterized by marine organic matter and marine palynomorphs, preserved in a marine environment. The results (low values of TOC, S2 and HI) show that the El Haria Formation at El kef section contains kerogens type II and III (Fig. 5). The maturity indicators (T_{max}) suggest an immature stage of organic matter.

1. Introduction

La limite Crétacé–Paléogène (K–Pg), représente une des cinq crises biologiques majeures, ayant affecté plusieurs groupes biologiques (Berggren, 1962a, 1962b). Elle est marquée par une couche rouge d'épaisseur millimétrique, riche en cristaux de spinelle nickélique et de quartz choqués là où la teneur en iridium (Ir) est élevée et dépourvue de fossiles (Boersma et Premoli Silva, 1983; Canudo et al.,

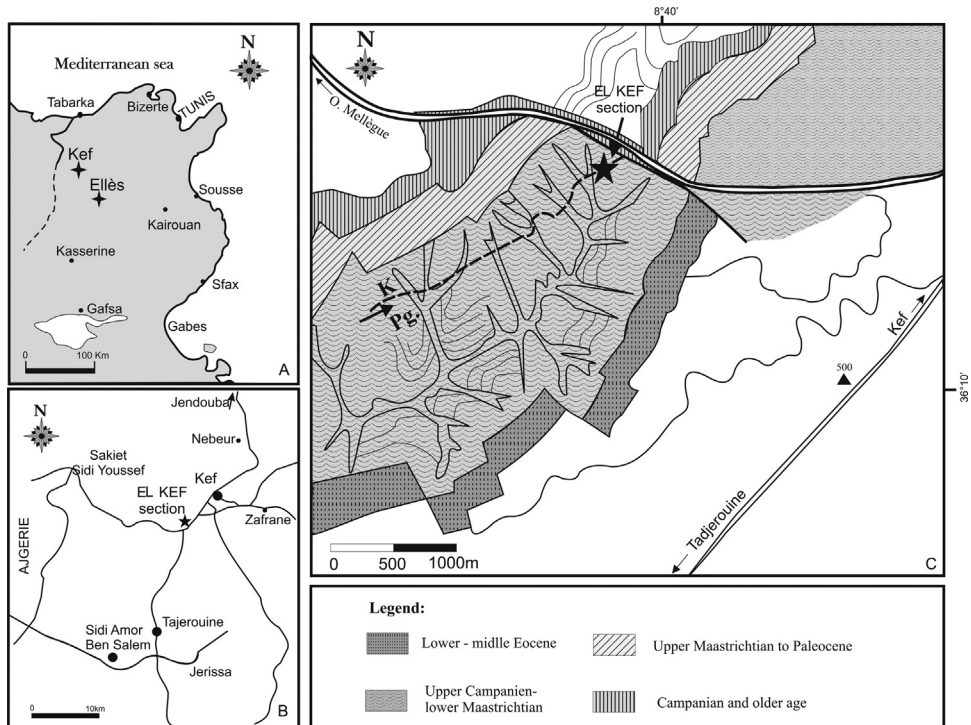


Fig. 1. Cartes de localisation géographique (A, B) et géologique (C) de la coupe d'El kef (Nord-Ouest de la Tunisie). (C) Extrait de la carte géologique de la Tunisie au 1/500 000.

Fig. 1. Geographic (A, B) and geological (C) location maps of the El kef section (northwestern Tunisia). (C) Extract from the geological map of Tunisia at 1/500,000.



Fig. 2. (Couleur en ligne). Affleurement de la limite Crétacé-Paléogène au niveau de la coupe d'El kef (Tunisie nord-occidentale).

Fig. 2. (Color online). The Cretaceous–Paleogene boundary outcrop at the El kef section (northwestern Tunisia).

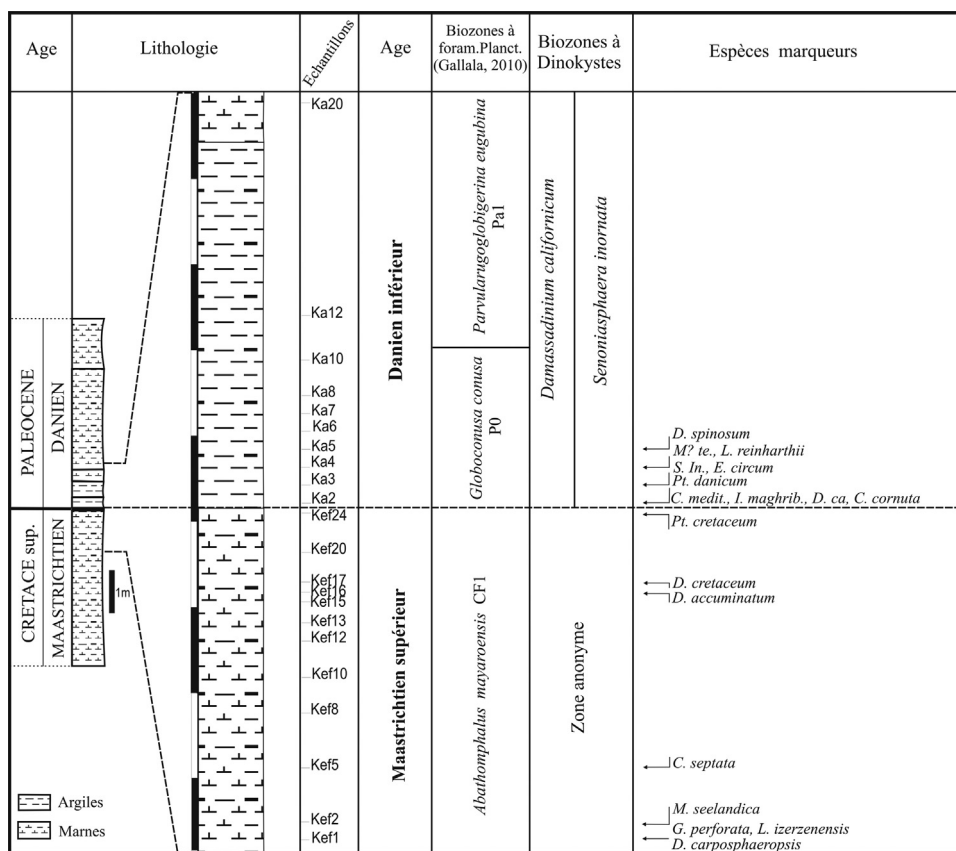


Fig. 3. Principaux événements biostratigraphiques de kystes de dinoflagellés et biozones associées, comparés à la lithologie, à la biozonation des foraminifères planctoniques et à la position des échantillons au passage Crétacé-Paléogène de la coupe El kef (Tunisie). *D. carposphaeropsis* = *Disphaerogena carposphaeropsis*, *G. perforata* = *Glaphyrocysta perforata*, *M. seelandica* = *Manumiella seelandica*, *L. izerzenensis* = *Lejoneucysta izerzenensis*, *C. septata* = *Carpatella septata*, *D. cretaceum* = *Dinogymnium cretaceum*, *D. acuminatum* = *Dinogymnium acuminatum*, *P. cretaceum* = *Pterodinium cretaceum*, *C. medit.* = *Cerodinium mediterraneum*, *I. maghrib.* = *Impagidinium maghribensis*, *D. ca.* = *Damassadinium californicum*, *S. in.* = *Senoniasphaera inornata*, *M? te.* = *Membranilarnacia? tenella*, *Pt. danicum* = *Pterodinium danicum*, *L. reinhardtii* = *Lanterosphaeridium reinhardtii*, *E. circum* = *Eisenackia circumtabulata*.

Fig. 3. Dinoflagellate cyst events and biozones front of lithology, planktic foraminiferal biozones and sample positions in the Cretaceous–Paleogene boundary transition at El kef section (Tunisia).

1991; Gerstel et al., 1986; Herm et al., 1981; Keller, 1988a, 1988b; Zaaghib-Turki et Karoui-Yaakoub, 2004; Zaaghib-Turki et al., 2000).

En Tunisie, les coupes à passage Crétacé-Paléogène complet et continu, et enregistrant à la limite K-Pg une

couche rouge à iridium, s'élèvent de nos jours à quatre, dont El kef (Molina et al., 2006), Ellès et Aïn Settara (Dupuis et al., 2001; M'Hamdi, 2014; M'Hamdi et al., 2013; Molina et al., 2008) et El Melah (Zaaghib-Turki et Karoui-Yaakoub, 2004; Zaaghib-Turki et al., 2000).

Tableau 1

Analyse Rock Eval des échantillons de la transition K-Pg provenant de la coupe d'El kef, Tunisie.

Table 1

Rock Eval analysis of samples from the K-Pg transition at the El kef section, Tunisia.

Échantillons	SI (meg)	S2 (meg)	S3 (meg)	PI	T _{max} (°C)	IH	IO	TOC (%)	PP	S2/S3
Ka 12	0,09	0,34	0,96	0,21	431	62	175	0,55	0,34	0,35
Ka 10	0,04	0,39	0,94	0,1	437	65	157	0,6	0,43	0,41
Ka 8		0,28	0,96		426	62	213	0,45	0,28	0,29
Ka 6	0,03	0,21	1,08	0,13	428	78	400	0,27	0,21	0,19
Ka 3	0,04	0,21	1,12	0,16	429	51	273	0,41	0,21	0,19
Ka 2	0,06	0,2	1,03	0,23	434	54	278	0,37	0,2	0,19
Kef 24	0,03	0,13	0,33	0,19	398	5	138	0,24	0,13	
Kef 23	0,03	0,16	0,8	0,1	428	52	258	0,31	0,16	0,2
Kef 20	0,02	0,12	0,75	0,18	429	52	326	0,23	0,12	0,16
Kef 17	0,02	0,28	0,69	0,19	424	60	147	0,47	0,28	0,41
Kef 15	0,04	0,27	0,77	0,2	428	75	214	0,36	0,27	0,35
Kef 12	0,04	0,36	0,48	0,21	429	64	86	0,56	0,36	
Kef 8	0,01	0,26	0,33	0,22	427	76	97	0,34	0,26	

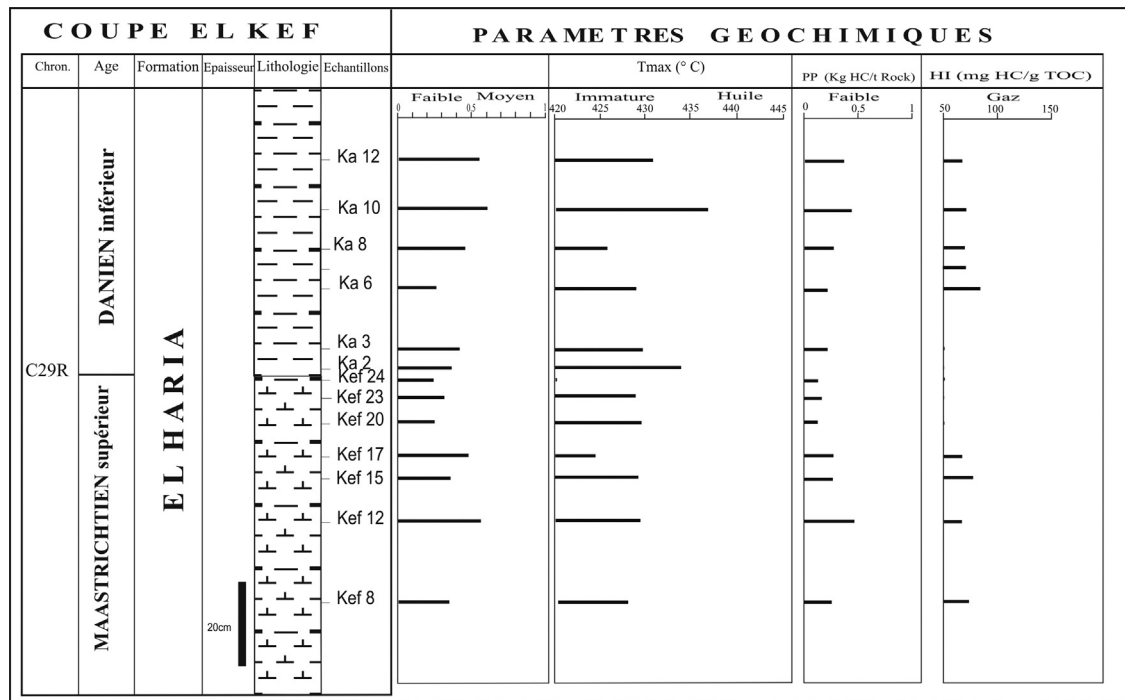


Fig. 4. Paramètres géochimiques de la transition Maastrichtien–Danien de la coupe d'El kef, Tunisie.

Fig. 4. Geochemical parameters from Maastrichtian–Danian transition at the El kef section, Tunisia.

La coupe d'El kef a fait l'objet de plusieurs études micro-paléontologiques (Alegret et al., 1999; Arenillas et al., 2000; Brinkhuis et Zachariasse, 1988; Gallala, 2010; Keller et al., 1993) et géochimiques (Keller et Lindinger, 1989; Robin et al., 1991; Smit et TenKate, 1982).

Le présent travail consiste en une étude des dinokystes de la transition Maastrichtien–Danien, au niveau du stratotype El kef, afin de contribuer à une meilleure connaissance des assemblages de ces dinokystes dans cette transition, et en une étude du palynofaciès et d'évaluation de la matière organique par une analyse géochimique qui combine la pyrolyse Rock–Eval et le COT.

2. Matériel et méthodes

Les 22 échantillons prélevés dans les dépôts de la transition Maastrichtien–Danien du stratotype El kef, ont été traités suivant la méthode classique de la préparation palynologique adoptée dans les laboratoires de palynologie. Cinquante à 100 g de sédiment sec par échantillon ont été attaqués par HCl (10%) jusqu'à dissolution complète des carbonates, puis par HF (40%) à chaud (60°C) pendant 48 h jusqu'à dissolution des silicates. Après rinçage à l'eau distillée, le résidu est traité par l'HCl (10%) à chaud pour éliminer les fluosilicates, puis neutralisé. Le résidu est par la suite dilué et filtré sur un tamis de maille 15 µm. Le milieu de montage du résidu entre lame et lamelle est la glycérine.

Deux lames sont préparées par échantillon et le matériel organique est observé au microscope optique. Les photographies des dinokystes ont été prises à l'aide d'un appareil

photo numérique Olympus C-400 Zoom, monté sur un microscope Olympus BX53. Les coordonnées « England Finder » (EF) des spécimens sont données dans les légendes des Fig. 1–3. La nomenclature des kystes de dinoflagellés est fondée sur dinoflag 2 (Fensome et al., 2008; Slimani et al., 2008, 2010, 2012; Willumsen, 2004).

Les études microscopiques de la matière organique sont largement utilisées pour l'évaluation des types du kérogène (Batten, 1982, 1983; Jones et Demaison, 1982; Parry et Whitley, 1981; Staplin, 1969; Tyson, 1995; Van Bergen et al., 1990). La maturité de cette matière organique est évaluée, par observation en lumière transmise, selon l'échelle STAPLIN, afin de déterminer l'indice d'altération thermique (IAT) des palynomorphes (Staplin, 1969).

3. Cadre géographique et géologique

Le stratotype El kef est localisé en Tunisie nord-occidentale, à 5 km au sud-Ouest de la ville d'El kef et à 3 km de Hammam Mellègue, entre un petit village et un lac colinéaire artificiel. Les coordonnées géographiques de la coupe d'El kef sont : X = 36°08' 12,4" N et Y = 08°37' 52,6" E. Cette coupe a été levée au niveau d'Oued Djefrane, couvrant l'intervalle des dépôts marneux du passage K–Pg appartenant à la formation El Haria (Burolet, 1965). La série montre une épaisseur suffisante de sédiments (450 m) allant du Campanien jusqu'à l'Éocène (Fig. 1). Les dépôts du Maastrichtien supérieur sont composés de marnes gris clair, riches en nodules de jarosite et en concrétions ferrugineuses dans les 2 m du sommet. Le sommet du Maastrichtien est coiffé par

Tableau 2

Étude de la maturité de la matière organique au niveau la coupe d'El kef.

Table 2

Study of maturity of the organic matter from the El kef section.

Âge	Lithologie	Formation	Échantillons	Type de la matière organique	Description de la matière organique	Type du kérogène	Couleur de la spore	S.C.I.	Indice d'Altération Thermique (TAI)	Préservation	Maturité
Danien inférieur	Marnes	Formation El Hariz	Ka 20	W ; H ; Am ; Al	Marine, avec la présence de débris ligneux	II-III	Jaune		1	Bonne	Immature
	Argiles marneuses		Ka 12	Al ; Am ; W ; H	Marine, algues fraîches avec quelques débris ligneux	II-III	Jaune		1	Bonne	Immature
			Ka 10	Al ; Am ; W ; H		II-III	Jaune		1	Bonne	Immature
			Ka 07 Ka 02	Al ; Am ; W ; H Al ; Am ; W ; H		II-III II-III	Jaune Jaune	1	1- / 1 1	Bonne Bonne	Immature Immature
Maastrichtien supérieur	Marnes		Kef 24	Al ; Am ; W ; H	Présence de spores fraîches et limpides	II-III	Jaune	1	1	Bonne	Immature
		Kef 20	Al ; Am ; H ; W	II-III		Jaune	1	1	Bonne	Immature	
		Kef 17	Al ; Am ; H ; W	II-III		Jaune	1	1-	Bonne	Immature	
		Kef 15	Al ; Am ; W ; H	Riches en algues et fragments d'algues	II-III	Jaune	1	1-	Bonne	Immature	
		Kef 12	Am ; Al ; H ; W	Marine, riche en produits amorphes avec la présence de spores fraîches	II-III	Jaune	1	1-	Bonne	Immature	
		Kef 10	Al ; Am ; W ; H	Riches en algues et fragments d'algues	II-III	Jaune	1	1	Bonne	Immature	
		Kef 08 Kef 02	Al ; Am ; W ; H Al ; Am ; H ; W	II-III II-III	Jaune Jaune	1 1	1- / 1 1- / 1	Bonne Bonne	Immature Immature		

Am : Amorphous/Amorphe ; Al : Algae/Algue ; H : Herbaceous/Herbacée ; W : Wood/Bois.

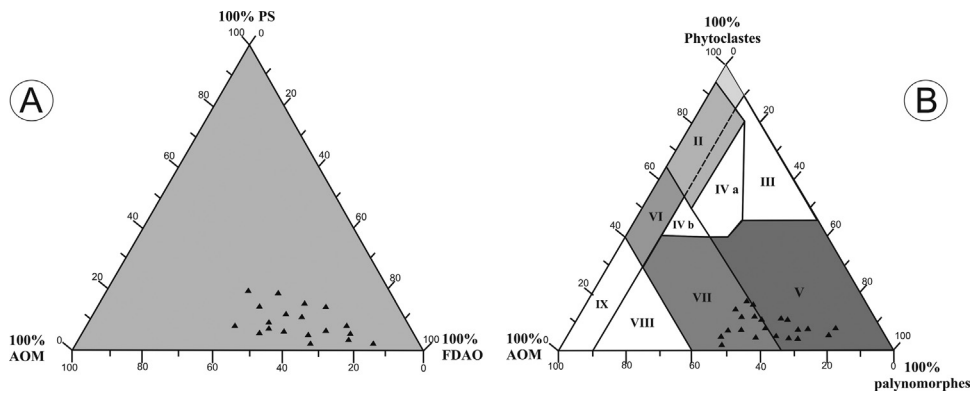


Fig. 5. A. Projection des différents palynofaciès au niveau de la coupe d'El kef dans le diagramme PS : Phytoclastes, spores et pollens ; MOA : matière organique amorphe ; FDAO : foraminifères + dinokystes + acritarches + autres algues marines) de [Roncaglia et Kuijpers \(2006\)](#). B. Projection des différents palynofaciès de la coupe d'El kef dans le diagramme Phytoclastes–AOM–palynomorphes de [Tyson \(1993\)](#).
Fig. 5. A. Ternary PS–AOM–FDAO plots at El kef section. AOM: Amorphous Organic Matter; PS: Phytoclasts + Sporomorphs; FDAO: foraminifera linings + dinoflagellate cysts + acritarchs + other marine algae from [Roncaglia and Kuijpers \(2006\)](#). B. Ternary kerogen and palynomorph plots at El kef section; Phytoclast–AOM–Palynomorph plot from [Tyson \(1993\)](#).

une fine couche épaisse de 3 mm, riche en iridium ; elle marque la limite K–Pg. Le Danien inférieur débute par des argiles noires de 10 cm d'épaisseur, surmontées par 59 cm d'argiles brunes ([Fig. 2 et 3](#)).

4. Biostratigraphie à l'aide des kystes de dinoflagellés

Le matériel palynologique enregistré au niveau des échantillons traités de la coupe d'El kef a montré une richesse exceptionnelle en palynomorphes, qui sont bien conservés et diversifiés, mais est dominé par les dinokystes (plus de 90%). Au total, 96 espèces ont été identifiées au niveau du stratotype El kef, cinq espèces sont enregistrées au Maastrichtien supérieur et 26 espèces au Danien inférieur. La répartition des kystes de dinoflagellés est présentée dans l'[Annexe 1](#).

4.1. Maastrichtien supérieur

Les dépôts marneux (Kef 1–Kef 24) montrent une microflore riche en formes crétacées, dont certaines ne traversent pas la limite K–Pg, telles que *Dinogymnium acuminatum*, *Dinogymnium cretaceum* et *Pterodinium cretaceum*.

Disphaerogena carposphaeropsis et *Glaphyrocysta perforata* apparaissent au niveau du Kef 1, alors que *Manumiella seelandica* apparaît au niveau du Kef 2. Leur première apparition indique le Maastrichtien terminal. *Disphaerogena carposphaeropsis*, *Glaphyrocysta perforata* et *Manumiella seelandica* apparaissent au Maastrichtien terminal en Tunisie à El kef et Ellès ([M'Hamdi, 2014](#) ; [M'Hamdi et al., 2013](#)), au Maroc dans les dépôts phosphatés ([Rauscher et Doubinger, 1982](#) ; [Soncini et Rauscher, 1988](#)), à Ouled Had-dou ([Slimani et Toufiq, 2013](#) ; [Slimani et al., 2010](#)) et Arbat Ayacha ([Guédé et al., 2014](#)), en Espagne à Caravaca ([De Coninck et Smit, 1982](#)), au Moyen Orient ([Eshet et al., 1992](#)) et en Autriche à Knappengraben et Gamsbach ([Mohamed et al., 2012](#)).

Les espèces *Dinogymnium cretaceum*, *Dinogymnium acuminatum* et *Pterodinium cretaceum* marquent leur dernière occurrence respectivement au niveau des échantillons Kef 16, Kef 17 et Kef 24.

Les dernières apparitions des espèces du genre *Dinogymnium* au sommet du Maastrichtien sont considérées comme de bons indicateurs pour identifier la limite K–Pg dans l'Hémisphère Nord ([M'Hamdi et al., 2013](#) ; [M'Hamdi, 2014](#) ; [Slimani et al., 2010](#) ; [Williams et al., 2004](#)). L'âge attribué à cet intervalle (Kef 1–Kef 24) est en accord avec les données de foraminifères planctoniques caractéristiques de la Zone à *Abathomphalus mayaroensis* CF1 ([Gallala, 2010](#) ; [Zaaghbib-Turki et al., 2001](#)).

4.2. Le Danien inférieur et la limite Crétacé–Paléogène

La première occurrence des espèces daniennes, telles que *Carpatella cornuta*, *Damassadinium californicum* et *Pterodinium cingulatum* subsp. *danicum*, est reconnue ici au niveau de Ka 2, juste au-dessus de la limite K–Pg. Au-dessus, au niveau de Ka 3, apparaissent les espèces *Senoniasphaera inornata*, *Eisenackia circumtabulata* et *Kenleyia leptocera*, tandis que dans le niveau de Ka 4, apparaissent *Membranilarnacia? tenella*, *Lanterosphaeridium reinhardtii* et *Kenleyia pachycerata* qui sont caractéristiques du Danien. Ces espèces sont très utiles pour identifier la limite K–Pg en domaine téthysien ([M'Hamdi, 2014](#) ; [M'Hamdi et al., 2013](#) ; [Slimani et al., 2010](#) ; [Williams et al., 2004](#)).

Ces bio-événements sont observés juste au-dessus de la limite K–Pg, entre les deux niveaux Kef 24 et Ka 2, entre les événements marqueurs du sommet du Maastrichtien et ceux marqueurs de la base du Danien, plus précisément juste au-dessus de la dernière apparition des espèces crétacées *Dinogymnium acuminatum*, *Dinogymnium cretaceum* et *Pterodinium cretaceum* et immédiatement au-dessous des premières apparitions des espèces daniennes, en particulier *Damassadinium californicum* et *Senoniasphaera inornata*. Les dinokystes confirment bien la localisation de la limite K–Pg à la base de la couche

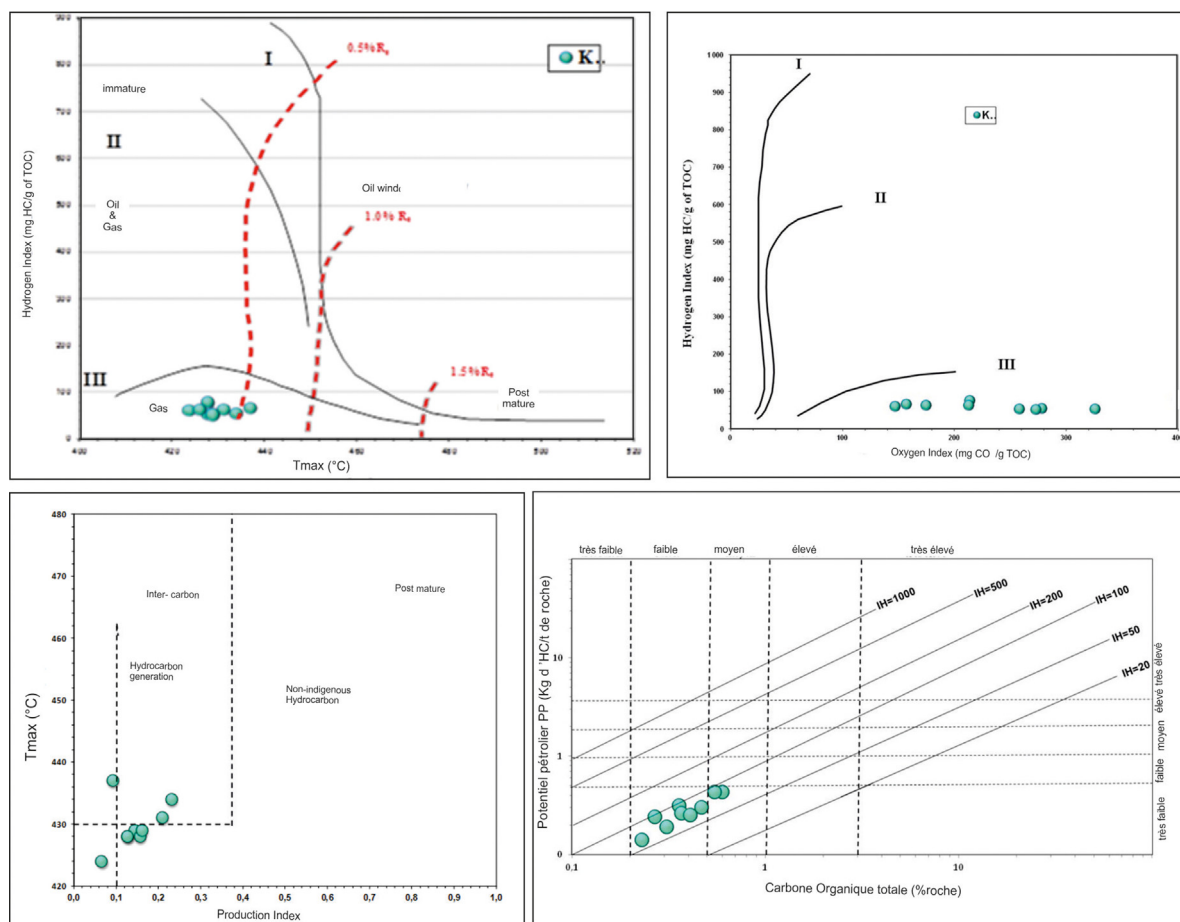


Fig. 6. (Couleur en ligne). Caractéristiques quantitative et qualitative de la matière organique de la transition Maastrichtien–Danien de la coupe d'El kef, Tunisie.

Fig. 6. (Color online). Quantitative and qualitative characteristics of organic matter of Maastrichtian–Danian transition at the El kef section, Tunisia.

d'iridium, séparant les marnes du Maastrichtien supérieur et les argiles du Danien inférieur.

Les kystes de dinoflagellés identifiés ont permis une analyse biostratigraphique détaillée de la transition Maastrichtien–Danien. La reconnaissance de l'âge est basée sur la comparaison avec les assemblages de dinokystes décrits dans les dépôts d'âge Maastrichtien–Danien, enregistrés dans l'hémisphère nord, comme les coupes méditerranéennes à Aïn Settara (Dupuis et al., 2001) et El kef (Brinkhuis et Zachariasse, 1988; Brinkhuis et al., 1998; M'Hamdi, 2014), à Ellès (M'Hamdi, 2014; M'Hamdi et al., 2013) en Tunisie, Caravaca en Espagne (Brinkhuis et al., 1998; De Coninck et Smit, 1982), Plateau des phosphates (Soncini, 1990) et Ouled Haddou (Slimani et al., 2010) au Maroc, au Moyen-Orient (Eshet et al., 1992) et également dans les coupes de l'Europe du Nord, au Danemark (Hansen, 1977), aux Pays-Bas et en Belgique (Brinkhuis et Schiøler, 1996; Slimani, 2001; Slimani et al., 2011), ainsi qu'en Allemagne (Kuhn et Kirsch, 1992).

L'analyse quantitative et qualitative des dinokystes au niveau du stratotype El kef indique qu'aucune extinction sévère n'est survenue chez les kystes de dinoflagellés,

contrairement à l'extinction en masse enregistrée dans les assemblages de foraminifères planctoniques (Gallala, 2010; Zaaghib-Turki et al., 2000, 2001). Le renouvellement de dinokystes se produit à proximité de la fine couche d'iridium. Ces assemblages montrent cependant des changements remarquables dans les abondances relatives des espèces ou de groupes d'espèces morphologiquement liées (*Areoligera* spp., *Manumiella seelandica*, *Spiniferites* spp. et *Senegalinium* spp.). En fait, la plupart des taxons du Maastrichtien supérieur (80%) traversent la limite K–Pg et persistent au Danien.

Il est évident que l'assemblage global des péridinoïdes est largement dominé par les taxons déjà signalés dans la province tropicale à subtropicale de l'association (suite de Malloy de Lentin et Williams, 1980) des groupes *Senegalinium*, *Lejeneucysta*, *Cerodinium* et *Andalusiella*. Par conséquent, le présent assemblage confirme un dépôt effectué dans une province tropicale à subtropicale ou téthysienne. Cet assemblage est reconnu dans les dépôts campaniens, maastrichtiens et daniens du bassin méditerranéen (Slimani et al., 2010; Soncini, 1990), au Sénégal (Jan du Chêne, 1988), dans les zones équatoriales (Masur et al., 1998; Oboh-Ikuenobe et al., 1998; Yepes, 2001) et



Fig. 7. (Couleur en ligne). La barre d'échelle sur la Fig. 7 est valable pour tous les spécimens illustrés et représente 40 μm . 1 : *Lanternosphaeridium reinhardtii* Habib in Moshkovitz et Habib, 1993a,b, échantillon Ka 4, lame L2, EF R49. 2 : *Andalusiella mauthei* Riegel, 1974 subsp. *punctata* (Jain et Millepied, 1973) Masure et al., 1996, échantillon Kef 1, lame L2, EF W36. 3 : *Damassadinium californicum* (Drugg, 1967) Fensome et al., 1993, échantillon Ka 5, lame L2, EF V42/3. 4 : *Fibrocysta bipolaris* (Cookson et Eisenack, 1965) Stover et Evitt, 1978, échantillon Ka 7, lame L1, EF R37/3. 5 : *Phelodinium pentagonale* (Corradini, 1973) Stover et Evitt, 1978, échantillon Ka 5, lame L1, EF M56. 6 : *Phelodinium elongatum* Slimani et al., 2010, échantillon Ka 6, lame L2, EF C29. 7 : *Andalusiella mauthei* subsp. *punctata* (Jain et Millepied, 1973) Masure et al., 1996, échantillon Ka 5, lame L1, EF S28/3. 8 : *Cerodidinium speciosum* Alberti, 1959, échantillon Kef 12, lame L2, EF O26/3. 9 : *Palaeocystodinium australinum* (Cookson, 1965) Lentin et Williams, 1976, échantillon Ka 6, lame L2, EF H41. **Fig. 7.** (Color online). The scale bar in Fig. 7 represents 40 μm for all specimens. 1 : *Lanternosphaeridium reinhardtii* Habib in Moshkovitz and Habib, 1993a,b, sample Ka 4, slide L2, EF R49. 2 : *Andalusiella mauthei* subsp. *punctata* (Jain et Millepied, 1973) Masure et al., 1996, sample Kef 1, slide L2, EF W36. 3 : *Damassadinium californicum* (Drugg, 1967) Fensome et al., 1993, sample Ka 5, slide L2, EF V42/3. 4 : *Fibrocysta bipolaris* (Cookson and Eisenack, 1965) Stover and Evitt, 1978, sample Ka 7, slide L1, EF R37/3. 5 : *Phelodinium pentagonale* (Corradini, 1973) Stover and Evitt, 1978, sample Ka 5, slide L1, EF M56. 6 : *Phelodinium elongatum* Slimani et al., 2010, sample Ka 6, Slide L2, EF C29. 7 : *Andalusiella mauthei* subsp. *punctata* (Jain et Millepied, 1973) Masure et al., 1996, sample Ka 5, slide L1, EF S28/3. 8 : *Cerodidinium speciosum* Alberti, 1959, sample Kef 12, slide L2, EF O26/3. 9 : *Palaeocystodinium australinum* (Cookson, 1965) Lentin and Williams, 1976, sample Ka 6, slide L2, EF H41.

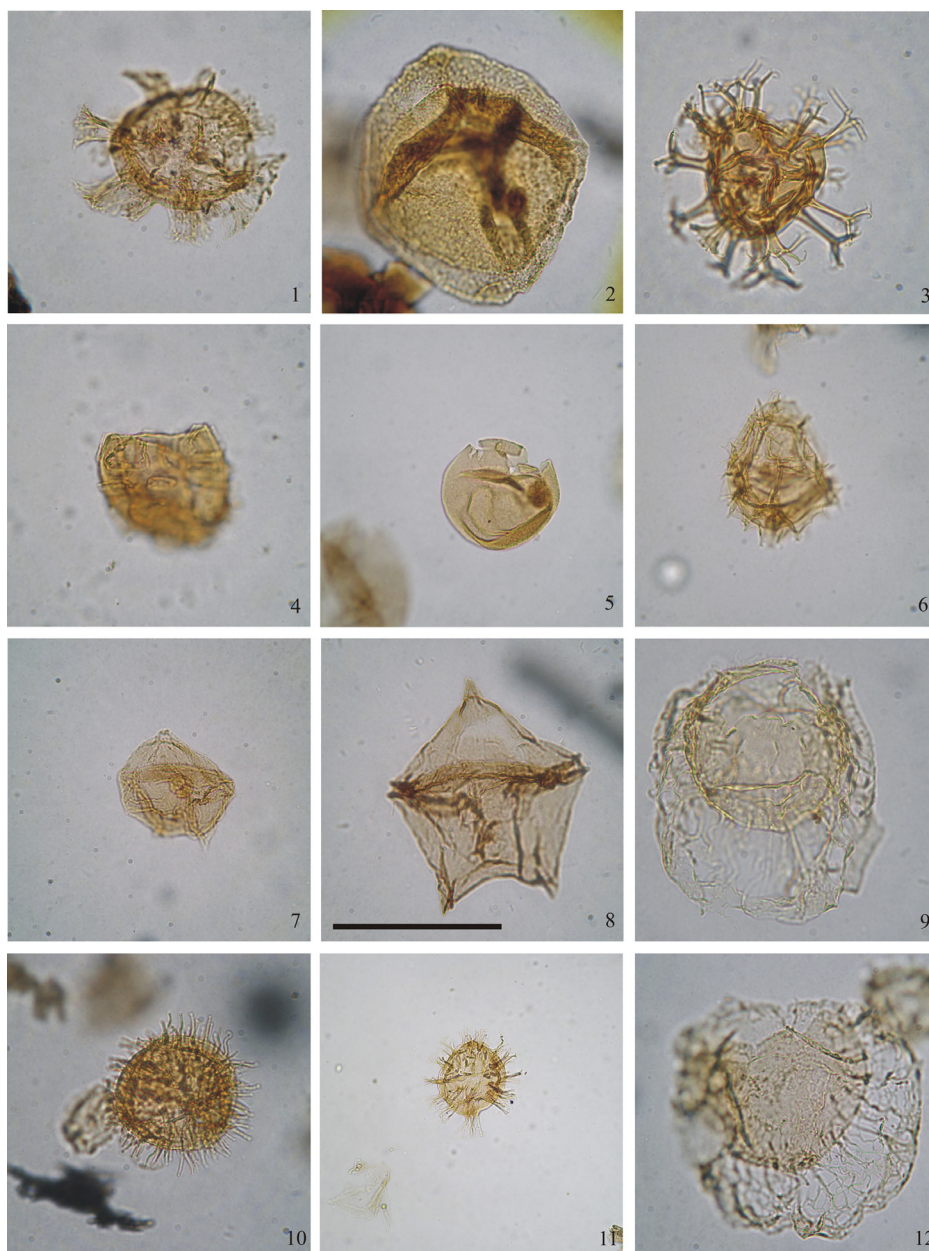


Fig. 8. (Couleur en ligne). La barre d'échelle sur les figures 2 et 11 est valable pour tous les spécimens illustrés et représente 40 μm . **1 :** *Cordosphaeridium fibrospinosum* Davey et Williams, 1966, échantillon Ka 5, lame L1, EF U37. **2 :** *Manumiella seelandica* (Lange, 1969) Bujak et Davies, 1983, échantillon Kef 2, lame L1, EF U33. **3 :** *Achomospaera ramulifera* (Deflandre, 1937) Evitt, 1963, échantillon Ka 20, lame L1, EF H29/1. **4 :** *Eisenackia circumtabulata* Drugg, 1967, échantillon Ka 4, lame L2, EF O40. **5 :** *Kallosphaeridium yorubense* Jan Du Chêne et Adediran, 1985, échantillon Ka 4, lame L2, EF O49. **6 :** *Spiniferella cornuta* subsp. *laevimura* (Davey et Williams, 1966) Williams et al., 1993, échantillon Ka 2, lame L2, EF G35/3. **7 :** *Senegalinium microgranulatum* (Stanley, 1965) Stover et Evitt, 1978, échantillon Ka 6, lame L1, EF C35. **8 :** *Phelodinium magnificum* (Stanley, 1965) Stover et Evitt, 1978, échantillon Kef 1, lame L2, EF Q26–P26. **9 :** *Glaphyrocysta perforata* Hultberg et Malmgren, 1985, échantillon Kef 1, lame L1, EF W31/3. **10 :** *Impletosphaeridium clavulum* Davey, 1969, échantillon Ka 8, lame L1, EF U35. **11 :** *Conneximura fimbriata* (Morgenroth, 1968) May, 1980, échantillon Ka 4, lame L2, EF C45. **12 :** *Glaphyrocysta semitecta* (Bujak in Bujak et al., 1980) Lentin et Williams, 1981, échantillon Ka 2, lame L2, EF H29/1.

Fig. 8. (Color online). The scale bar in figures 2 and 11 represents 40 μm for all specimens. **1 :** *Cordosphaeridium fibrospinosum* Davey and Williams, 1966, sample Ka 5, slide L1, EF U37. **2 :** *Manumiella seelandica* (Lange, 1969) Bujak and Davies, 1983, sample Kef 2, slide L1, EF U33. **3 :** *Achomospaera ramulifera* (Deflandre, 1937) Evitt, 1963, sample Ka 20, slide L1, EF H29/1. **4 :** *Eisenackia circumtabulata* Drugg, 1967, sample Ka 4, slide L2, EF O40. **5 :** *Kallosphaeridium yorubense* Jan du Chêne and Adediran, 1985, sample Ka 4, slide L2, EF O49. **6 :** *Spiniferella cornuta* subsp. *laevimura* (Davey and Williams, 1966) Williams et al., 1993, sample Ka 2, slide L2, EF G35/3. **7 :** *Senegalinium microgranulatum* (Stanley, 1965) Stover and Evitt, 1978, sample Ka 6, slide L1, EF C35. **8 :** *Phelodinium magnificum* (Stanley, 1965) Stover and Evitt, 1978, sample Kef 1, slide L2, EF Q26–P26. **9 :** *Glaphyrocysta perforata* Hultberg and Malmgren, 1985, sample Kef 1, slide L1, EF W31/3. **10 :** *Impletosphaeridium clavulum* Davey, 1969 sample Ka 8, slide L1, EF U35. **11 :** *Conneximura fimbriata* (Morgenroth, 1968) May, 1980, sample Ka 4, slide L2, EF C45. **12 :** *Glaphyrocysta semitecta* (Bujak in Bujak et al., 1980) Lentin and Williams, 1981, sample Ka 2, slide L2, EF H29/1.



Fig. 9. (Couleur en ligne). La barre d'échelle sur la Fig. 2 est valable pour tous les spécimens illustrés et représente 40 μm . **1:** Achritarche, échantillon Ka 20, lame L1, EF H25. **2:** Basale chitinoïde de foraminifères, échantillon Ka 8, lame L1, EF Q36/4. **3:** Grain de pollen bisaccade, échantillon Ka 4, lame L1, EF U35/1. **4:** Spore, échantillon Ka 5, lame L1, EF C47.

Fig. 9. (Color online). The scale bar in Fig. 2 represents 40 μm for all specimens. **1:** Achritarch, sample Ka 20, slide L1, EF H25; Sample Ka 20, slide L1, EF H25. **2:** foraminiferal test lining, sample Ka 8, slide L1, EF Q36/4. **3:** Bisaccate pollen grain, sample Ka 4, slide L1, EF U35/1. **4:** Spore, sample Ka 5, slide L1, EF C47.

dans le Sud-Est des États-Unis d'Amérique (Firth, 1993 ; Moshkovitz et Habib, 1993 ; Srivastava, 1995).

5. Analyse du palynofaciès et évaluation de la matière organique

5.1. Approche géochimique : COT et pyrolyse Rock-Eval

Les résultats de la pyrolyse Rock-Eval et du carbone organique total (COT) sont donnés dans le Tableau 1. Le taux du carbone organique total (COT) est généralement faible et varie entre 0,23 et 0,6 wt %, indiquant une faible teneur en carbone organique. Les paramètres Rock-Eval S1 et S2 varient respectivement de 0,01 à 0,09 mgHC/g de roche et de 0,12 à 0,39 mgHC/g de roche (Fig. 4). Les valeurs de T_{max} varient de 398 à 437 °C.

Les valeurs de l'indice d'hydrogène (IH) et de l'indice d'oxygène (IO) varient respectivement de 52 à 78 mg HC/g COT et de 86 à 400 mg HC/g COT. Ils indiquent une matière organique marine planctonique (de type II) altérée et/ou mélangée avec une matière organique continentale (type III). Selon Tissot et Welte (1977), les valeurs faibles de l'IH sont probablement dues à la contribution de la matière organique de type III et/ou à la mauvaise conservation de la matière organique.

Le potentiel pétrolier est également faible, variant entre 0,12 et 0,43 kg HC/t roche, avec une moyenne de 0,27 kg HC/t roche. Le diagramme PP/COT montre que la formation El Haria a généralement un potentiel pétrolier global faible (Fig. 4). Les diagrammes IH/ T_{max} et IP/ T_{max} indiquent une matière organique immature.

5.2. Méthode optique : Indice d'Altération Thermique (ITA) et Indice de Coloration des Spores (ICS)

Les résultats de l'étude de la maturité de la matière organique dans la coupe d'El kef sont rapportés dans le Tableau 2. Les échantillons observés montrent une matière organique bien conservée mixte, à dominance marine. Elle est, en général, constituée par des éléments amorphes, des palynomorphes, notamment les dinokystes, les algues et les fragments d'algues, quelques spores et grains de pollen et des débris ligneux à contour anguleux. Sur le plan de la qualité organique, le matériel est dominé par les macéraux d'exine. Néanmoins, le pourcentage relatif des fractions organiques est souvent variable ; certaines sont relativement plus riches en débris ligneux, reflétant ainsi une influence continentale.

Cette étude montre qu'au Maastrichtien supérieur et au Danien inférieur, les palynomorphes sont de couleur jaune et l'indice de coloration des spores ne dépasse pas 1 dans l'ensemble de la coupe d'El kef (Tableau 2). Cet indice de l'ordre de 1, indique une matière organique immature et des palynomorphes de couleur jaune. Quant à l'indice d'altération thermique selon Batten (1996), il est faible et varie entre -1 et 1. Dans ce sous-étage, la matière organique est de type II, voire même de type III. Elle est immature et ne peut générer que du gaz.

Au total, la matière organique associée aux sédiments de la formation El Haria de la coupe d'El kef, est bien conservée, mais immature avec un indice d'altération thermique ne dépassant pas l'unité 1. Elle est d'origine marine sous

influence continentale, la fraction dominante est représentée par les palynomorphes.

5.3. Analyse du palynofaciès

L'étude du palynofaciès dans la coupe d'El kef montre que, dans la majorité des échantillons, les palynomorphes (continentaux et marins), la matière organique amorphe (MOA) et les phytoclastes (P) sont présents. Les palynomorphes marins représentent plus de 80 % de la matière organique totale. Ils sont dominés par les kystes de dinoflagellés bien conservés. Ces palynomorphes sont de bons indicateurs des conditions marines (Tyson, 1995). La présence de basales chitinoïdes de foraminifères et d'acritarches confirment les conditions marines lors de la sédimentation.

Tous les composants organiques comptés sont tracés dans le diagramme ternaire de Tyson (1993) (Fig. 5A), qui montre un palynofaciès dominé par les palynomorphes (50–80 %). La matière organique observée est très abondante et bien conservée. Le diagramme de Roncaglia et Kuijpers (2006) montre une dominance de la matière organique d'origine marine (Fig. 5B). Constituées principalement de marnes et d'argiles, riches en foraminifères planctoniques, cette sédimentation reflète un environnement marin profond. En termes de palynofaciès, la prédominance de la matière organique marine (50 à 80 %) et marquée par une abondance de palynomorphes, dominés par les microplanctons. La fréquence des spores et grains de pollen ne dépasse pas 12–15 %. Au Danien inférieur, les palynomorphes sont dominés par les dinokystes péridinoïdes tels que *Lejeunecysta* spp., *Senegalinium* spp., *Andalusiella* spp. et *Cerodinium* spp. Les dinokystes gonyaulacoïdes sont représentés par *Cordosphaeridium* spp., *Areoligera* spp. et *Spiniferites* spp (Fig. 6–9).

6. Conclusion

L'étude palynologique des dépôts de la transition Maastrichtien–Danien du stratotype El kef, Tunisie, a montré une richesse exceptionnelle en palynomorphes. Les kystes de dinoflagellés sont abondants et constituent 85 à 90 % du matériel palynologique. La première occurrence des espèces *Disphaerogena carposphaeropsis*, *Manumiella seelandica* et *Glaphyrocysta perforata* indique le Maastrichtien terminal. Le Danien inférieur est marqué par la première occurrence de *Damassadinium californicum* et *Carpatella cornuta*. La limite K–Pg, marquée par la fine couche d'iridium, se trouve juste après la dernière apparition des espèces crétacées, *Dinogymnium cretaeum*, *Dinogymnium acuminatum* et *Pterodinium cretaeum*, et directement au-dessous de la première occurrence des espèces marqueurs du Danien basal ; *Damassadinium californicum*, *Membranilarnacia? tenella*, *Senoniasphaera inornata* *Carpatella cornuta*, *Eisenackia circumtabulata* et *Lanterosphaeridium reinhardtii*. L'âge attribué à ces niveaux par les dinokystes est en accord avec celui déterminé à l'aide des foraminifères planctoniques. L'assemblage global des kystes de dinoflagellés est dominé par les genres *Andalusiella*, *Cerodinium*, *Lejeunecysta*, *Senegalinium* et *Phe-*
lodinium caractérisant la suite de Malloy de Lentin et

Williams (1980), et par conséquent confirme un dépôt dans une province de type tropicale à subtropicale ou téthysienne pour l'intervalle étudié de la coupe d'El kef.

L'étude des palynofaciès des dépôts de la transition Maastrichtien supérieur–Danien inférieur a révélé la présence d'une matière organique dominée par les palynomorphes marins, principalement les kystes de dinoflagellés, des sporomorphes et de la matière organique amorphe (MOA). Les diagrammes ternaires de Tyson (1993) et de Roncaglia et Kuijpers (2006) montrent un palynofaciès dominé par les palynomorphes (au moins 65 %) et une matière organique de composants essentiellement d'origine marine, comme les kystes de dinoflagellés, les acritarches et les foraminifères à test chitineux.

Au plan géochimique, la matière organique se caractérise par un kérogène à faibles teneurs en COT (< 0,6 wt %), conservé dans un environnement marin. Les faibles valeurs de COT, S2 et IH montrent que la formation El Haria contient, au niveau de la coupe d'El kef, un kérogène de type II et III. Les indicateurs de la maturité (T_{max}) suggèrent un stade immature de la matière organique.

Remerciements

Les auteurs remercient les membres de l'unité de recherche « Environnements sédimentaires et systèmes pétroliers et caractérisation des réservoirs » (UR 11 ES 15) de la faculté des sciences de Tunis, université de Tunis El Manar (Tunisie), qui ont participé à la réalisation de terrain et à l'échantillonnage. Nous remercions également le laboratoire de géologie et télédétection (Unité de recherche URAC 46) de l'Institut scientifique de l'université Mohammed-V-Agdal de Rabat (Maroc) et le laboratoire de paléontologie (Unité de recherche paléontologie de l'Université de Gand (Belgique)) pour la préparation palynologique des échantillons. Les auteurs remercient également les deux évaluateurs pour leurs commentaires constructifs et commentaires critiques qui ont amélioré le manuscrit original.

Annexe 1. Matériel complémentaire

Le matériel complémentaire accompagnant la version en ligne de cet article est disponible sur <http://dx.doi.org/10.1016/j.crpv.2015.01.008>.

Références

- Alberti, G., 1959. Zur Kenntnis der Gattung *Deflandrea* Eisenack (Dinoflag.) in der Kreide und im Alttertiär Nord - Und Mitteleuropa. *Mitteilungen aus dem Geologischen Staatsinstitut in Hamburg* 28, 91–92.
- Alegret, L., Molina, E., Peryt, D., 1999. Evolución de las asociaciones de foraminíferos bentónicos en el límite Cretácico/Terciario de Aïn Set-tara, Túnez. In: Rábano, I. (Ed.), *Temas Geológico-Mineros ITGE*, 26, pp. 142–146.
- Arenillas, I., Arz, J.A., Molina, E., Dupuis, C.H., 2000. An independent test of planktic foraminiferal turnover across the Cretaceous/Paleogene (K/P) boundary at El kef, Tunisia: catastrophic mass extinction and possible survivorship. *Micropaleontology* 46 (1), 31–39.
- Batten, D.J., 1982. Palynofacies, paleoenvironment and petroleum. *J. Micropaleontol.* 1, 107–114.
- Batten, D.J., 1983. Identification of amorphous sedimentary organic matter by transmitted light microscopy. In: Brocks, J. (Ed.), *Petroleum*

- and exploration in Europe. Blackwell Science, Publication, Oxford, pp. 275–287.
- Batten, D.J., 1996. Palynofacies and petroleum potential. In: Jansoni, J., Mc Gregor, D.C. (Eds.), *Editions palynology; principles and applications*, 3. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundations, pp. 1065–1084.
- Berggren, W.A., 1962a. Some planktonic foraminifera from the Maastrichtian and type Danian stages of southern Scandinavia. *Stockh. Contrib. Geol.* IX (1), 1–18.
- Berggren, W.A., 1962b. Stratigraphic and taxonomic-phylogenetic studies of Upper Cretaceous and Paleogene planktonic foraminifera. *Stockh. Contrib. Geol.* 9, 1–106.
- Boersma, A., Premoli Silva, I., 1983. Paleocene planktonic foraminiferal biogeography and the paleoceanography of the Atlantic Ocean. *Micro-paleontology* 29 (4), 355–381.
- Brinkhuis, H., Bujak, J., Smit, J., Versteegh, G.J.M., Visscher, H., 1998. Dinoflagellate-based sea surface temperature reconstruction across the Cretaceous/Tertiary boundary. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 141, 67–83.
- Brinkhuis, H., Zachariasse, W.J., 1988. Dinoflagellate cysts, sea level changes and planktonic foraminifera across the Cretaceous-Tertiary boundary at El Haria, NW Tunisia. *Mar. Micropaleontol.* 13, 153–191.
- Brinkhuis, H., Schiøler, P., 1996. Palynology of the Geulhemmerberg Cretaceous/Tertiary boundary section Limburg, SE Netherlands). In: Brinkhuis, H., Smit, J. (Eds.), *The Geulhemmerberg Cretaceous/Tertiary Boundary Section (Maastrichtian Type Area, SE Netherlands)*, 75. *Geologie en Mijnbouw*, pp. 193–213.
- Bujak, J.P., Downie, C., Eaton, G.L., Williams, G.L., 1980. Dinoflagellate cysts and acritarchs from the Eocene of southern England. *Special Papers in Palaeontology*, 24, 100 p.
- Bujak, J.P., Davies, E.H., 1983. Modern and fossil Peridiniaceae. *American Association of Stratigraphic Palynologists, Contributions Series no.13*, 203, 12.
- Burrollet, P., 1965. Contribution à l'étude stratigraphique de la Tunisie centrale. *Ann. Min. Geol. Tunis* 18, 345.
- Canudo, J.I., Keller, G., Molina, E., 1991. Cretaceous/Tertiary boundary extinction pattern and faunal turnover at Agost and Caravaca, SE Spain. *Mar. Micropaleontol.* 17, 319–341.
- Cookson, I.C., 1965. Cretaceous and Tertiary microplankton from south-eastern Australia. *Proc. R. Soc. Vic.* 78 (1), 85–93.
- Cookson, I.C., Eisenack, A., 1965. Microplankton from the Dartmoor Formation, sw. Victoria. *Proc. R. Soc. Vic.* 79, 133–137.
- Corradini, D., 1973. Non-calcareous microplankton from the Upper Cretaceous of the northern Apennines. *Boll. Soc. Paleontol. Ital.* 11, 119–197.
- Davey, R.J., 1969. The evolution of certain Upper Cretaceous hystrichospheres from South Africa. *Palaeontol. Afr.* 12, 25–51.
- Davey, R.J., Williams, G.L., 1966. The genus *Hystrichosphaeridium* and its allies. In: *Studies on Mesozoic and Cainozoic Dinoflagellates cysts*. *Bull. Brit. Mus. (Nat. Hist.) London Geol. Suppl.* 3, 53–106.
- De Coninck, J.D., Smit, J., 1982. Marine organic-walled microfossils at the Cretaceous/Tertiary boundary in the Barranco del Gredero (S.E. Spain). *Geol. Mijnb.* 61, 173–178.
- Deflandre, G., 1937. Microfossiles des silex crétacés. Deuxième partie. *Flagellés incertae sedis. Hystrichosphaeridés. Sarcodiniés. Organismes divers*. *Ann. Paleontol.* v.26, 51–103.
- Drugg, W.S., 1967. Palynology of the Upper Moreno Formation (Late Cretaceous-Paleocene) Escarpado Canyon, California. *Palaeontogr. Abt. B* 120, 1–71.
- Dupuis, C., Steurbaut, E., Molina, E., Rauscher, R., Schuler, M., Tribouillard, N., Arenillas, I., Arz, J.A., Robaszynski, F., Caron, M., Robin, E., Rocchia, R., Lefevre, I., 2001. The Cretaceous/Paleogene (K/P) boundary in the Ain Settara section (Kalaat Senan, central Tunisia): lithological, micropaleontological and geochemical evidence. *Bull. Inst. R. Sci. Nat. Belg. Sci. Terre* 71, 169–190.
- Eshet, Y., Moshkovitz, S., Habib, D., Benjamini, C., Margarets, M., 1992. Calcareous nannofossil and dinoflagellate stratigraphy across the Cretaceous/Tertiary boundary at Hor Hahar, Israel. *Mar. Micropaleontol.* 18, 199–228.
- Evitt, R., 1963. A discussion and proposals concerning fossil dinoflagellates Hytrichospheres and Acritarches. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 49, 158–164.
- Fensome, R.A., Taylor, F.J.R., Norris, G., Sarjeant, W.A.S., Wharton, D.I., Williams, G.L., 1993. A classification of living and fossil dinoflagellates. *Micropaleontology Special Paper No. 7*. American Museum of Natural History, 351 p.
- Fensome, R.A., Macrae, R.A., Williams, G.L., 2008. DINOFLAJ2, Version 1. American Association of Stratigraphic Palynologists. In: *Data Series no. 1*, Address web (URL): <http://dinoflaj2/smu.ca/wiki/MainPage>
- Firth, J.V., 1993. Dinoflagellate assemblages and sea level fluctuations in the Maastrichtian of southwest Georgia. *Rev. Palaeobot. Palynol.* 79, 179–204.
- Gallala, N., 2010. Micropaléontologie, biostratigraphie, paléocéologie et environnements de dépôt des foraminifères planctoniques et benthiques du passage Crétacé-Paléogène en Tunisie, Espagne et France (Thèse, Université de Tunis), pp. 200–311.
- Gerstel, J., Thunne, R., Zachos, J.C., Arthur, M.A., 1986. The Cretaceous/Tertiary boundary event in the North Pacific; planktonic foraminiferal results from Deep Sea Drilling Project Site 577, Shatsky Rise. *Paleoceanography* 1, 97–117.
- Guédé, K.E., Slimani, H., Louwyse, S., Asebriy, L., Toufiq, A., Ahmamou, M., El Amrani El Hassani, I., Digbeh, Z.B., 2014. Organic-walled dinoflagellate cysts from the Upper Cretaceous–Lower Paleocene succession in the western External Rif, Morocco: new species and new biostratigraphic results. *Geobios* 47, 291–304.
- Hansen, J.M., 1977. Dinoflagellate stratigraphy and echinoid distribution in Upper Maastrichtian and Danian deposits from Denmark. *Bull. Geol. Soc. Den.* 26, 1–26.
- Herm von, D., Hillebrandt von, A., Perch-Nielsen, K., 1981. Die Kreide/Tertiär-Grenze im Lattengebirge (Nördliche Kalkalpen) in mikropaläontologischer Sicht. *Geol. Bavarica* 82, 319–344.
- Hultberg, S.U., Malmgren, B.A., 1985. Quantitative biostratigraphy based on Upper Maastrichtian dinoflagellates and planktonic foraminifera from southern Scandinavia. In: Hultberg, S.U. (Ed.), *Dinoflagellate Studies of the Upper Maastrichtian and Danian in Southern Scandinavia*, Department of Geology, University of Stockholm, Stockholm, Sweden, pp. 33–55 (Published thesis).
- Jain, K.P., Millepied, P., 1973. Cretaceous microplankton from Senegal Basin, NW Africa. 1. Some new genera, species and combinations of dinoflagellates. *Palaeobotanist* 20, 22–32.
- Jan Du Chêne, R.E., Adediran, S.A., 1985. Late Paleocene to Early Eocene dinoflagellates from Nigeria. *Cah. Micropaleontol.* 3, 1–38.
- Jones, R.W., Demaison, G.J., 1982. Organic facies-stratigraphic concept and exploration tool. In: Salvidar-Sali, A. (Ed.), *Proceedings of the Second ASCO Conference and Exhibition*, October, 1981. Manila, pp. 51–68.
- Keller, G., 1988a. Extinction, survivorship and evolution of planktic Foraminifera across the Cretaceous/Tertiary boundary at El kef, Tunisia. *Mar. Micropaleontol.* 13, 239–263.
- Keller, G., 1988b. Biotic turnover in benthic foraminifera across the Cretaceous–Tertiary boundary at El kef, Tunisia. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 66, 157–171.
- Keller, G., Lindinger, M., 1989. Stable isotope, TOC and CaCO₃ records across the Cretaceous/Tertiary boundary at El kef, Tunisia. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 73, 243–265.
- Keller, G., Macleod, N., Lyons, J.B., Officer, C.B., 1993. Is there evidence for Cretaceous–Tertiary boundary-age deep-water deposits in the Caribbean and Gulf of Mexico. *Geology* 21, 776–780.
- Kuhn, W.V., Kirsch, K.H., 1992. Ein Kreide/Tertiär-Grenzprofil aus dem Helvetikum nördlich von Salzburg (Österreich). *Mitteilungen der Bayerischen Staatssammlung für Paläontologie und Historische Geologie* 32, 23–35.
- Lange, D., 1969. Mikropaläontologie aus dem Fischton von Stevns-Klint auf Seeland. *Beiträge zur Meereskunde* 24–25, 110–121.
- Lentin, J.K., Williams, G.L., 1981. Fossil dinoflagellates: index to genera and species, 1981 edition. Bedford Institute of Oceanography, Report Series, no. BI-R-81-12, 345 p.
- Lentin, J.K., Williams, G.L., 1976. A monograph of fossil peridinioid dinoflagellate cysts. Bedford Institute of Oceanography, Report Series, no. BI-R-75-16, 237 p.
- Lentin, J.K., Williams, G.L., 1980. Dinoflagellate provincialism with emphasis on Campanian peridiniaceans. *Am. Assoc. Stratigr. Palynol. Contrib. Ser.* 7, 1–47.
- M'Hamdi, A., 2014. Les kystes de dinoflagellés du passage Crétacé-Paléogène en Tunisie (El kef et Ellès). Apport à la biostratigraphie, au paléoenvironnement et à la paléogéographie (Thèse de Doctorat). Université de Tunis, pp. 200–211.
- M'Hamdi, A., Slimani, H., Ben Ismail Lattrache, K., 2013. Biostratigraphie des kystes de dinoflagellés de la limite Crétacé-Paléogène à Ellès, Tunisie. *Rev. Micropaleontol.* 56, 27–42.
- Masure, E., Rauscher, R., Dejax, J., Schuler, M., Ferre, B., 1998. Cretaceous–Paleocene Palynology from the Côte d'Ivoire–Ghana transform margin, sites 959, 960, 961 and 962. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results* 159, 253–276.
- Masure, E., Tea, Y.J., Yao, K.R., 1996. The dinoflagellate *Andalusella*: emendation of genus, revision of species, *A. ivoiriensis* Masure, Tea and Yao, sp. nov. *Rev. Paleobot. Palynol.* 91, 171–186.
- May, F.E., 1980. Dinoflagellate cysts of the Gymnodiniaceae, Peridiniaceae, and Gonyaulacaceae from the Upper Cretaceous Monmouth

- Group, Atlantic Highlands, New Jersey. *Palaeontogr. Abt. B* 172, 10–116.
- Mohamed, O., Piller, W.E., Egger, H., 2012. The dinocyst record across the Cretaceous–Paleogene boundary of a bathyal mid-latitude Tethyan setting: Gosau Group, Gams Basin, Austria. *Cretaceous Res.* 35, 143–168.
- Molina, E., Alegret, L., Arenillas, I., Arz, J.A., Gallala, N., Grajales-Nishimura, M., Murillo-Muneton, G., Zaaghib-Turki, D., 2008. The global boundary stratotype section and point for the base of the Danian Stage (Paleocene, Paleogene, "Tertiary", Cenozoic): auxiliary sections and correlation. *Episodes* 32 (2), 84–95.
- Molina, E., Alegret, L., Arenillas, I., Arz, J.A., Gallala, N., Hardenbol, J., Von Salis, K., Steurbaut, E., Vandenberghe, N., Zaaghib-Turki, D., 2006. The Global Boundary Stratotype Section and Point for the base of the Danian Stage (Paleocene, Paleogene, "Tertiary", Cenozoic) at El kef, Tunisia—original definition and revision. *Episodes* 29 (4), 263–273.
- Morgenroth, P., 1968. Zur Kenntnis der Dinoflagellaten und Hystrichosphaeriden des Danien. *Geol. Jahrb.* 86, 533–578.
- Moshkovitz, S., Habib, D., 1993a. Calcareous nannofossil and dinoflagellate stratigraphy of the Cretaceous–Tertiary boundary, Alabama and Georgia. *Micropaleontology* 39, 167–191.
- Moshkovitz, S., Habib, D., 1993b. Calcareous nannofossil and dinoflagellate stratigraphy of the Cretaceous–Tertiary boundary, Alabama and Georgia. *Micropaleontology* v.39, no.2, p.167–191, pl.1–5. Natal, South Africa. *Palaeontol. Afr.* 12, 1–23.
- Oboh-Ikuenobe, F.E., Yepes, O., Gregg, J.M., 1998. Palynostratigraphy, palynofacies, and thermal maturation of Cretaceous/Paleocene sediments from Côte d'Ivoire-Ghana transform margin. In: Mascle, J., Lohmann, G.P., Moulla de, M. (Eds.), *Proceedings of the Ocean Drilling Program, scientific results*, 159, pp. 277–318.
- Parry, C.C., Whitley, P.K.J., R.D.H., 1981. Integration of palynological and sedimentological methods in facies analysis of the Brent Formation. In: Illings, L.V., Hobson, G.D. (Eds.), *Petroleum Geology of the Continental Shelf of North-West Europe*. Institute Petroleum, London, pp. 205–215.
- Rauscher, R., Doubinger, J., 1982. Les dinokystes du Maastrichtien phosphaté au Maroc. *Sci. Geol. Bull.* 35 (3), 97–116.
- Riegel, W., 1974. New forms of organic-walled microplankton from an Upper Cretaceous assemblage in southern Spain. *Revista española de micropaleontología* 6 (3), 347–366.
- Robin, E., Boclet, D., Bonte, P., Froget, L., Jehanno, C., Rocchia, R., 1991. The stratigraphic distribution of Ni-rich spinels in Cretaceous–Tertiary boundary rocks at El kef (Tunisia), Caravaca (Spain) and Hole 761 C (Leg 122). *Earth Planet. Sci. Lett.* 107, 715–721.
- Roncaglia, L., Kuijpers, A., 2006. Revision of the palynofacies model of Tyson (1993) based on recent high-latitude sediment from the North Atlantic. *Facies* 52, 19–39.
- Slimani, H., 2001. Les kystes de dinoflagellés du Campanien au Danien dans la région de Maastrichtien (Belgique et Pays-Bas) et de Turnhout (Belgique) : biozonation et corrélation avec d'autres régions en Europe occidentale. *Geologica et Palaeontologica* 35, 161–201.
- Slimani, H., Louwye, S., Toufiq, A., Verniers, J., De Coninck, J., 2008. New dinoflagellate cyst species from Cretaceous–Paleogene boundary deposits at Ouled Haddou, southeastern Rif, Morocco. *Cretaceous Res.* 29, 329–344.
- Slimani, H., Louwye, S., Toufiq, A., 2010. Dinoflagellate cysts from the Cretaceous–Paleogene boundary at Ouled Haddou, southeastern Rif, Morocco: biostratigraphy, paleoenvironments and paleobiogeography. *Palynology* 34, 90–124.
- Slimani, H., Louwye, S., Duser, M., Lagrou, D., 2011. Connecting the Chalk Group of the Campine Basin to the dinoflagellate cyst biostratigraphy of the Campanian to Danian in borehole Meer (northern Belgium). In: Jagt, J.W.M., Jagt-Yzykova, E.A., Schins, W.J.H. (Eds.), *A tribute of the late Felder brothers – pioneers of Limburg geology and prehistoric archaeology*. *Neth. J. Geosci.*, 90, pp. 129–164.
- Slimani, H., Louwye, S., Toufiq, A., 2012. New species of organic-walled dinoflagellate cysts from the Maastrichtian–Danian boundary interval at Ouled Haddou, northern Morocco. *Alcheringa* 36 (3), 337–353.
- Slimani, H., Toufiq, A., 2013. A Cretaceous–Paleogene boundary geological site, revealed by planktic foraminifera and dinoflagellate cysts, at Ouled Haddou, eastern external Rif Chain, Morocco. *J. Afr. Earth Sci.* 88, 38–52.
- Smit, J., TenKate, W.G., 1982. Trace elements patterns at the Cretaceous–Tertiary boundary. Consequences of a large impact. *Cretaceous Res.* 3, 307–332.
- Soncini, M.J., 1990. Palynologie des phosphates des Oulad Abdoun (Maroc). Biostratigraphie et environnements de la phosphatogenèse dans le cadre de la crise Crétacé–Tertiaire (Thèse, Univ.). Louis-Pasteur, Strasbourg, pp. 243–245.
- Soncini, M.J., Rauscher, R., 1988. Associations des dinokystes de Maastrichtien–Paléocène phosphaté au Maroc. *Bulletin des Centres de Recherche Exploration-Production Elf-Aquitaine* 12, 427–450.
- Srivastava, S.K., 1995. Dinocyst biostratigraphy of Santonian–Maastrichtian of the western Gulf Coastal Plain, southern United States. *Palaeobotanist* 42, 249–362.
- Stanley, E.A., 1965. Upper Cretaceous and Paleocene plant microfossils and Paleocene dinoflagellates and hystrichosphaerids from northwestern South Dakota. *Bull. Amer. Paleontol.* 49 (222), 179–384.
- Staplin, F.I., 1969. Sedimentary organic matter, organic metamorphism, oil and gas occurrence. *Bull. Can. Petroleum Geol.* 17, 47–66.
- Stover, L.E., Evitt, W.R., 1978. *Analyses of pre-Pleistocene organic-walled dinoflagellates*. Stanford University Publications. *Geol. Sci.* 15, 300.
- Tissot, B.P., Welte, D.H., 1977. *Petroleum formation and occurrence. A new approach to oil and gas exploration*, 2nd edition. Springer-Verlag, New York, 720 p.
- Tyson, R.V., 1993. Palynofacies analysis. In: Jenkins, D.C. (Ed.), *Applied micropaleontology*. Kluwer Academic Publishers, pp. 153–191.
- Tyson, R.V., 1995. Sedimentary organic matter. Organic facies and palynofacies. Chapman and Hall, London, 615 p.
- Van Bergen, P., Janssen, N., Alferink, J., Kerp, J., 1990. Recognition of organic matter types in standard palynological slides. In: Ermont, W.J.J., Weegink, J.W. (Eds.), *Proceedings of the International Symposium on Organic petrology Januray 1990*, 45. Mededeming Rijks Geologische Dienst, pp. 9–21.
- Williams, G.L., Brinkhuis, H., Pearce, M.A., Fensome, R.A., Weegink, J.W., 2004. Southern Ocean and global dinoflagellate cyst events compared: index events for the Late Cretaceous–Neogene. In: Exon, N.F., Kennett, J.P., Malone, M.J. (Eds.), *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results 189*. College Station, TX, pp. 1–98.
- Williams, G.L., Lewis, E., Stover, E., Kidson, 1993. Morphology and stratigraphic Ranges of Selected Mesozoic–Cenozoic Dinoflagellate Taxa in the Northern Hemisphere. Geological Survey of Canada. Paper No. 92–10, 137 p.
- Willumsen, P.S., 2004. Two new species of the dinoflagellate cyst genus *Carpotella* Grigorovich, 1969 from the late Cretaceous–Tertiary transition in New Zealand. *J. Micropaleontol.* 23, 119–125.
- Yepes, O., 2001. Maastrichtian/Danian dinoflagellate cyst biostratigraphy and biogeography from two equatorial sections in Colombia and Venezuela. *Palynology* 25, 217–249.
- Zaaghib-Turki, D., Karoui-Yaakoub, N., Rocchia, R., Robin, E., Belayouni, H., 2000. Enregistrement des événements remarquables de la limite Crétacé–Tertiaire dans la coupe d'Ellès (Tunisie). *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. IIa* 331, 141–149.
- Zaaghib-Turki, D., Karoui-Yaakoub, N., Said-Benzarti, R., Rocchia, R., Robin, E., 2001. Révision de la limite Crétacé–Tertiaire de la coupe d'Ellès (Tunisie): proposition d'un nouveau parastratotype. *Geobios* 34 (1), 25–37.
- Zaaghib-Turki, D., Karoui-Yaakoub, N., 2004. The Cretaceous–Tertiary (K-T) boundary in Ellès and the other Tunisian outcrops. In: 32nd International Geological Congress (Florence-Italy, August 20–28), *Field Trip Guide Booke-P60*.