

Datation par les kystes de dinoflagellés des formations jurassiques (Callovien-Kimméridgien) du bassin d'Essaouira (Marge atlantique marocaine)

*Dinoflagellate cysts dating of the jurassic (Callovian-Kimmeridgian)
Formations in the Essaouira basin (Moroccan atlantic margin)*

**Soukaina JAYDAWI^{1*}, Touria HSSAIDA¹, Abdelmajid BENBOUZIANE¹, Mustapha
MOUFLIH¹ & Abdelwahed CHAKOR ALAMI²**

1. *Faculté des Sciences Ben M'sik, Université Hassan II de Casablanca, B.P. 7955, Sidi Othmane, Casablanca, Maroc
(soukaina.jaydawi@gmail.com).

2. *Office National des Hydrocarbures et des Mines (ONHYM), Laboratoire Pétrole - Bio- Stratigraphie, Rabat, Maroc.*

Résumé. Dans le bassin d'Essaouira les formations jurassiques, présentent un intérêt pétrolier certain grâce aux faciès réservoirs qu'elles contiennent et aux nombreux indices d'hydrocarbures fournis par plusieurs puits. Ces formations sont pauvres en macrofossiles, et les datations sont basées sur la lithostratigraphie. En revanche, elles renferment des associations de kystes de dinoflagellés riches, très diversifiés et en très bon état de conservation. Trois sondages : MKL-110, NDK-2 et NDK-3 implantés dans le bassin d'Essaouira, font l'objet de cette étude palynostratigraphique. Grâce aux kystes de dinoflagellés contenus dans les carottes et les cuttings de ces forages, une datation nouvelle est proposée pour les intervalles étudiés.

Mots clés: Bassin d'Essaouira, palynostratigraphie, kystes de dinoflagellés, Callovien, Kimméridgien.

Abstract. In the Essaouira Basin the Jurassic formations show a certain oil interest, due to reservoirs facies which they contain many clues of a tested hydrocarbons in several wells. These formations are poor in macrofossils, and dating are based on lithological calibration. On the other hand they contain rich associations of dinoflagellate cysts, very diverse and in very good condition of conservation. Three boreholes: MKL-110, NDK-2 and NDK -3 set up in Essaouira Basin, are the subject of this palynostratigraphy study. Thanks to the dinoflagellate cysts which contained in the cores and the drilling cuttings, a new dating has been proposed for the studied intervals.

Keywords: Essaouira basin, palynostratigraphy, dinoflagellate cysts, Callovian, Kimmeridgian.

Abridged English version

Introduction

The Essaouira Basin is a segment of the Moroccan Atlantic margin, emerged from the Cenozoic in response to the Alpine orogeny in North Africa, hence its importance in the reconstruction of the central Atlantic history (Von Rad *et al.* 1982, Sahabi *et al.* 2004). It is a Mesozoic structure of the Moroccan Atlantic margin, well known for its reservoir rocks, as well as its deposits of natural gas and oil.

Stratigraphic attributions remain unclear for lack of macrofossil, as well the correlations were made by the analogy of the facies, the richness in dinoflagellate cysts (it's considered as high-

resolution stratigraphic markers and equal to the Ammonites), allowed us to precisely date the studied formations. 3 boreholes (MKL-110, NDK-2, NDK-3), located in the Essaouira basin, will be the subject of this palynostratigraphic study which aims to date the studied intervals and perform biostratigraphic correlations to the basin level and between different paleogeographic domains.

Geology

The Essaouira basin is part of the Moroccan Atlantic margin; it has experienced several tectonic phases (Triassic, Jurassic - Cretaceous and Tertiary), related firstly to the creation of the Atlantic Ocean

and also the uprising of the Alpine chain due to the convergence Europe - Africa (Ruellan 1985) (Fig. 1). This basin is characterized by a series of monoclinical folds separated by areas with steep dips. This structure allowed the unroofing of the deposits of the Cretaceous, Jurassic and Triassic (Oujhain *et al.* 2009).

The Jurassic is characterized by the pursuit of the distension in the western part of the basin, which gave birth to half-grabens with western collapse. These structures are limited by NNE-SSW to NE-SW breaks with syn-sedimentary game mostly Liassic and Dogger (Du Dresnay 1988, Le Roy *et al.* 1997). In the Callovian - Oxfordian, the working of high zones N-80 to E-W certified by variations in the thickness of the series, is responsible for a new structure of the basin (Duffaud *et al.* 1966).

Location of the boreholes (Fig.1)

-The borehole of Meskala n° 110 (MKL-110) operates in the sector Meskala its coordinates are: X=114918 m; Y = 99 458 m.

-The borehole N'Dark n°2 (NDK-2) is located in the eastern bay of the structure of Jebel N'Dark, its coordinates are: X = 142,186 m; Y = 101 525 m.

-The borehole N'Dark n°3 (NDK-3) is the 3rd exploration drilling performed in the N'Dark structure, located in the east of the break of Sidi Amara its coordinates are: X: 142. 672 m; Y: 99. 692 m.

Material and methods

The sediments either carrots or cuttings were treated according to the conventional method of treatment adopted for palynological Mesozoic sediments. It involves four steps:

- Physical treatment: During this phase the brushed and washed sediments are grinded to obtain the particles whose diameter is between 1 to 3 mm.
- Chemical treatment: The ground sediments are subjected to a first etching with hydrochloric acid (HCl 37%) to remove carbonates, then with hydrofluoric acid (HF 40%) to remove silicates and finally an attack by the hydrochloric acid (37% HCL) in order to dissolve the newly formed fluosilicates.
- Separating with dense liquor: Involves the use of zinc chloride to separate the organic matter in sediments.
- Assembling the slides: The recovered organic material is mounted between slides and cover slides.

Results

The MKL-110 borehole: The interval studied in this borehole between 2480m and 2415m (6 samples) contains stratigraphic markers of Callovian age: *Dichadogonyaulax sellwoodii*, *Ctenidodinium*

cornigerum, *Ctenidodinium combazii*, *Impletosphaeridium varispinosum* and *Valensiella ovulum*.

The NDK-2 borehole (14 samples) and NDK-3 (4 samples):

Four samples were studied at the NDK-3 borehole between 1772m et 1769m, the organic residue of these samples is exceptionally rich in dinoflagellate cysts (Tab. 2) and contains stratigraphic markers of upper Callovian age. These markers are: *Ctenidodinium ornatum*, *Wanaea thysanota*, *Gonyaulacysta jurassica jurassica*, *Ctenidodinium cornigerum*, *Ctenidodinium continuum*.

The upper Callovian- Lower Oxfordian passage is emphasized at the 1713m sample of NDK-2 borehole, which delivered high-resolution stratigraphic markers such as: *Wanaea thysanota*, *Gonyaulacysta centricornata*, *Gonyaulacysta jurassica jurassica*, *Leptodinium subtle*, *Liesbergia liesbergensis*, *Scriniodinium crystallinum*, *Ctenidodinium ornatum* and *Compositosphaeridium polonicum*.

From 1713 m to 1701, 94m (5 samples) of NDK-2 borehole, we note the presence of markers of Oxfordian as *Rhynchodiniopsis cladophora*, *Adnatosphaeridium caulleryi*, *Sirmiodiniopsis orbis*, *Ctenidodinium ornatum*, *Scriniodinium crystallinum*, *Gonyaulacysta jurassica jurassica*, *Endoscrinium galeritum*, *Trichodinium scarburghense*, *Egmontodinium polyplacophorum*. Forms chorates become more abundant at the 1701.94m sample with *Systematophora areolata*, *Systematophora penicillata*, *Surculosphaeridium vestitum* and *Perisseiasphaeridium pannosum*, characterizing the medium to upper Oxfordian.

The last sequence studied is between 1701, 94 m and 1654m (4 samples), the association lists is distinguished by the presence of stratigraphic markers of Upper Oxfordian age - Kimmeridgian lower: the kind *Egmontodinium* spp., *Prolixosphaeridium anasillum*, *Dichadogonyaulax? panneum*, *Impletosphaeridium polytrichum*, *Epiplosphaera* sp. and especially the chorates forms as *Surculosphaeridium vestitum*, *Systematophora areolata* and *Systematophora penicillata*. The last sample 1654m contains a characteristic combination of the lower Kimmeridgian with markers: *Wallodinium krutzschii*, *Egmontodinium polyplacophorum*, *Cribrroperidinium globatum*, *Dichadogonyaulax? panneum*, *Systematophora? daveyi*, *Cribrroperidinium longicorneum* and *Gochteodinia mutabilis*.

Conclusion

For this palynological study of the Moroccan Jurassic, fifty samples from three boreholes

MKL110, NDK2 and NDK3 located in the Essaouira basin, have delivered a rich and diverse association of dinoflagellate cysts. The state of conservation, often great of the cysts allowed the identification of the lower Callovian at the MKL110 borehole between 2480 m and 2415 m, thanks to markers *Dichadogonyaulax sellwoodii*, *Ctenidodinium cornigerum*, *Ctenidodinium combazii*, *Impletosphaeridium varispinosum*. The Upper Callovian and the Callovian-Oxfordian passage is defined in the borehole NDK2 (between 1803m and 1713m of NDK2 borehole) due to cysts markers *Ctenidodinium ornatum*, *Wanaea thysanota*, *Gonyaulacysta jurassica jurassica*, *Ctenidodinium cornigerum* and *Ctenidodinium continuum*. The upper Callovian-Oxfordian transition is expected at the 1713m NDK2 sample of the borehole, which contains markers: *Wanaea thysanota*, *Gonyaulacysta centricornata*, *Gonyaulacysta jurassica* subsp.

jurassica, *Leptodinium subtile*, *Liesbergia liesbergensis*, *Scriniodinium crystallinum*, *Ctenidodinium ornatum* and *Compositosphaeridium dodekova*. The lower Oxfordian is highlighted in both boreholes: NDK2 (between 1713 m and 1701,94 m) and NDK3 (between 1772m and 1769m), by the markers: *Rhynchodiniopsis cladophora*, *Sirmiodiniopsis orbis*, *Ctenidodinium ornatum*, *Scriniodinium crystallinum*, *Gonyaulacysta jurassica* subsp. *jurassica*, *Endoscrinium galeritum*, *Trichodinium scarburghense*. The lower Kimmeridgian is identified in the survey NDK2 (1654m the sample), through the association of: *Waliodinium krutzschii*, *Egmontodinium polyplacophorum*, *Cribroperidinium globatum*, *Dichadogonyaulax? panneum*, *Systematophora? daveyi*, *Cribroperidinium longicorne* and *Gochteodiniamutabilis*.

INTRODUCTION

La structure mésozoïque de la marge atlantique marocaine, présente une structure pétrolière très connue par ses roches mères et ses roches réservoirs, d'ailleurs exploitée pour ses gisements de gaz naturel et de pétrole (Broughton & Trépanier 1993, ONAREP 1998). Le bassin d'Essaouira est un segment de la marge atlantique marocaine émergé à partir du Cénozoïque en réponse à l'orogénèse alpine en Afrique du Nord. Ceci explique son importance dans la reconstitution de l'histoire de l'Atlantique central (Von Rad *et al.* 1982, Sahabi *et al.* 2004). Les cortèges sédimentaires jurassiques n'ont livré que quelques macrofossiles n'apportant qu'une faible précision stratigraphique, or celle-ci demande à être affinée pour une meilleure interprétation géométrique et paléoenvironnementale du bassin. Jusqu'à présent, les corrélations stratigraphiques ont été faites à partir de l'analyse des lithofaciès, cependant la richesse en kystes de dinoflagellés offre l'opportunité de dater avec plus de précisions les formations jurassiques du bassin d'Essaouira. Ces protistes phytoplanctoniques s'avèrent être d'excellents marqueurs stratigraphiques pour le Jurassique, permettant une résolution approchant celle des ammonites (Elmi & Almeras 1984, Elmi & Faugères 1974, Enay *et al.* 1987). Trois sondages (MKL-110, NDK-2, NDK-3) implantés dans le bassin d'Essaouira, font l'objet de cette étude palynostratigraphique dont le but est de dater les intervalles compris entre le Dogger et le Kimmérien et de réaliser des corrélations biostratigraphiques à l'échelle du bassin et entre les différents grands domaines paléogéographiques.

CADRE GEOLOGIQUE DU BASSIN D'ESSAOUIRA

Le bassin d'Essaouira, fait partie de la marge atlantique marocaine, laquelle a connu plusieurs phases tectoniques : au Trias, au passage Jurassique-Crétacé et au Tertiaire. Celles-ci sont liées d'une part à la création de l'Océan Atlantique (Lias, 180 à 170 Ma) et d'autre part au soulèvement des chaînes alpines (Crétacé supérieur, Ziegler 1988), issues de la convergence Europe - Afrique (Ruellan 1985, Fig. 1). Aujourd'hui ce bassin est caractérisé par une série de plis monoclinaux séparés par des zones à forts pendages. Cette structuration a permis l'affleurement des dépôts du Crétacé, du Jurassique et du Trias (Oujhain *et al.* 2009). Le Jurassique est caractérisé par la poursuite de la distension dans la partie occidentale du bassin, qui a donné naissance à la formation des bassins d'effondrement par basculement des blocs vers l'ouest (Grabens et demi-grabens). Les structures sont limitées par des failles NNE-SSW à NE-SW à jeu syn-sédimentaire principalement liasique et dogger (Du Dresnay 1988, Le Roy *et al.* 1997).

Au Callovien – Oxfordien, le fonctionnement de zones hautes N80° à E-W, attesté par les variations d'épaisseur des séries, est responsable d'une nouvelle structuration du bassin (Duffaud *et al.* 1966). Les accidents de direction ENE-WSW sont réactivés avec une forte composante verticale, comme dans le cas de la faille de Taghzoute –Ihchech (Hafid 1999, Bouatmani *et al.* 2004). En outre, au cours du Jurassique supérieur, d'importants mouvements halocinétiques s'accompagnent de l'épaississement des séries du Kimmérien – Portlandien dans les synclinaux en bordure de diapirs de sel (Broughton & Trépanier 1993, Hafid *et al.* 2005).

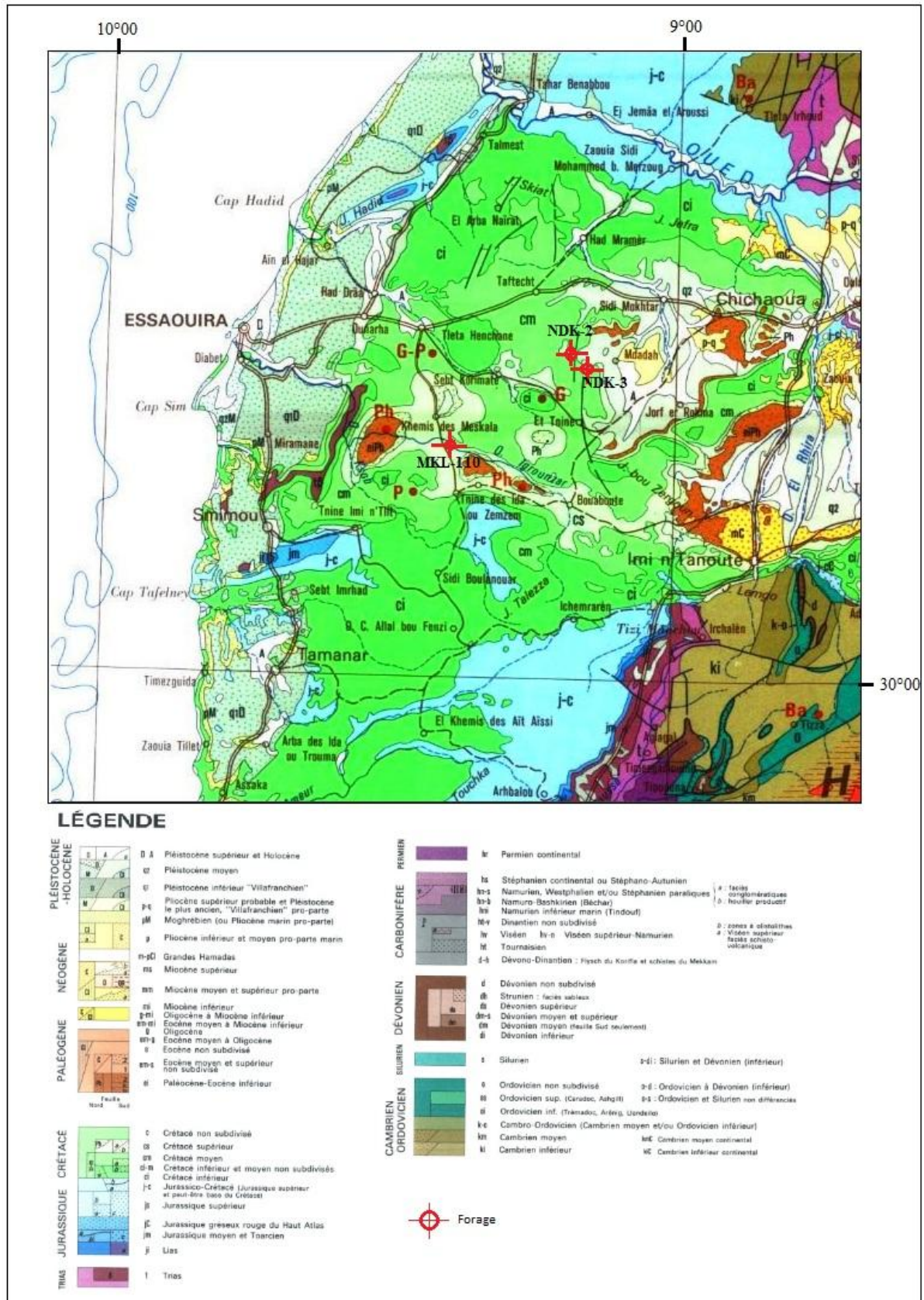


Figure 1. Carte géologique du bassin d'Essaouira extraite de la Carte géologique du Maroc 1/1000000 (Saidi *et al.* 1985) et localisation des forages étudiés.

Figure 1. Geological map of the Essaouira basin extracted from Carte géologique du Maroc 1/1000000 (Saidi *et al.* 1985) and location of the studied boreholes.

Localisation et lithologie des sondages étudiés

La localisation des forages est basée sur les paramètres de la projection Lambert appliqués au Maroc de la zone I où se trouve notre secteur d'étude.

Le sondage de Meskala MKL-110

Localisation

Le puits MKL-110 a traversé une série jurassique assez semblable à celle des forages voisins de Meskala et en particulier celles des puits MKL-103 et MKL-107. Les coordonnées de MKL-110 sont les suivantes : X=114.918 m ; Y=99.458 m.

Lithologie

L'intervalle Callovien-Oxfordien supérieur, objet de cette étude comporte, dans le sens du forage, les intervalles stratigraphiques suivants (Fig. 2) :

L'Oxfordien supérieur (2360 m à 2434 m) est caractérisé par des calcaires dolomitiques ; ce sont des dolosparites à dolo-microsparites parfois fissurées, localement gréseuses, stylolithiques passant à des calcaires marneux partiellement dolomités. On note la présence d'anhydrite, de pyrite et de quelques fragments de bryozoaires et de brachiopodes.

L'Oxfordien inférieur (2434 m à 2443 m) est constitué par des marnes dolomitiques pyriteuses à

contenant des fragments de brachiopodes et quelques ostracodes. Le Callovien (2443 m à 2504 m) est caractérisé par des calcaires de texture packstone à wackestone, parfois graveleux ou oolithiques, à intercalations de marnes et de calcaires grainstones. Ils renferment des sections de lenticulines, d'ostracodes, de bryozoaires et d'échinodermes.

Le sondage N'Dark n° 2 (NDK-2)

Localisation

Implanté dans le compartiment oriental de la structure du Jbel N'Dark, le sondage de reconnaissance NDK-2 devait explorer en position structurale favorable, les réservoirs du Jurassique et éventuellement du Trias inférieur et du Paléozoïque (Hemmadi 1979a). Les coordonnées de NDK-2 sont les suivantes : X= 142.186 m ; Y= 101.525 m.

Lithologie

La série lithologique et stratigraphique du puits NDK-2 est constituée par les intervalles suivants (Fig. 3) :

L'Oxfordien supérieur (1669 m à 1703,50 m) est caractérisé par des grés fins beiges à ciment dolomitique et dolomies cristallines gréseuses grises et gris beige à mouchetures d'anhydrite.

L'Oxfordien inférieur (1703,50 m à 1713 m) est constitué par des marnes et argiles grises et gris verdâtre à débris de coquilles.

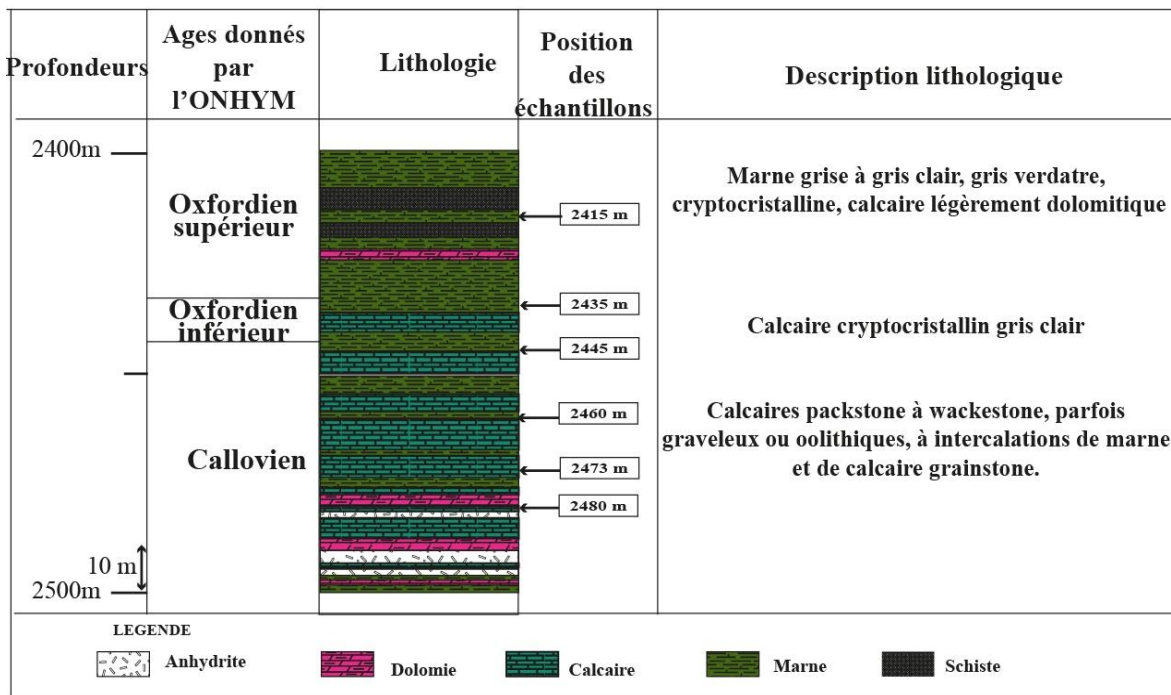


Figure 2. Log lithostratigraphique du sondage MKL-110 (2500m-2400m) du Callovien à l'Oxfordien supérieur (ONHYM 2012).

Figure 2. Lithostratigraphic column of the MKL-110 borehole (2500m-2400m) from Callovian to upper Oxfordian (ONHYM 2012).

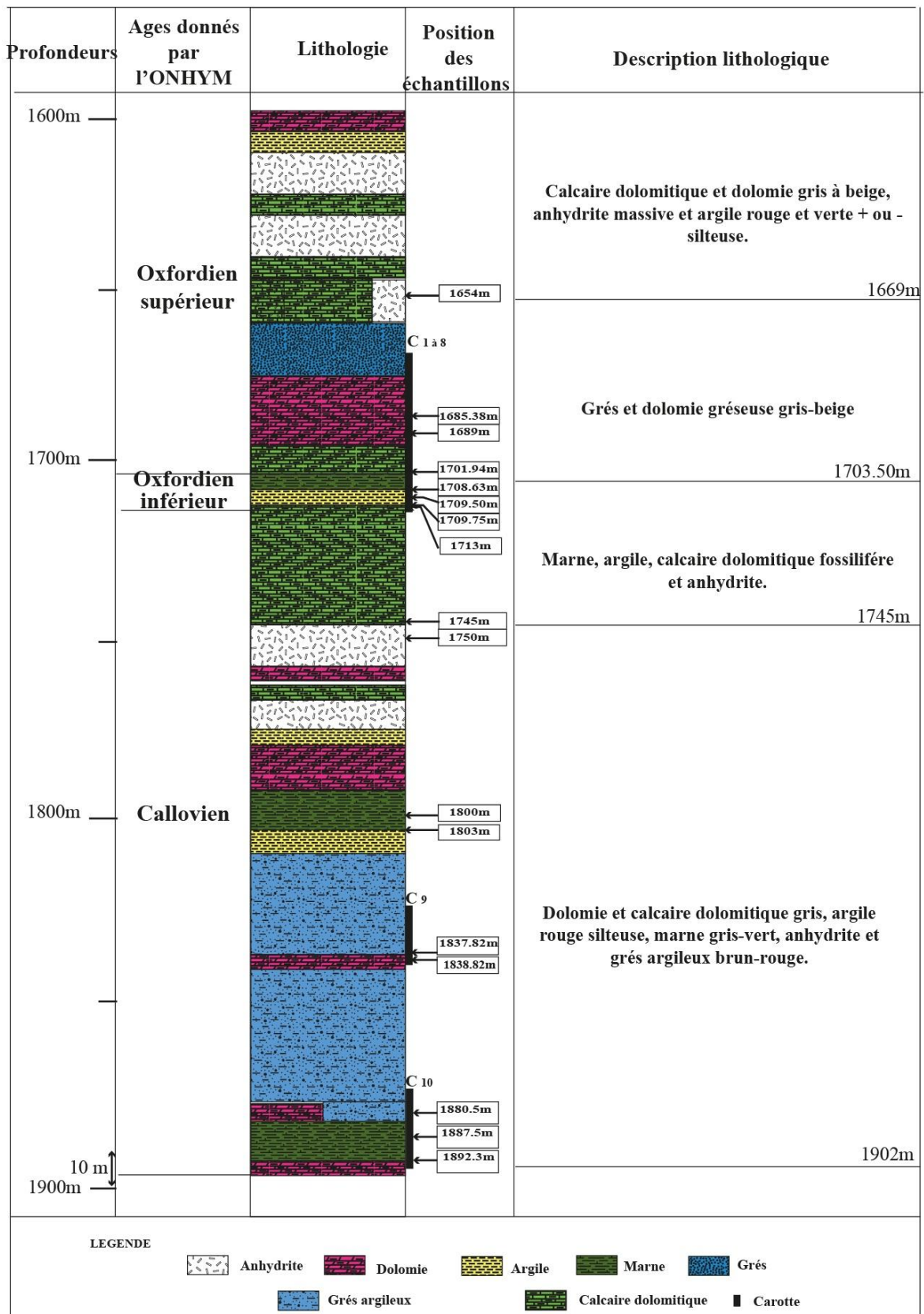


Figure 3. Log lithostratigraphique du sondage NDK-2 (1900m-1600m) du Callovien à l'Oxfordien supérieur (Hemmadi 1979a).

Figure 3. Lithostratigraphic column of the NDK-2 borehole (1900m-1600m) from Callovian to upper Oxfordian (Hemmadi 1979a).

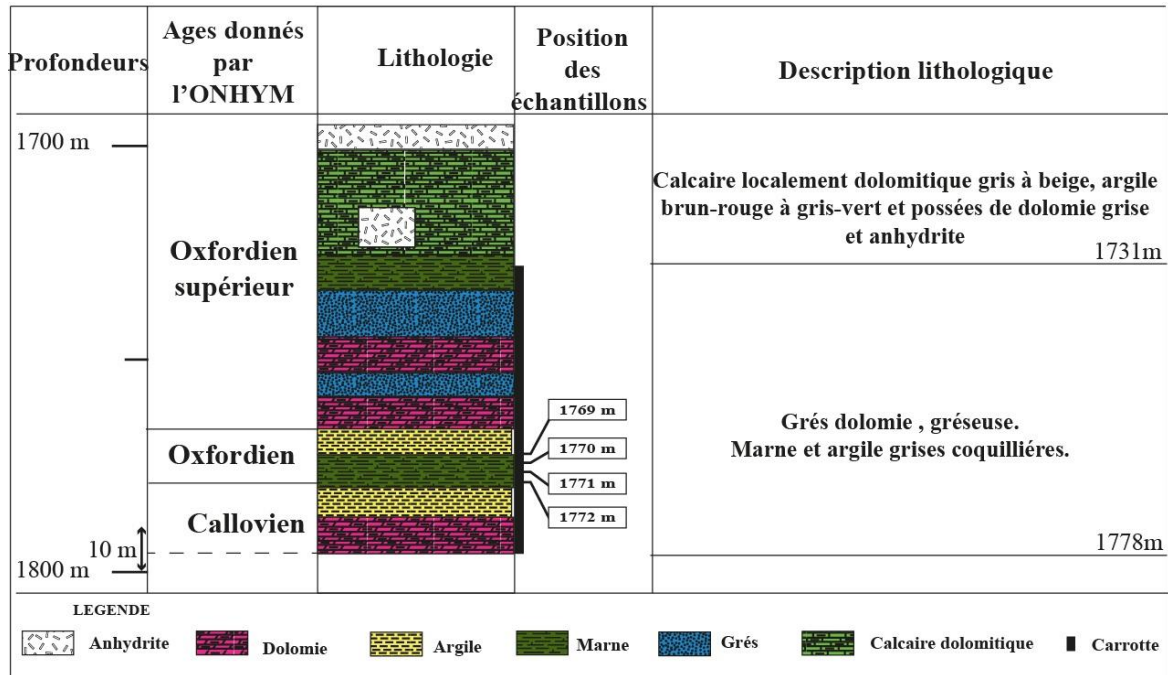


Figure 4. Log lithostratigraphique du sondage NDK-3 (1800m-1700m) du Callovien à l'Oxfordien supérieur (Hemmadi 1979b).

Figure 4. Lithostratigraphic column of the NDK-3 borehole (1800m-1700m) from Callovian to upper Oxfordian (Hemmadi 1979b).

Le Callovien (1713 m à 1745 m) est caractérisé par des calcaires dolomitiques gris à beige, et dolomies argileuses grises anhydritiques, avec des intercalations et inclusions d'anhydrite et d'argiles rouges et vertes indurées.

Le Dogger supérieur (Callovien)(1745 m à 1802m) est composé de dolomies argileuses et de calcaires dolomitiques et gréseux gris en alternances avec des argiles rouges et brun rouge indurées, silteuses à gréseuses, des marnes dolomitiques gris vert et de l'anhydrite blanchâtre. Des traces de grés fins à ciment argileux brun rouge sont également présentes.

Le sondage N'Dark n° 3 (NDK-3)

Localisation

Le sondage NDK-3, est le troisième forage d'exploration exécuté dans la structure de N'Dark. Implanté à l'Est de la faille de Sidi Amara, dans le même compartiment que le sondage NDK-2 qui a mis en évidence un gisement de gaz dans l'Argovien (Hemmadi, 1979b). Les coordonnées de NDK-3 sont les suivantes : X = 142.672 m ; Y = 99.692 m.

Lithologie

L'intervalle Oxfordien - Rauracien, objet de cette étude comporte, dans le sens du forage, les intervalles stratigraphiques suivant (Fig. 4) :

Rauracien - Séquanien (Oxfordien supérieur, 1608 m-1737 m) est caractérisé par une alternance de calcaires argileux parfois dolomitiques microcristallins gris à gris-beige, d'anhydrite massive blanchâtre et d'argiles brun-rouge à gris-vert localement silteuse et anhydritique.

L'Argovien (Oxfordien supérieur, 1737 m à 1768 m) est constitué par des grés fins à moyens parfois localement dolomitique et dolomies cristallines plus ou moins argileuses grises à beiges parfois finement silteuses et mouchetées d'anhydrite. L'ensemble est fracturé avec de nombreuses fissures à remplissage bitumeux ou anhydritique.

L'Oxfordien (1768 m à 1778 m) est composé de marnes et argiles dolomitiques grises à vertes contenant de l'anhydrite et des débris de coquilles.

METHODE D'EXTRACTION DES KYSTES DE DINOFLAGELLES

Les sédiments étudiés proviennent soit de carottes soit de cuttings. Ils ont subi un traitement palynologique standard adopté par l'Office National des Hydrocarbures et des Mines qui s'effectue en quatre étapes :

- Préparation physique durant cette phase les sédiments brossés et lavés sont broyés jusqu'à l'obtention des grains dont le diamètre est compris entre 1 et 3 mm.

- Traitement chimique : les sédiments broyés subissent une première attaque à l'acide chlorhydrique (HCL 37 %) pour éliminer les carbonates, puis à l'acide fluorhydrique (HF 40 %) afin d'éliminer les silicates et enfin une attaque (à chaud) à l'acide chlorhydrique (HCL 20 %) dans le but de dissoudre les fluosilicates néoformés.

- Séparation à la liqueur dense : elle consiste à utiliser une solution de chlorure de zinc pour séparer, par flottaison, la matière organique des sédiments.

- Montage des lames : la matière organique récupérée (tamisage à travers un tamis à mailles de 15 µm) est montée entre lames et lamelles.

RESULTATS

Pour cette étude palynologique, 27 échantillons ont été traités, dont 108 lames étudiées pour les trois sondages.

Le résidu organique obtenu présente des spores, des grains de pollen, des basales de foraminifères et des kystes de dinoflagellés.

L'état de conservation, en général bon, nous a permis d'identifier 73 taxons de kystes de dinoflagellés pour les trois sondages (Annexe, liste de taxons).

L'intervalle étudié au niveau du sondage MKL110, est compris entre 2480m et 2415m. Il est constitué par des marnes dolomitiques pyriteuses et des calcaires de type packstone à wackestone, parfois graveleux ou oolithiques, à intercalations de marne et de calcaire grainstone.

Pour le sondage NDK2 l'intervalle étudié, compris entre 1654m et 1892,3m est composé de grès à ciment dolomitique, de marnes et argiles grises à débris de coquilles, et de calcaires dolomitiques.

Enfin, pour le sondage NDK3, l'intervalle étudié est compris entre 1772 m et 1769 m. Sa lithologie est caractérisée par des faciès de marnes et argiles dolomitiques grises à vertes avec des inclusions d'anhydrite.

DISCUSSION

Deux domaines paléobiogéographiques basés sur la distribution des ammonites ont été définis avec trois provinces (Callomon 2003, Hrbek 2014).

La province boréale (*stricto sensu*) et la province sub-boréale, appartiennent au domaine boréal. En revanche la province sub-méditerranéenne appartient au domaine téthysien. Dans ce dernier on trouve le secteur « atlantique » (Enay 1980, Mouterde & Elmi 1991, Dommergues 1994).

Sur le plan paléobiogéographique l'identification de faune téthysienne sur la marge atlantique marocaine plaide en faveur de la communication entre l'Atlantique central et la Téthys au Jurassique moyen à supérieur (Bouaouda 1987).

Pour l'Europe du Nord-Ouest et le domaine sub-boréal, les études palynologiques concernant l'intervalle de temps Callovien inférieur-Kimméridgien inférieur sont relativement abondantes. On peut citer par exemple :

- Pour l'Angleterre : Fenton & Fisher (1978), Woollam (1980), Riding (1982, 1983, 1984, 1987, 2005), Woollam & Riding (1983), Sarjeant (1984), Riding & Sarjeant 1985, Riding *et al.* (1985), Nøhr-Hansen (1986), Riding & Thomas (1988, 1992, 1997), Riding & Ioannides (1996).

- Pour l'Allemagne et la Suisse : Klement (1960), Gocht (1970b), Fenton & Fisher (1978), Sarjeant (1984), Berger (1986), Kunz (1987).

- pour les Pays Bas et la Pologne : Herngreen *et al.* (1983), Barski *et al.* (2004), Barski (2012).

- Pour la Bulgarie et la Roumanie : Beju (1971), Dodekova (1975).

- Pour la France (pro parte) : Sarjeant (1965, 1968), Fauconnier (1995), Hssaida (1995) et Huault (1998, 1999). Des biozonations ont été proposées pour ce domaine et cet intervalle de temps par Riding & Thomas (1992), Poulsen & Riding (2003) et Huault (1999).

Les études palynologiques (kystes de dinoflagellés) concernant le domaine téthysien sont en revanche plutôt rares :

- Méditerranée orientale, Moyen orient : Conway (1978, 1990), Davies (1983), Thusu *et al.* (1988), Smelror & Lominadze (1989, 1991), El Beialy & Ibrahim (1997), El Beialy *et al.* (2002) et Ghasemi-Nejad *et al.* (2012).

- Méditerranée occidentale (dont Sud-Ouest de la France) : Dupin (1965a, 1965b, 1968), Pujol (1969), Taugourdeau-Lantz & Lachkar (1984), Ioannides *et al.* (1988), Courtinat (1989a), Jan du Chêne *et al.* (2000) et Hssaida (2014).

Les études sur les kystes de dinoflagellés du domaine atlantique couvrent quant à elles plusieurs secteurs de ce domaine :

- Portugal : Davies (1985), Smelror *et al.* (1991) et Borges *et al.* (2011, 2012).

- Maroc et Afrique de l'Ouest : Williams & Bujak (1980), Courtinat (1989b) et Hssaida (1990, 1995)

- Est de l'Amérique du Nord : Habib (1972), Hollister *et al.* (1972a-c) et Habib & Drugg (1983).

- Argentine : Volkheimer & Quattrocchio (1981), Quattrocchio (1984), Quattrocchio & Volkheimer (1990), Quattrocchio & Sarjeant (1992) et Riding *et al.* (2011).

Sondage MKL-110 (Callovien inférieur)

L'intervalle étudiée (2480 m-2415 m) renferme des marqueurs stratigraphiques d'âge Callovien inférieur, il s'agit de : *Dichadogonyaulax sellwoodii*, *Ctenidodinium cornigerum*, *Ctenidodinium combazii*, *Impletosphaeridium varispinosum* (Tab. 1).

- *Ctenidodinium combazii*, constitue un très bon marqueur de l'intervalle Bajocien – Callovien

Tableau 1. Répartition stratigraphique des kystes de dinoflagellés dans le sondage MKL110 entre 2415m et 2480m.
Table 1. Stratigraphic distribution of dinoflagellate cysts between 2415m and 2480m in the MKL110 borehole.

Profondeurs	Ages donnés par l'ONHYM (Rapport interne)	Lithologie	Position des échantillons	Kystes de dinoflagellés	Age donné par les kystes de dinoflagellés
2400m	Oxfordien supérieur		2415 m	<i>Valensiella/ Ellipsoidictyum</i> <i>Dichadogonyaulax selwoodii</i> <i>Escharisphaeridia</i> spp. <i>Gonyaulacysta jurassica</i> <i>Metourogonyaulax</i> spp. <i>Sentusidinium</i> spp. <i>Tubotuberella dangeardii</i> <i>Parvedinia ceratophora</i> <i>Ctenidodinium combazii</i> <i>Gonyaulacysta eisenackii</i> <i>Metourogonyaulax caytonensis</i> <i>Downiesphaeridium polytrichum</i> <i>Gonyaulacysta pectinifera</i> <i>Gonyaulacysta jurassica</i> subsp. <i>adecta</i> <i>Ctenidodinium cornigerum</i> <i>Dissilodinium hocneratum</i> <i>Impletosphaeridium varispinosum</i> <i>Rhynchodiniopsis regalis</i> <i>Sentusidinium riotullii</i> <i>Lithodinia jurassica</i> <i>Valensiella ovulum</i> <i>Bradleyella adela</i> <i>Korystocysta gochii</i> <i>Stephanelytron callovianum</i> <i>Nannoceratopsis pellucida</i>	Oxfordien inférieur
2460m			2460 m		
2473m			2473 m		
2480m			2480 m		
10 m					
2500m	Callovien				
					Callovien inférieur

Anhydrite

Dolomite

Calcaire

Marne

Schiste

inférieur. Cette espèce présente dans tous les domaines paléogéographiques excepté la province subboréale, semble avoir été limitée au Bajocien supérieur- Callovien inférieur. Elle est dominante dans le Bathonien, en Angleterre (Riding *et al.* 1985) et dans les sédiments d'âge Callovien inférieur de Normandie (Hssaida 1995). En association avec *Dichadogonyaulax sellwoodii* elle ne dépasse pas le Callovien inférieur en France (Fauconnier 1995, Huault 1999) et en Angleterre, la coexistence de ces deux taxons correspond à l'intervalle allant de la zone d'ammonites à Zigzag du Bathonien inférieur à la partie inférieure de la zone à *Macrocephalus* du Callovien inférieur (Woollam & Riding 1983). *Ctenidodinium combazii* n'a pas été trouvé dans les régions téthysiennes étudiées par Conway (1978, 1990), Davies (1983), Thusu *et al.* (1988), El Beialy *et al.* (2002), Borges *et al.* (2011). En revanche elle est très abondante dans les sédiments du bassin de Quissac (SW France, Hssaida 1995), et dans ceux du Maroc (bassin de Guercif ; Hssaida 1990) et le bassin d'Essaouira (présent travail).

- *Dichadogonyaulax sellwoodii* est une espèce cosmopolite (Woollam & Riding 1983, Hssaida 1990, Fauconnier 1995, Huault 1998) et malgré sa répartition assez large (Bajocien-Oxfordien), elle

constitue un bon marqueur stratigraphique en association aux autres marqueurs de l'intervalle Bathonien supérieur – Callovien inférieur. Pour cet intervalle, cette espèce s'associe avec *Ctenidodinium combazii*, pour former une zone de kyste de dinoflagellés : (Zone a *Ctenidodinium combazi* - *Ctenidodinium sellwodii*) en Angleterre (Riding & Thomas 1992), et au Maroc (Hssaida 1990). En France elle définit avec *Ctenidodinium ornatum*, une autre dinozone correspondant au même intervalle de temps (Huault 1999).

-*Dichadogonyaulax sellwoodii* est l'espèce index d'une dinozone portant son nom et correspondant au Bathonien supérieur-Callovien inférieur, pour l'ensemble de l'Europe de Nord-Ouest (Poulsen & Riding 2003). Elle est également abondante dans les sédiments du bassin Portugal (Borges *et al.* 2011, 2012), dans les sédiments du bassin de Guercif (Maroc) (Hssaida 1990), dans le bassin d'Essaouira (présent travail) et dans les sédiments de France (Huault 1999).

-*Ctenidodinium cornigerum* est limitée au Bathonien en Angleterre (Riding & Thomas 1992), mais a été signalée jusque dans le Callovien inférieur en France (Fauconnier 1995, Huault 1999), au Portugal (Borges *et al.* 2011) et au Maroc (Hssaida 1990).

supérieur. Elle caractérise le passage, Callovien-Oxfordien, en Angleterre (Riley & Fenton 1982, Riding 1983, Woollam & Riding 1983), et en France (Fauconnier 1995).

- *Liesbergia liesbergensis* caractérise la limite Callovien-Oxfordien dans tous les domaines paléogéographiques excepté la province subboréale (ss) (Raynaud 1978, Woollam 1980, Woollam & Riding 1983, Berger 1986, Kunz 1987, Hssaida (1990, 1995), Fauconnier 1995, Riding & Thomas 1997, Huault 1999).

- *Compositosphaeridium polonicum* est une espèce caractéristique du Callovien supérieur. Elle a été signalée du Bathonien supérieur à l'Oxfordien inférieur (Riding & Thomas 1992) et caractérise la dinozone à *Wanaea thysanota* qui correspond au Callovien supérieur (zone d'ammonites à *Athleta* – zone à *Lamberti*) d'Angleterre (Riding & Thomas 1992).

- *Ctenidodinium continuum* et *Meioutogony aulaxcaytonensis* (Sarjeant 1959) Sarjeant 1969 constituent en Angleterre deux bons marqueurs biostratigraphiques de l'intervalle Callovien-Oxfordien (Woollam & Riding 1983, Riding & Thomas 1992). La première espèce définit au sein de l'étage Callovien une biozone correspondante à la partie supérieure de la zone d'ammonites à *Macrocephalus* et à la zone à *Coronatum*, où elle est associée à *Ctenidodinium ornatum*.

En ce qui concerne la distribution des kystes de dinoflagellés pour l'Europe du Nord-Ouest, (Poulsen & Riding 2003), *Ctenidodinium continuum*, est l'espèce index de la zone à *Ctenidodinium continuum* (DSJ18) (Callovien supérieur), qui correspond, d'une part, à la zone à *Ctenidodinium continuum* de Riding & Thomas (1992), et d'autre part à la zone à *Ctenidodinium ornatum* – *Ctenidodinium continuum* de Woollam & Riding (1983).

Intervalle 1713 m–1701,94 m du sondage NDK-2 et l'intervalle 1772 m–1769 m du sondage NDK-3 : Oxfordien inférieur.

L'échantillon prélevé à la profondeur 1713 m du sondage NDK-2 renferme des marqueurs du Callovien supérieur et de l'Oxfordien basal.

Dans cette séquence, l'association trouvée se caractérise par la présence de marqueurs de l'Oxfordien inférieur. Cette même association a été répertoriée dans les sédiments de l'intervalle (1772 m - 1769m) du sondage NDK-3 (Fig. 4) permettant d'établir une corrélation stratigraphique entre les deux sondages.

Cette association de kystes de dinoflagellés est constituée de : *Rhynchodiniopsis cladophora*, *Adnatosphaeridium caulleryi*, *Sirmiodiniopsis orbis*, *Ctenidodinium ornatum*, *Scriniodinium crystallinum*, *Gonyaulacysta jurassica jurassica*, *Endoscrinium*

galeritum, *Trichodinium scarburghense*, *Egmontodinium* sp.

Les formes chorates deviennent plus abondantes au niveau de l'échantillon 1701,94 m, avec *Systematophora areolata*, *Systematophora penicillata*, *Surculosphaeridium vestitum* et *Perisseiasphaeridium pannosum*, caractérisant ainsi l'Oxfordien moyen à supérieur.

- *Scriniodinium crystallinum* est une espèce cosmopolite, avec une répartition stratigraphique allant du Callovien supérieur au Kimméridgien inférieur, un peu partout dans le monde (Raynaud 1978, Davies 1983, Davey 1987, Helby et al. 1987, Riding 1987, Riding & Fensome 2002, Riding 2005, Hssaida et al. 2014).

- *Endoscrinium galeritum* est une espèce qui présente une répartition stratigraphique assez large ; en Angleterre elle est connue du Callovien au Kimméridgien inférieur (Riding & Thomas 1992), avec un maximum d'abondance entre l'Oxfordien inférieur et moyen.

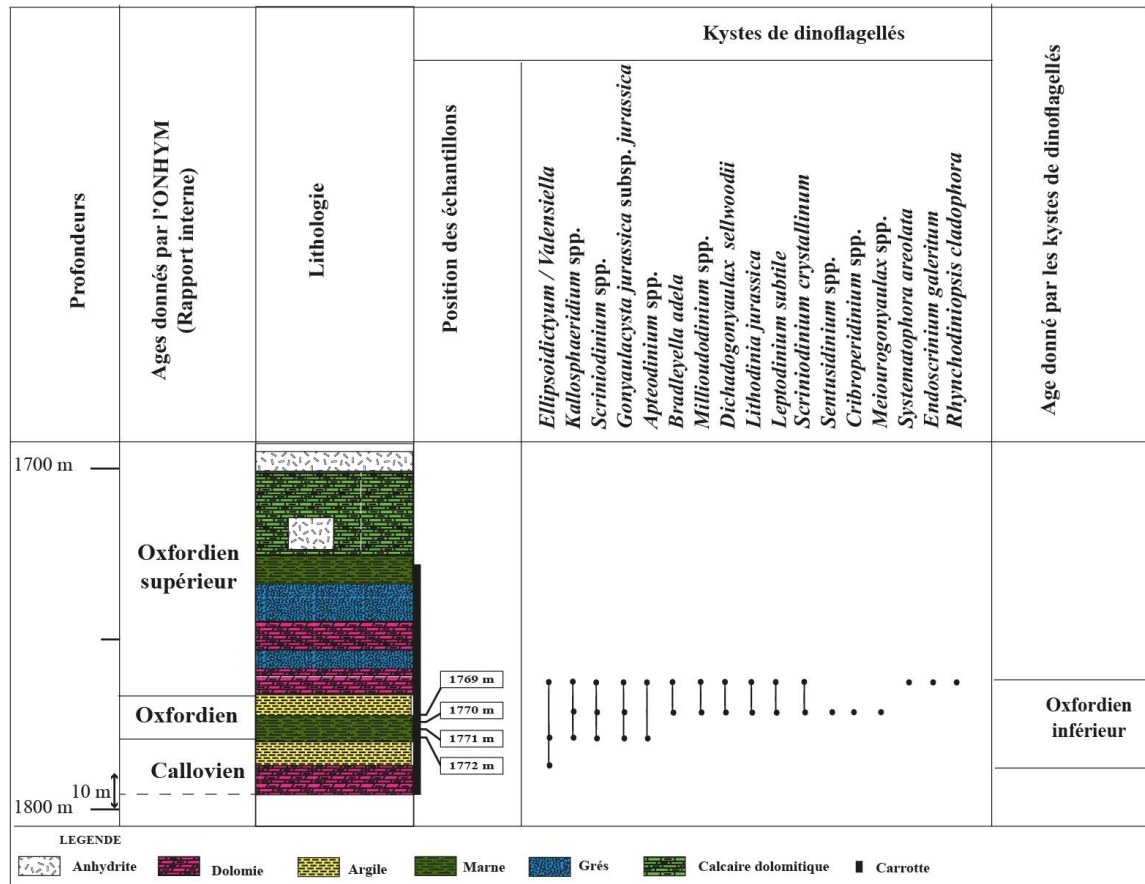
- *Gonyaulacysta jurassica* subsp. *jurassica* est une espèce cosmopolite, présente dans de nombreux domaines paléogéographiques (domaine boréal, sub-boréal, téthysien, atlantique, et austral). C'est un très bon marqueur stratigraphique de l'intervalle Callovien- Oxfordien (Raynaud 1978, Davies 1983, Davey 1987, Helby et al. 1987, Riding & Thomas 1992, Hssaida 1995, Huault 1999, Riding & Fensome 2002, Riding 2005, Hssaida et al. 2014). Avec *Gonyaulacysta centriconnata* et *Wanaea thysanota*, elle caractérise le passage Callovien-Oxfordien (Riding & Thomas 1992). Avec l'espèce *Wanaea fimbriata* (Sarjeant 1961a), elle date l'Oxfordien basal d'Angleterre (Riding & Thomas 1992).

- *Rhynchodiniopsis cladophora* est une espèce cosmopolite, elle a été trouvée dans les sédiments du jurassiques moyen et supérieur (Dogger - Malm) dans de nombreux domaines paléogéographiques : e.g. boreal, sub-boréal (Courtinat 1989a), téthysien (Smelror et al. 1991, Jan du Chêne et al. 2000, Hssaida et al. 2014), austral (Riding et al. 2010). Elle se répartit du Callovien inférieur au Kimméridgien supérieur (Riding & Thomas 1992) en Angleterre et du Callovien inférieur (zone d'ammonites à *Koenigi*), jusqu'à la zone à *Tenuiserratum* (Oxfordien moyen) en Ecosse (Riding 2005). Dans le domaine téthysien, elle a été répertoriée dans l'intervalle Oxfordien moyen-Kimméridgien inférieur (Jan du Chêne et al. 2000, Borges et al. 2011, Hssaida et al. 2014).

- *Trichodinium scarburghense* est un très bon marqueur de l'intervalle Callovien supérieur-Oxfordien moyen (Riding & Thomas 1992). En Angleterre, cette espèce s'étend de la base de l'Oxfordien jusqu'à l'Oxfordien moyen et correspond à la zone à *Tenuiserratum* (Riding & Thomas 1992). Pour le reste de l'Europe du NW, cette espèce s'étend du Callovien supérieur jusqu'à l'Oxfordien inférieur à moyen (Riding & Thomas 1992). Elle présente une très large distribution dans les deux domaines

Tableau 3. Répartition stratigraphique des kystes de dinoflagellés dans le sondage NDK-3 entre 1772m et 1769m.

Table 3. Stratigraphic distribution of dinoflagellate cysts between 1772 m and 1769 m of NDK-3 borehole.



subboréale (Europe du Nord-ouest) et le domaine téthysien. Elle a été répertoriée dans l'artique canadien, sous *Acanthaulax* sp.1 par Johnson & Hills (1973) et Davies (1983), et sous *Acanthaulax senta* par Drugg (1978). Fensome (1979) l'a observée au Groenland sous *Gonyaulacysta scarburghensis*.

- Deux formes chorates (skolochorates) ont été rencontrées : *Systematophora areolata* et *Systematophora penicillata*, la première se rencontre de l'Oxfordien inférieur au Portlandien supérieur en Angleterre (Riding & Thomas 1992). Elle s'avère plutôt rare dans l'intervalle Oxfordien inférieur (zone d'ammonites à *Cordatum*) à Oxfordien moyen (zone à *Tenuiserratum*) avec toutefois un optimum d'abondance dans la zone à *Densiplicatum* (base de l'Oxfordien moyen, Riding 2005).

- L'espèce *Systematophora penicillata* n'a jamais été signalée dans des niveaux stratigraphiques antérieurs au Jurassique supérieur. Elle a été signalée dans le Jurassique supérieur d'Allemagne et de Pologne (Klement 1960, Dürr 1987) et de façon plus précise de l'Oxfordien moyen jusqu'au Kimméridgien (Ehrenberg 1843, Nøhr-Hansen 1986, Riding & Thomas 1997). Elle est rare dans la zone à *Densiplicatum* (base de l'Oxfordien moyen) d'Ecosse (Riding 2005).

L'intervalle 1701,94 m–1654 m du sondage NDK2 : Oxfordien supérieur à Kimméridgien inférieur.

Dans cet intervalle l'échantillon prélevé à la profondeur 1685,38 m est exceptionnellement riche en kystes de dinoflagellés. L'association caractérisée par la présence de plusieurs marqueurs suivants: *Egmontodinium* spp., *Prolixosphaeridium anasillum*, *Dichadogonyaulax? panneum*, *Downiesphaeridium polytrichum*, *Gochteodinia*, *Epiplosphaera* sp. et surtout les formes chorates telles que *Surculosphaeridium vestitum*, *Systematophora areolata* et *Systematophora penicillata*.

La dernière association répertoriée est caractéristique du Kimméridgien inférieur avec les espèces marqueurs *Wallodinium krutzschii*, *Egmontodinium polyplacophorum*, *Cribroperidinium globatum*, *Dichadogonyaulax? panneum*, *Systematophora? daveyi*, *Cribroperidinium longicorne*, et *Gochteodinia mutabilis*.

L'association observée dans cet intervalle est comparable à celles trouvées dans le sud du Portugal (Borges *et al.* 2011) et dans le Rif marocain (Hssaida *et al.* 2014). Elle peut être corrélée aussi avec l'Europe du NW (Nøhr-Hansen 1986, Riding 1987,

Riding & Thomas 1988, Barron 1989, Riding *et al.* 1999).

L'espèce *Cribrorperidinium granuligerum*, qui domine cette association marocaine, présente une répartition allant de l'Oxfordien inférieur à l'Oxfordien supérieur. Elle est indiquée comme caractéristique de l'Oxfordien supérieur dans la province téthysienne par Stancliffe & Sarjeant (1988), toutefois elle apparaît après l'Oxfordien supérieur dans le domaine téthysien occidental (Jura méridional, Courtinat 1989a). Cette espèce a été répertoriée dans la zone à *Bifurcatus* (Oxfordien moyen) pour la Péninsule Ibérique (NE Espagne et Portugal) (Smelror & Mélendez 1991). Elle caractérise l'Oxfordien moyen à supérieur.

- *Wallodinium krutzschii*, apparaît dans le domaine sub-boréal au Kimméridgien inférieur et ne dépasse pas le Portlandien (Riding & Thomas 1992). Dans le Kimméridgien du Dorset, elle a été signalée de la zone d'ammonites à *Cymodoce* à la zone à *Pectinatus* (Riding & Thomas 1988). Cette espèce est assez rare dans le domaine téthysien mais elle a été signalée dans le Kimméridgien supérieur d'Égypte dans les zones à *Hudlestoni* et à *Pectinatus* (Bailey *et al.* 1997). Elle est absente au Portugal (Borges *et al.* 2011), dans le Jura méridional (Courtinat 1989a) et dans le SE de la France (Jan Du Chêne *et al.* 2000). En revanche elle est assez fréquente dans les sédiments rifains marocains d'âge Kimméridgien inférieur, au niveau des zones à *Platynota* et à *Divisum* (Hssaida 2014).

- *Egmontodinium polyplacophorum* est restreint à la zone d'ammonites à *Planula* (Kimméridgien inférieur) dans le Jura méridional (Courtinat 1989a) et est signalé à partir de la zone à *Anguiformis* (Tithonien supérieur) dans le NW de l'Europe (Riding 1984). En Angleterre, cette espèce est surtout présente dans le Kimméridgien supérieur (Riley 1979, Woollam & Riding 1983). Dans le domaine téthysien, elle est absente au Portugal (Borges *et al.* 2011) et dans le SE de la France (Jan Du Chêne *et al.* 2000). Dans le Rif marocain, elle est présente dans les deux zones d'ammonites du Kimméridgien inférieur : la zone à *Platynota* et la zone à *Divisum* (Hssaida *et al.* 2014).

Dans le domaine sub-boréal (Riding 1987, Riding & Thomas 1992) comme dans le domaine téthysien (Jan du Chêne *et al.* 2000, Courtinat 1989, Borges *et al.* 2011, Hssaida *et al.* 2014), le Kimméridgien inférieur est caractérisé par l'apparition des genres de kystes de dinoflagellés *Perisseiasphaeridium*, *Gochteodinia* et *Wallodinium*, ainsi que par une association constituée des espèces cosmopolites *Cribrorperidinium globatum*, *Occisucysta balios*, *Perisseiasphaeridium pannosum*, *Scriniodinium crystallinum*, *Gonyaulacysta jurassica jurassica*, *Egmontodinium polyplacophorum* et *Ctenidodinium ornatum*. Pour le domaine sub-boréal, les

assemblages de kystes d'âge Oxfordien supérieur-Kimméridgien inférieur sont marquées par une grande diversité (Ioannides *et al.* 1976, Dürr 1988, Riding & Thomas 1988), en revanche ceux du domaine téthysien sont peu riches et très peu diversifiés, e.g. sud de l'Allemagne (Dürr 1987), Portugal (Borges *et al.* 2011).

CONCLUSION

Le résidu organique des échantillons traités a révélé la présence d'assemblages de kystes de dinoflagellés très riches et diversifiés. L'état de conservation des kystes, souvent excellent, a permis d'identifier le Callovien inférieur au niveau du sondage MKL110 entre 2480 m et 2415 m grâce aux espèces index *Dichadogonyaulax sellwoodii*, *Ctenidodinium cornigerum*, *Ctenidodinium combazii* et *Impletosphaeridium varispinosum*.

Le Callovien supérieur et le passage Callovien-Oxfordien ont été reconnus dans le sondage NDK2 (entre 1803 m et 1713 m) grâce aux marqueurs suivants : *Ctenidodinium ornatum*, *Wanaea thysanota*, *Gonyaulacysta jurassica jurassica*, *Ctenidodinium cornigerum* et *Ctenidodinium continuum*.

Le passage Callovien supérieur-Oxfordien est supposé se situer au niveau de l'échantillon 1713 m du sondage NDK2, marqué par les marqueurs de haute résolution stratigraphique *Wanaea thysanota*, *Gonyaulacysta centricornata*, *Gonyaulacysta jurassica* subsp. *jurassica*, *Leptodinium subtile*, *Liesbergia liesbergensis*, *Scriniodinium crystallinum*, *Ctenidodinium ornatum* et *Compositosphaeridium polonicum*.

L'Oxfordien inférieur est mis en évidence dans les deux sondages : NDK2 (entre 1713 m et 1701,94 m) et NDK3 (entre 1772 m et 1769 m). Les kystes marqueurs sont : *Rhynchodiniopsis cladophora*, *Sirmiodiniopsis orbis*, *Ctenidodinium ornatum*, *Scriniodinium crystallinum*, *Gonyaulacysta jurassica* subsp. *jurassica*, *Endoscrinium galeritum*, *Trichodinium scarburghense*.

Le Kimméridgien inférieur est identifié dans le sondage NDK2 (échantillon 1654 m), grâce à l'association composée de *Wallodinium krutzschii*, *Egmontodinium polyplacophorum*, *Cribrorperidinium globatum*, *Dichadogonyaulax? panneum*, *Systematophora? daveyi*, *Cribrorperidinium longicorne* et *Gochteodinia mutabilis*.

Les associations de kystes de dinoflagellés répertoriées dans les échantillons des sondages implantés dans le bassin d'Essaouira (domaine atlantique) sont similaires aux associations trouvées dans les provinces sub-boréal (domaine boréal) et sub-méditerranéenne (domaine téthysien). Cette uniformité plaide en faveur de la présence de communications entre l'Atlantique central et la Téthys pendant cet intervalle d'étude.

REMERCIEMENTS

Nous remercions l'Office National des Hydrocarbures et des Mines de nous avoir fourni les échantillons des sondages : MKL-110, NDK-2 et NDK-3. Les auteurs tiennent particulièrement à remercier énormément et chaleureusement les Professeurs Laurent Londeix et Vincent Huault pour leur inestimable apport à ce travail, pour le temps consacré, l'expérience mise en pratique, la précision, la patience et la passion dont ils ont témoigné pour améliorer cet ouvrage et permettre d'en faire un article de référence. Nous ne saurions leur exprimer suffisamment notre gratitude et notre respect. Les évaluateurs anonymes sont remerciés pour leurs commentaires et suggestions.

REFERENCES

- Bailey D.A., Milner P. & Varney T. 1997. Some dinoflagellate cysts from the Kimmeridge Clay Formation in North Yorkshire and Dorset, UK. *Proceedings of the Yorkshire Geological Society*, 51, 3, 235-243.
- Barron H.F. 1989. Dinoflagellate cyst biostratigraphy and palaeoenvironments of the Upper Jurassic (Kimmeridgian to basal Portlandian) of the Helmsdale region, east Sutherland, Scotland. In: Batten, D.J., and Keen, M.C. (eds). *Northwest European micropalaeontology and palynology*. British Micropalaeontological Society Series. Ellis Horwood Limited, Chichester, U.K., 193-213.
- Barski M. 2012. Dinoflagellate cysts from neptunian dykes in the Middle Jurassic of Poland - A stratigraphical approach, *Review of Palaeobotany and Palynology*, v. 169, 38-47.
- Barski M., Dembicz K. & Praszquier T. 2004. Biostratygrafia i paleośrodowisko środkowej jury z kamieniołomu Ogródzieniec (Biostratigraphy and the Mid-Jurassic environment from the Ogródzieniec quarry). *Tomy Jurajskie/Volumen Jurassica*, II, 61-68.
- Beju D. 1971. Jurassic Microplankton from the Carpathian Foreland of Roumania. *Annales Instituti Geologici Publici Hungarici*, v. 54, 2, 275-317.
- Berger J.P. 1986. Dinoflagellates of the Callovian-Oxfordian boundary of the "Liesberg-Dorf" quarry (Bernier Jura. Switzerland). *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abhandlungen*, v. 172, n. 3, 331-355.
- Borges M.E.N., Riding J.B., Fernandes P. *et al.* 2011. The Jurassic (Pliensbachian to Kimmeridgian) palynology of the Algarve Basin and the Carrapateira outlier, southern Portugal. *Review of Palaeobotany and Palynology*, v. 163, 190-204.
- Borges M.E.N., Riding J.B., Fernandes P. *et al.* 2012. Callovian (Middle Jurassic) dinoflagellate cysts from the Algarve Basin, southern Portugal. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 170, 40-56.
- Bouaouda M.S. 1987. *Biostratigraphie du Jurassique inférieur et moyen des bassins côtiers d'Essaouira et d'Agadir (Marge atlantique du Maroc)*. PhD thesis, Toulouse, France, 213p.
- Bouatmani R., Medina F., Ait Salem A. *et al.* 2004. Le bassin d'Essaouira (Maroc): géométrie et style des structures liées au rifting de l'Atlantique central. *African Geoscience Revue*, 11, 107-123.
- Broughton P. & Trépanier A. 1993. Hydrocarbon generation in the Essaouira basin of Western Morocco. *A.A.P.G. Bull.*, 77, 6, 999-1015.
- Conway B.H. 1978. Microplankton from the Upper Bathonian of Zohar 5 and Yinnon 1 boreholes in southern Israel. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 26: 337-362.
- Conway B.H. 1990. Palaeozoic-Mesozoic palynology of Israel. II. Palynostratigraphy of the Jurassic succession in the subsurface of Israel. *Geological Survey of Israel Bulletin*, 82, 39p.
- Courtinat B. 1989a. Les organoclastes des formations lithologiques du Malm dans le Jura méridional. Systématique, biostratigraphie et éléments d'interprétation paléocéologique. *Documents des Laboratoires de Géologie de Lyon*, 105, 361p.
- Courtinat B. 1989b. Les dinoflagellés du Je bel Tazenaght (Oxfordien de l'Atlas atlantique, Maroc). *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat*, 13, 17-20.
- Davey R.J. 1987. Palynological zonation of the Lower Cretaceous, Upper and uppermost Middle Jurassic in the northwestern Papuan Basin of Papua New Guinea. *Geological Survey of Papua New Guinea Memoir*, 13, 77p.
- Davies E.H. 1983. The dinoflagellate Oppel-zonation of the Jurassic-Lower Cretaceous sequence in the Sverdrup Basin, arctic Canada. *Geological Survey of Canada Bulletin*, 359, 59p.
- Deflandre G. 1939a. Microplancton des mers jurassiques conservé dans les marnes de Villers-sur-Mer (Calvados). Étude liminaire et considérations générales. *Station zoologique de Wimereux, Travaux*, v.13, 147-200, pl. 5-11.
- Dodekova L. 1975. New Upper Bathonian dinoflagellate cysts from northeastern Bulgaria. *Bulgarian Academy of Sciences; Palaeontology, Stratigraphy and Lithology*, 2, 17-33.
- Du Dresnay R. 1988. Répartition des dépôts carbonatés du Lias inférieur et moyen le long de la côte Atlantique du Maroc : conséquences sur la paléogéographie de l'Atlantique naissant. *Journal of African. Earth Science*, 7, 2, 385-396.
- Duffaud F., Brun L. & Planchut B. 1966. Le bassin du Sud-Ouest marocain. In REYRE (Eds) : Bassins sédimentaires du littoral Africain, *Publication de l'Association du Service. Géologique Africain, Paris*.
- Dupin F. 1965a. *Contribution à l'étude paléoplanctologique du Jurassique en Aquitaine occidentale*. Thèse de 3e Cycle, Université de Bordeaux, 227p.
- Dupin F. 1965b. Contribution à l'étude paléoplanctologique du Jurassique en Aquitaine occidentale. *Actes de la Société Linéenne de Bordeaux*, série B, 102 (3): 19p.
- Dupin F. 1968. Deux nouvelles espèces de dinoflagellés du Jurassique d'Aquitaine. *Cahiers de Micropaléontologie, Série 1, n° 8*, Archives originales, Centre de documentation, Centre national de la recherche scientifique, No. 450, 1-5.
- Dürr G. 1987. Dinoflagellaten-Zysten aus dem Weißjura δ (Mittelkimmeridgien) der westlichen Schwäbischen Alb (Süd Deutschland) Dinocysts from the White Jurassic (Middle Kimmeridgian) of the Western Swabian Alb (Southern Germany). *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abhandlungen*, 176, 1, 67-80.
- Dürr G. 1988. Palynostratigraphie des Kimmeridgium und Tithonium von Süddeutschland und Korrelation mit boreal Floren. *Tübinger Mikropaläontologische Mitteilungen*, 5, 159 p.
- Ehrenberg C.G. 1843. Über die Verbreitung des jetzt wirkenden kleinsten organischen Lebens in Asien,

- Australien und Africa und über die vorherrschende Bildung auch des Oolithkalkes der Juraformation aus kleinen polythalamischen Thieren. *Königlich Preussische Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Bericht über die zur Bekanntmachung geeigneten Verhandlungen*, 1843, 100-106.
- El Beialy S.Y. & Ibrahim M.I.A. 1997. Callovian-Oxfordian (Middle-Upper Jurassic) microplankton and miospores from the Masajid Formation, WX1 borehole, El Maghara area, North Sinai, Egypt: Biostratigraphy and palaeoenvironmental interpretations. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abhandlungen*, 204, 3, 379-398.
- El Beialy S., Zalat A.F.A. & Ali A.S. 2002. The Palynology of the Bathonian-Early Oxfordian Succession in the East Faghur-1 Well, Western Desert, *Egyptian Journal of Paleontology*, v. 2, 399-414.
- Elmi S. & Faugères J.C. 1974. Chronostratigraphie et interprétation séquentielle de la série Lias-Dogger du flanc NW du Dohar-en-Sour (Rides préifaines, Maroc sept.), *Note et Mémoires du Service géologique du Maroc*, 36, 264, 69-79.
- Elmi S. & Almeras Y. 1984. Physiography, palaeotectonics and palaeoenvironments as controls of change in ammonite and brachiopod communities (an example from the Early and Middle Jurassic of Western Algeria). *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 47, 347-360.
- Enay R., Le Nindre Y.M., Mangold C. *et al.* 1987. Le Jurassique d'Arabie Saoudite central : nouvelles données sur la lithostratigraphie, les paléoenvironnements, les faunes d'Ammonites, les âges et les corrélations. *Géobios, Mem. Spec.*, 9, 13-65.
- Fauconnier D. 1995. Jurassic palynology from a borehole in the Champagne area, France-correlation of the lower Callovian-middle Oxfordian using sequence stratigraphy, *Review of Palaeobotany and Palynology*, v. 87, 15-26.
- Fensome R.A. 1979. Dinoflagellate cysts and acritarchs from the Middle and Upper Jurassic of Jameson Land, East Greenland. *Grønlands Geologiske Undersøgelse Bulletin*, 132, 96 p.
- Fenton J.P.G. & Fisher M.J. 1978. Regional distribution of marine microplankton in the Bajocian and Bathonian of northwest Europe. *Palinologia*, número extraordinario, 1, 233-243.
- Ghasemi-Nejad E., Sabbaghiyan H. & Mosaddegh H. 2012. Palaeobiogeographic implications of Late Bajocian-Late Callovian (Middle Jurassic) dinoflagellate cysts from the Central Alborz Mountains, northern Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 43, 1, 1-10.
- Gocht H. 1970. Dinoflagellaten-Zysten aus dem Bathonium des Erdölfeldes Aldorf (NW-Deutschland). *Palaeontographica Abteilung B*, v. 129, 125-165. pl. 26-35.
- Hafid M. 1999. *Incidences de l'évolution du Haut-Atlas occidental et de son avant pays septentrional sur la dynamique Mésocène-Cénozoïque de la marge atlantique (entre Safi et Agadir). Apport de la sismique réflexion et des données de forages*. Thèse de Doctorat es-Sciences, Univ. Ibn Tofail, Kénitra, 282 pages.
- Hafid M., Bally A.W., Fedan B. *et al.* 2005. Structuration jurassique post-rift à crétacé inférieur du bassin d'Essaouira : distension ou halocinèse. *MAPG Memoir* 1, 289-307.
- Helby R., Morgan R. & Partridge A.D. 1987. A palynological zonation of the Australian Mesozoic. *Memoir of the Association of Australasian Palaeontologists*, 4, 1-94.
- Hemmadi A. 1979a. Permis Essaouira historique du sondage N'DARK N°2 (NDK-2). *Rapport interne ONHYM N° # 82016*.
- Hemmadi A. 1979b. Permis Essaouira historique du sondage N'DARK N°3 (NDK-3). *Rapport interne ONHYM, N° 82031*.
- Herngreen G.F.W., De Boer K.F., Romein B.J. *et al.* 1983. Middle Callovian beds in the Achterhoek, eastern Netherlands. *Mededelingen Rijks Geologische Dienst*, v. 37, 95-123.
- Hssaida T. 1990. *Etude palynologique, kystes de dinoflagellés du Jurassique (Bathonien-Callovien-Oxfordien) du bassin de Guercif, Maroc*. Thèse Univ. Rennes I, 215p.
- Hssaida T. 1995. *Etude palynologique (kyste de dinoflagellés, palynofaciès) de gisements Bathonien supérieur à Oxfordien inférieur de Normandie et Cévennes (France), de Guercif (Maroc). Biostratigraphie, Paleo-environnement et Paleobiogéographie*. Thèse de Doctorat es Sciences Rabat, 165p.
- Hssaida T., Chahidi S., Benzaggagh M. *et al.* 2014. Associations de kystes de dinoflagellés des séries du Jurassique supérieur (Oxfordien-Tithonien) du Rif externe (Préif interne et Mésorif, Maroc) et comparaisons régionales. *Annales de Paléontologie*, v. 100, 327-342.
- Huault V. 1998. Caractéristiques palynologiques de la limite Dogger-Malm dans le Sud-Est du bassin de Paris [Palynological characteristics of the Dogger-Malm boundary in the southeast of the Paris Basin]. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris. Sciences de la Terre et des Planètes*, 326, 521-526.
- Huault V. 1999. Zones de kystes de dinoflagellés de l'intervalle Aalénien Oxfordien sur la bordure méridionale du bassin de Paris. *Review of paleobotany and palynology*, 107, 145-190.
- Ioannides N.S., Stavrinos G.N. & Downie C. 1977. Kimmeridgian microplankton from Clavell's Hard, Dorset, England. *Micropaleontology*, 22, 4, 443-478.
- Ioannides N.S., Colin J.-P., Jan du Chêne R. 1988. A preliminary investigation of Kimmeridgian dinoflagellates and ostracods from Quercy, Southwest France. *Bulletin des Centres de Recherches Exploration-Production Elf-Aquitaine*, 12, 1, 471-491.
- Jan du Chêne R., Atrops F., Emmanuel L. *et al.* 2000. Palynology, ammonites and sequence stratigraphy from Tethyan Middle Oxfordian to Lower Kimmeridgian, S-E France. Comparison with the Boreal Realm (Palynologie, ammonites et stratigraphie séquentielle de l'Oxfordien moyen au Kimméridgien inférieur téthysiens, France du Sud-Est. Comparaison avec le domaine boréal). *Bulletin des Centres de Recherches Exploration-Production Elf-Aquitaine*, 22, 2, 273-321.
- Johnson C.D. & Hills L.V. 1973. Microplankton zones of the Savik Formation (Jurassic), Axel Heiberg and Ellesmere Islands, District of Franklin. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 21, 178-218.
- Klement K.W. 1960. Dinoflagellaten und Hystrichosphaerideen aus dem unteren und mittleren Malm Südwest Deutschlands. *Palaeontographica Abteilung A*, 114, 1-4, 1-104.
- Kunz R. 1987. Erste Ergebnisse zur Dinozysten-Zonierung des nordwestdeutschen Oxford (Hannoversches Bergland) [First results on a dinocyst zonation in the

- Oxfordian of northwest Germany (Hannoversches Bergland)]. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abhandlungen*, v. 176, 81-90.
- Le Roy P., Pique A., Legall B. *et al.* 1997. Les bassins côtiers Triasico-Liasiques du Maroc occidental et la diachronie du rifting intra-continental de l'Atlantique central. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 168, 627-637.
- Nørh-Hansen H. 1986. Dinocyst stratigraphy of the Lower Kimmeridgian Clay, Westbury, England. *Bulletin of the Geological Society of Denmark*, v. 35, 31-51.
- ONAREP 1998. Triassic depositional system: geology and play concept. Second Seminar on Petroleum exploration in Morocco (inédit).
- ONHYM 2012. Formation evaluation log well MKL-110, Rabat, (inédit).
- Ouajhain B., Daoudi L., Medina F. *et al.* 2009. Contrôle paléogéographique de la sédimentation argileuse du Jurassique du bassin atlasique d'Essaouira (Haut Atlas occidental, Maroc). *Comunicacões Geológicas*, Tome 96, 51-66.
- Poulsen N.E. & Riding J. B. 2003. The Jurassic dinoflagellate cyst zonation of Subboreal Northwest Europe. *Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin*, v. 1, 115-144.
- Pujol C. 1969. *Etude palynologique des termes de passage du Jurassique au Crétacé en Aquitaine*. Thèse de 3e Cycle de la faculté des Sciences de l'Université de Bordeaux, 215 p.
- Raynaud J. F. 1978. Principaux dinoflagellés caractéristiques du Jurassique supérieur d'Europe du Nord. *Palinologia Número Extraordinario*, v. 1, 387-405.
- Riding J.B. 1982. Jurassic dinocysts from the Warboys Borehole, Cambridgeshire, England. *Journal of Micropalaeontology*, 1, 13-18.
- Riding J.B. 1983. *Gonyaulacysta centriconnata* sp. nov., a dinoflagellate cyst from the late Callovian and early Oxfordian of eastern England. *Palynology*, v. 7, 197-204.
- Riding J.B. 1984a. Observations on the Jurassic dinoflagellate cyst *Nannoceratopsis ambonis* Drugg 1978. *Journal of Micropalaeontology*, 3, 1, 75-79.
- Riding J.B. 1984b. Dinoflagellate range top biostratigraphy of the uppermost Triassic to lowermost Cretaceous of northwest Europe. *Palynology*, 8, 195-210.
- Riding J.B. & Sarjeant W.A.S. 1985. The role of dinoflagellate cysts in the biostratigraphical subdivision of the Jurassic System. *Newsletters on Stratigraphy*, 14: 96-109.
- Riding J.B., Penn I.E. & Woollam R. 1985. Dinoflagellate cysts from the type area of the Bathonian Stage (Middle Jurassic; southwest England). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 45, 149-169.
- Riding J.B. 1987a. Dinoflagellate cyst stratigraphy of the Nettleton Bottom Borehole (Jurassic: Hettangian to Kimmeridgian), Lincolnshire, England. *Proceedings of the Yorkshire Geological Society*, v. 46, 231-266.
- Riding J.B. & Thomas J.E. 1988. Dinoflagellate cyst stratigraphy of the Kimmeridge Clay (Upper Jurassic) from the Dorset coast, southern England. *Palynology*, 12, 65-88.
- Riding J.B. & Thomas J.E. 1992. A stratigraphic Index of Dinoflagellate Cysts. *British Micropaleontological Society Publication Series*.
- Riding J.B. & Ioannides N.S. 1996. A review of Jurassic dinoflagellate cyst biostratigraphy and global provincialism. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 167: 3-14.
- Riding J.B. & Thomas J.E. 1997. Marine palynomorphs from the Staffin Bay and Staffin Shale formations (Middle Upper Jurassic) of the Trotternish Peninsula, NW Skye. *Scottish Journal of Geology*, v. 33, 59-74.
- Riding J.B., Fedorova V.A. & Ilyina V.I. 1999. Jurassic and lowermost Cretaceous dinoflagellate cyst biostratigraphy of the Russian Platform and northern Siberia, Russia. *American Association of Stratigraphic Palynologists Contributions Series*, No. 36, 179 p.
- Riding J.B. & Fensome R.A. 2002. A review of *Scriniodinium* (Klement 1957), *Endoscrinium* (Klement 1960) *Vozzhennikova* 1967 and related dinoflagellate cyst taxa. *Palynology*, 26, 5-33.
- Riding J.B. 2005. Middle and Upper Jurassic (Callovian to Kimmeridgian) Palynology of the Onshore Moray Firth Basin, Northeast Scotland. *Palynology*, v. 29, 87-142.
- Riding J.B., Westermann G.E.G. & Darbyshire D.P.F. 2010. New evidence for the age of the Athol Formation (Middle Jurassic; Bajocian) in the Tusk-1 and Tusk-2 wells, offshore Carnarvon Basin, Western Australia. *Alcheringa*, 34, 1, 21-35.
- Riley L.A. 1979. Dinocysts from the Upper Kimmeridgian (*pectinatus* Zone) of Marton, Yorkshire. *Mercian Geologist*, 7, 3, 219-222.
- Riley L.A. & Fentone J.P.G. 1982. A dinocyst zonation for the Callovian to middle Oxfordian succession (Jurassic) of northwest Europe. *Palynology*, 6, 193-202.
- Ruellan E. 1985. *Géologie des marges continentales passives. Evolution de la marge atlantique du Maroc (Mazagan). Etude par submersible, Seabeam et sismique réflexion. Comparaison avec la marge NW Africaine et la marge homologue Est Américaine*. Thèse de Doctorat, Université de Bretagne occidentale. Brest, 297p.
- Sahabi M., Aslanian D. & Olivet J.L. 2004. Un nouveau point de départ pour l'histoire de l'Atlantique central. *Comptes Rendus Géoscience, Paris*, 336, 1041-1052.
- Sarjeant W.A.S. 1965. Microplankton from the Callovian (*S. calloviense* Zone) of Normandy. *Revue de Micropaléontologie*, 8, 3, 175-184.
- Sarjeant W.A.S. 1968. Microplankton from the Upper Callovian and Lower Oxfordian of Normandy. *Revue de Micropaléontologie*, 10, 4, 221-242.
- Sarjeant W.A.S. 1984. A restudy of some dinoflagellate cysts and an acritarch from the Malm (Upper Jurassic) of southwest Germany. *Palaeontographica Abteilung B*, 191 (5-6), 154-177.
- Smelror M. & Lominadze T.A. 1989. Callovian dinoflagellate cysts from the Caucasus, U.S.S.R. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*, v.178, 2, 147-166.
- Smelror M., Århus N., Meléndez G.L.M. *et al.* 1991. A reconnaissance study of Bathonian to Oxfordian (Jurassic) dinoflagellates and acritarchs from the Zaragoza region (NE Spain) and Figueira da Foz (Portugal). *Revista Española de Micropaleontología*, 23, 2, 47-82.
- Stancliffe R.P.W. & Sarjeant W.A.S. 1988. Oxfordian dinoflagellate cysts and provincialism. *2nd International Symposium on Jurassic Stratigraphy*, Lisboa, 763-798.
- Taugourdeau Lantz J. & Lachkar G. 1984. Stratigraphie par les marqueurs palynologiques sur la bordure Ardéchoise du Bassin du sud-est. *Documents du BRGM, France*, No. 81-11, 59-71.

- Thusu B. & Vigran J.O. 1985. Middle - Late Jurassic (Late Bathonian - Tithonian) palynomorphs. In: Thusu, B., and Owens, B. (eds.). *Palynostratigraphy of north-east Libya. Journal of Micropalaeontology*, 4, 1, 113-130.
- Thusu B., Van Der Eem J.G.L.A., El-Mehdawi A. et al. 1988. Jurassic - Early Cretaceous palynostratigraphy in northeast Libya. In: El-Arnauti, A., Owens, B., and Thusu, B. (eds.). *Subsurface Palynostratigraphy of northeast Libya*. Garyounis University Publications, Benghazi, Libya, 171-213.
- Von Rad U., Hinz K., Sarnthein M. et al. 1982. *Geology of the Northwest African continental margin*. Springer Verlag, Berlin.
- Woollam R. 1980. Jurassic dinocysts from shallow marine deposits of the East Midlands, England. *Journal of the University of Sheffield Geological Society*, v. 7.5, 243-261.
- Woollam R. & Riding J.B. 1983. Dinoflagellate cyst zonation of the English Jurassic. *Inst. Geol. Sci., Rep.* 83/2, 42p.
- Zeigler P.A. 1988. Evolution of the Arctic-North Atlantic and the Western Tethys. *American Association of Petroleum Geologists Memoir*, 43, 198p.

Manuscrit reçu le 26/10/2016

Version révisée acceptée le 29/06/2017

Version finale reçue le 11/07/2017

Mise en ligne le 12/07/2017

ANNEXE

Liste des taxons de kystes de dinoflagellés cités dans le texte

- *Adnatosphaeridium caulleryi* (Deflandre 1939a) Williams & Downie 1969, emend. Stancliffe & Sarjeant 1990 (**NDK-2**: 1713 m, 1803 m) (Planche1)
- *Amphorulacysta? Expirata* (Davey 1982b) Williams & Fensome 2016 (**NDK-2**: 1701,94 m) (Planche 3)
- *Apteodinium* spp. (**NDK-3**: 1769 m, 1771 m)
- *Bradleyella adela* (Fenton et al. 1980) Woollam 1983 (**MKL-110**: 2415 m; **NDK-3**: 1769 m, 1770 m) (Planche2)
- *Compositosphaeridium polonicum* (Górka 1965) Lentin & Williams 1981 (**NDK-2**: 1709,50 m, 1709,75 m, 1713 m) (Planche1)
- *Cribroperidinium globatum* (Gitmez & Sarjeant 1972) Helenes 1984 (**NDK-2**: 1654 m, 1685,38 m, 1701,94 m)
- *Cribroperidinium longicorne* (Downie, 1957) Lentin and Williams, 1985 (**NDK-2**: 1654 m)
- *Cribroperidinium* spp. (**NDK-3**: 1770 m) (Planche 4)
- *Cribroperidinium* sp. (**NDK-2**: 1685,38 m)
- *Ctenidodinium combazii* Dupin 1968 (**MKL-110**: 2415 m, 2480 m) (Planche 2)
- *Ctenidodinium continuum* Gocht 1970b (**NDK-2**: 1709,75 m, 1713 m, 1745 m) (Planche 2)
- *Ctenidodinium cornigerum* (Valensi 1953) Jan du Chêne et al. 1985 (**MKL-110**: 2473 m, 2480 m ; **NDK-2**: 1745 m, 1803 m) (Planche 2)
- *Ctenidodinium ornatum* (Eisenack 1935) Deflandre 1939a (**NDK-2**: 1654 m, 1701,94 m, 1708,63 m, 1709,50 m, 1709,75 m, 1713 m, 1803 m) (Planche 2)
- *Ctenidodinium tenellum* Deflandre, 1938 (**NDK-2**: 1654 m, 1701,94 m)
- *Dichadogonyaulax panneae* (Norris 1965) Sarjeant 1969 (**NDK-2**: 1654 m, 1685,38 m)
- *Dichadogonyaulax sellwoodii* ((Sarjeant 1975) Stover & Evitt 1978) (**MKL-110**: 2415 m, 2445 m, 2460 m, 2473 m, 2480 m; **NDK-3**: 1769 m, 1770 m) (Planche 2)
- *Dissiliodinium? hocneratum* (Fenton et al. 1980) (**MKL-110**: 2473 m, 2480 m)
- *Downiesphaeridium polytrichum* (Valensi 1947) Fauconnier & Masure 2004 (**MKL-110** : 2460 m, 2480 m ; 1713 m, 1803 m) (Planche 1)
-
-
-
- *Egmontodinium* sp. (**NDK-2**: 1654 m, 1685,38 m, 1701,94 m)
- *Ellipsoidictyum/Valensiella* (**MKL-110**: 2415 m, 2435 m, 2460 m, 2473 m, 2480 m ; **NDK-3**: 1769 m, 1771 m, 1772 m; **NDK-2**: 1654 m, 1685,38 m, 1689 m, 1701,94 m, 1708,63 m, 1709,50 m, 1709, 75 m, 1713 m, 1745 m, 1750 m, 1800 m, 1803 m).
- *Ellipsoidictyum cinctum* Klement 1960 (**NDK-2**: 1654 m, 1701, 94 m, 1709,75 m, 1745 m, 1800 m, 1803 m). (Planche 3)
- *Ellipsoidictyum* sp.1 (**NDK-2**: 1709,50 m) (Planche 3)
- *Endoscrinium galeritum* (Deflandre 1939a) Vozzhennikova 1967, emend. Riding & Fensome 2003 (**NDK-3**: 1769 m; **NDK-2**: 1701,94 m, 1713 m). (Planche 4)
- *Endoscrinium* sp. (**NDK-2**: 1701,94 m, 1709,75 m, 1713 m)
- *Epiplosphaera* sp. (**NDK-2**: 1654 m, 1685,38 m)
- *Escharisphaeridia* spp. (**MKL-110**: 2415 m, 2445 m, 2460 m, 2480m)
- *Gochteodinia* sp. (**NDK-2**: 1685,38 m, 1689 m)
- *Gochteodinia mutabilis* (Fisher & Riley 1980) (**NDK-2**: 1654 m)
- *Gonyaulacysta centriconnata* (Riding, 1983) (**NDK-2**: 1709,75 m, 1713 m, 1750 m) (Planche 4)
- *Gonyaulacysta eisenackii* (Deflandre 1938) Sarjeant 1982 (**MKL-110**: 2435 m, 2480 m) (Planche 4)
- *Gonyaulacysta jurassica* (Deflandre, 1939a) Norris and Sarjeant 1965 (**MKL-110**: 2415 m, 2460 m, 2473 m, 2480 m; **NDK-2**: 1654 m, 1685,38 m, 1708,63 m, 1713 m, 1745 m, 1800 m, 1803 m)
- *Gonyaulacysta jurassica* (**NDK-2**: 1709,75 m, 1713 m) (Planche 4)
- *Gonyaulacysta jurassica* subsp. *adecta* Sarjeant 1982b (**MKL-110**: 2473 m, 2480 m; **NDK-2**: 1713 m, 1800 m, 1803m) (Planche 4)

- *Gonyaulacysta jurassica* subsp. *jurassica* (Deflandre 1939) Sarjeant 1982(**NDK-3**: 1769 m, 1770 m, 1771 m).
- *Gonyaulacysta jurassica* subsp. *adecta* var. *longicornis* (Deflandre 1939a) Lentin & Williams, 1973 (**NDK-2**: 1709,50 m)
- *Gonyaulacysta pectinifera* (Gocht 1970) Fensome 1979 (**MKL-110** : 2460 m, 2480 m) (Planche 4)
- *Impletosphaeridium varispinosum* (Sarjeant 1959) Woollam & Riding 1983(**MKL-110**: 2480 m; **NDK-2**: 1803 m).(Planche 1)
- *Impletosphaeridium ehrenbergii* (Deflandre 1947c) Davey et al. 1969(**NDK-2**: 1654 m)
- *Kallosphaeridium* spp. (**NDK-3**: 1769 m, 1770 m, 1771 m)
- *Korystocysta gochtii* (Sarjeant 1976) Woollam 1983(**MKL-110**: 2415 m; **NDK-2**: 1701,94 m, 1701,63 m, 1709,75 m, 1713 m, 1800 m, 1803 m).(Planche 2)
- *Korystocysta kettonensis* (Sarjeant 1976a) Woollam 1983 (**NDK-2**: 1654 m, 1803m) (Planche 2)
- *Korystocysta* sp. (**NDK-2**: 1803 m)
- *Leptodinium subtile* Klement 1960 (**NDK-3**: 1769 m, 1770 m; **NDK-2**: 1709,75 m, 1713 m)
- *Leptodinium* spp. (**NDK-2**: 1709,75 m)
- *Liesbergia liesbergensis* Berger, 1986 (**NDK-2**: 1709,75 m, 1713 m)
- *Lithodinia jurassica* Eisenack 1935, emend. Eisenack & Klement 1964 (**MKL-110**: 2415 m; **NDK-3**: 1769 m, 1770 m)
- *Meiourogoniaulax caytonensis* (Sarjeant 1959) Sarjeant 1969 (**MKL-110**: 2445 m, 2480 m ; **NDK-2**: 1713 m, 1750 m, 1803 m) (Planche 3)
- *Meiourogoniaulax* spp.(**MKL-110**: 2415 m, 2435 m, 2480 m; **NDK-3**: 1770 m; **NDK-2**: 1685,38 m, 1689 m, 1701,94 m, 1709,75 m, 1713 m)
- *Milliodinium* spp. (**NDK-3**: 1769 m, 1770 m)
- *Nannoceratopsis pellucida* Deflandre 1939a, emend. Evitt 1961b (**MKL-110**: 2415 m; **NDK-2**: 1803 m) (Planche 3)
- *Pareodinia ceratophora* Deflandre 1947d, emend. Gocht 1970b (**MKL-110**: 2415 m, 2480 m; **NDK-2**: 1654 m, 1685,38 m, 1701,94 m, 1708,63 m, 1709,50 m, 1709,75 m, 1713 m, 1750 m, 1803 m) (Planche 3)
- *Perisseiasphaeridium pannosum* (Davey & Williams 1966b) (**NDK-2**: 1654 m, 1685,38 m)
- *Prolixosphaeridium anasillum* (Erkmen & Sarjeant 1980) (**NDK-2**: 1654 m, 1685,38 m, 1701,94 m)
- *Rhynchodiniopsis cladophora* (Deflandre 1939a) Below 1981, emend. Jan du Chêne *et al.* 1986a (**NDK-3**: 1769 m; **NDK-2**: 1701,94 m, 1709,75 m, 1713 m) (Planche 4)
- *Rhynchodiniopsis? regalis* (Gocht 1970b) Jan de Chêne *et al.* 1985 (**MKL-110**: 2480 m)
- *Scriniodinium crystallinum* (Deflandre 1939a) Klement 1960 (**NDK-3**: 1769 m, 1770 m; **NDK-2**: 1701,94 m, 1709,75 m, 1713 m) (Planche 4)
- *Scriniodinium* spp. (**NDK-3**: 1769 m, 1770 m, 1771 m)
- *Sentusidinium rioultii* (Sarjeant 1968) Sarjeant & Stover 1978 (**MKL-110**: 2415 m; **NDK-2**: 1750 m, 1803 m) (Planche 3)
- *Sentusidinium* sp.(**MKL-110**: 2415 m, 2473 m, 2480 m; **NDK-3**: 1770 m; **NDK-2**: 1654 m, 1685,38 m, 1701,94 m, 1708,63 m, 1709,50 m, 1709, 75 m, 1713 m, 1745 m, 1750 m, 1800 m, 1803 m).
- *Sirmiodiniopsis orbis* (Drugg 1978)(**NDK-2**: 1701,94 m, 1713 m)
- *Stephanelytron callovianum* (Piel 1985) Courtinat 1999(**MKL-110**: 2415 m)
- *Surculosphaeridium vestitum* (Deflandre 1939a) Davey *et al.* 1966, emend. Sarjeant 1960b (**NDK-2**: 1654 m, 1685,38 m, 1689 m, 1701,94 m) (Planche 1)
- *Systematophora areolata* Klement 1960 (**NDK-3**: 1769 m; **NDK-2**: 1654 m, 1685,38 m, 1701,94 m) (Planche 1)
- *Systematophora penicillata* (Ehrenberg 1843b *ex* Ehrenberg 1854) Sarjeant 1980a (**NDK-2**: 1654 m, 1685,38 m, 1701,94 m) (Planche 1)
- *Systematophora? daveyi* Riding & Thomas 1988 (**NDK-2**: 1654 m)
- *Systematophora* sp.
- *Trichodinium scarburghense* (Sarjeant 1964b) Berger 1986(**NDK-2**: 1713 m) (Planche 4)
- *Trichodinium* sp.(**NDK-2**: 1685,38 m)
- *Tubotuberella dangeardii* (Sarjeant 1968) Stover & Evitt 1978, emend. Sarjeant 1982 (**MKL-110**: 2415 m, 2473 m, 2480 m) (Planche 4)
- *Valensiella ovulum* (Deflandre 1947) Eisenack 1963) (**MKL-110**: 2415 m) (Planche 3)
- *Valensiella vermiculata* Gocht 1970b (**NDK-2**: 1713 m, 1803 m) (Planche 3)
- *Wallodinium krutzschii* (Alberti 1961) Habib 1972(**NDK-2**: 1685,38 m) (Planche 3)
- *Wanaea thysanota* Woollam 1982 (**NDK-2**: 1709,75 m, 1713 m, 1803 m) (Planche 2)

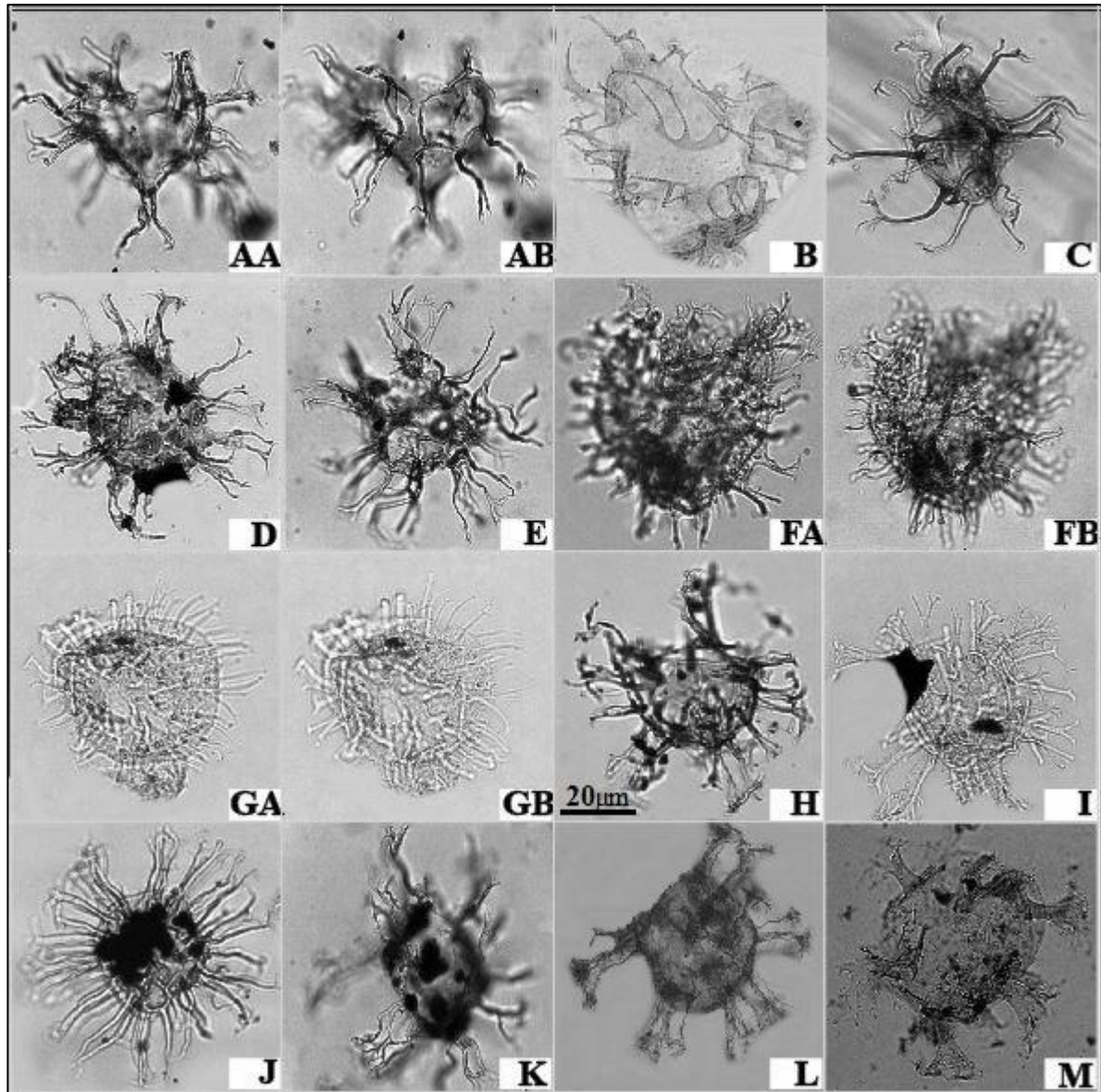


Planche 1 ($\times 1000$): Fig. A, B : *Systematophora areolata* Klement 1960 (AA-AB : Sondage: NDK-2, échantillon : 1701,94m ; B : Sondage: NDK-2, échantillon : 1654m) ; Fig. C : *Surculosphaeridium* sp. (Sondage: NDK-2, échantillon : 1654m) ; Fig. D-E : *Systematophora penicillata* (Ehrenberg 1843b ex Ehrenberg 1854) Sarjeant 1980a (Sondage: NDK-2, échantillon : 1701,94m) ; Fig. FA-FB : *Systematophora* sp. (Sondage: NDK-2, échantillon : 1803m) ; Fig. GA-GB : *Impletosphaeridium varispinosum* (Sarjeant 1959) Woollam & Riding 1983 (Sondage: MKL-110, échantillon : 2480m) ; Fig. H-I *Adnatosphaeridium caulleryi* (Deflandre 1939a) Williams & Downie 1969 (H: Sondage: NDK-2, échantillon : 1803m ; I: Sondage: NDK-2, échantillon : 1713m) ; Fig. J : *Downiesphaeridium polytrichum* ((Valensi 1947) Fauconnier & Masure 2004 (Sondage: NDK-2, échantillon : 1803m) ; Fig. K : *Surculosphaeridium vestitum* (Deflandre 1939a) Davey et al. 1966 (Sondage: NDK-2, échantillon : 1701,94m) ; Fig. L : *Compositosphaeridium polonicum* (Górka 1965) Lentin & Williams 1981) (Sondage: NDK-2, échantillon : 1709,75m) ; Fig. M : *Compositosphaeridium* sp. (Sondage: NDK-2, échantillon: 1654 m).

Plate 1 ($\times 1000$): Fig. A, B: *Systematophora areolata* Klement 1960 (AA-AB: borehole: NDK-2, sample: 1701,94m; B: Borehole: NDK-2 sample: 1654m); Fig. C: *Surculosphaeridium* sp. (borehole: NDK-2 sample: 1654m); Fig. D-E: *Systematophora penicillata* ((Ehrenberg 1843b ex Ehrenberg 1854) Sarjeant 1980a (borehole: NDK-2, sample: 1701,94m); Fig. FA-FB: *Systematophora* sp (borehole: NDK-2 sample. 1803 m); Fig. GA-GB: *Impletosphaeridium varispinosum* (Sarjeant 1959) Woollam & Riding 1983 (Borehole: MKL-110, sample: 2480 m); Fig H-I *Adnatosphaeridium caulleryi* (Deflandre 1939a) Williams & Downie 1969 (H: borehole: NDK-2, sample: 1803m; I: borehole: NDK-2, sample: 1713m); Fig J: *Downiesphaeridium polytrichum* ((Valensi 1947) Fauconnier & Masure 2004 (borehole: NDK-2 sample: 1803m); Fig K: *Surculosphaeridium vestitum* (Deflandre 1939a), Davey et al. 1966 (borehole: NDK-2 sample: 1701,94m); Fig. L *Compositosphaeridium polonicum* (Górka 1965) Lentin & Williams 1981) (Borehole: NDK-2 sample: 1709,75m); Fig. M: *Compositosphaeridium* sp. (Borehole: NDK-2, sample: 1654 m).

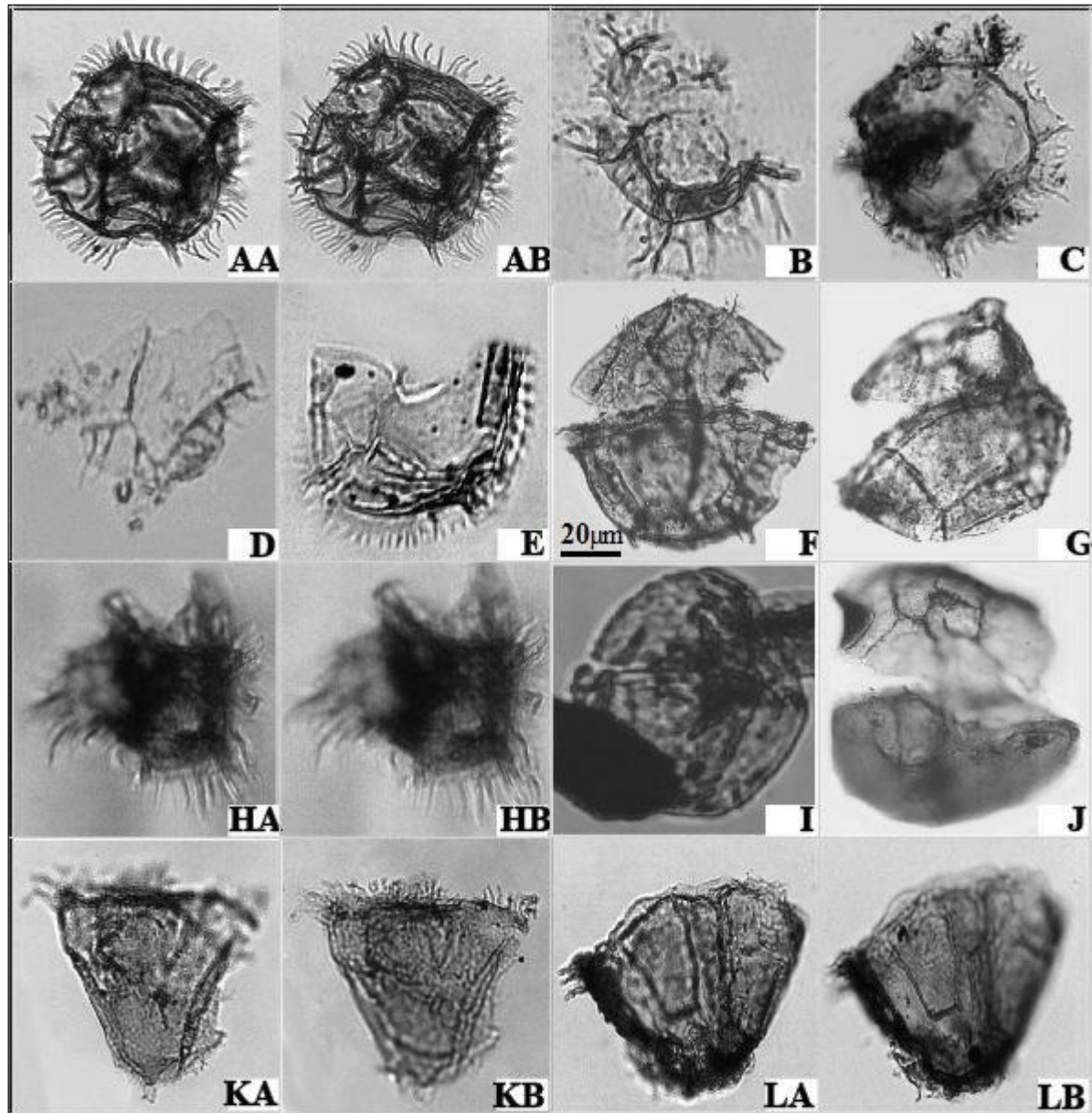


Planche 2 ($\times 1000$) : Fig. AA-AB: *Ctenidodinium cornigerum* (Valensi 1953) Jan du Chêne *et al.* 1985 (Sondage: NDK-2, échantillon : 1803m) ; Fig. B-C : *Ctenidodinium combazii* Dupin 1968 (B : Sondage: MKL-110, échantillon : 2480m ; C: Sondage: MKL-110, échantillon : 2415m) ; Fig. D : *Dichadogonyaulax* sp. (Sondage: NDK-2, échantillon : 1654m) ; Fig. E : *Ctenidodinium. continuum* Gocht 1970b (Sondage: NDK-2, échantillon: 1713m); Fig. F-G : *Dichadogonyaulax sellwoodii* (Sarjeant 1975) Stover & Evitt 1978 (F: Sondage: MKL-110, échantillon: 2480m ; G: Sondage: NDK-2, échantillon: 1803m). Fig. HA-HB : *Ctenidodinium ornatum* (Eisenack 1935) Deflandre 1939a (Sondage: NDK-2, échantillon: 1709,75m) ; Fig. I : *Bradleyella adela* (Fenton *et al.* 1980) Woollam 1983 (Sondage: MKL-110, échantillon: 2415m) ; Fig. J : *Korystocysta kettonensis* (Sarjeant 1976a) Woollam 1983 (Sondage: NDK-2, échantillon: 1708,63m) ; Fig. KA-KB: *Wanaea thysanota* Woollam 1982 (Sondage: NDK-2, échantillon: 1803m) ; Fig. LA-LB: *Korystocysta gochtii* (Sarjeant 1976) Woollam 1983 (Sondage: NDK-2, échantillon: 1803m).

Plate 2 ($\times 1000$) : Fig. AA-AB: *Ctenidodinium cornigerum* ((Valensi 1953) Jan Du Chene *et al.* 1985) ((Borehole: NDK-2 sample: 1803m) ; Fig B-C. *Ctenidodinium combazii* Dupin, 1968 (B: Borehole : MKL-110, sample: 2480 m ; C: Borehole: MKL-110 sample: 2415 m) ; Fig D: *Dichadogonyaulax* sp.(Borehole : NDK-2, sample: 1654 m) ; Fig E: *Ctenidodinium continuum* Gocht 1970b (Borehole: NDK-2 sample: 1713 m) ; Fig F-G. *Dichadogonyaulax sellwoodii* (Sarjeant 1975). Stover & Evitt 1978 (F: Borehole: MKL-110, sample: 2480 m ; G: Borehole: NDK-2 sample: 1803m) ; Fig. HA-HB: *Ctenidodinium ornatum* (Eisenack 1935) Deflandre 1939a (Borehole: NDK-2, sample: 1709,75 m) ; Fig. I: *Bradleyella adela* (Fenton *et al.* 1980) Woollam. 1983 (Borehole: MKL-110, sample: 2415m) ; Fig J: *Korystocysta kettonensis* (Sarjeant 1976a) Woollam 1983 (Borehole: NDK-2, sample: 1708,63 m) ; Fig.KA-KB: *Wanaea thysanota* Woollam 1982 (Borehole: NDK-2 sample: 1803m). Fig. LA-LB: *Korystocysta gochtii* (Sarjeant 1976) Woollam 1983 (Borehole: NDK-2, sample: 1803m)

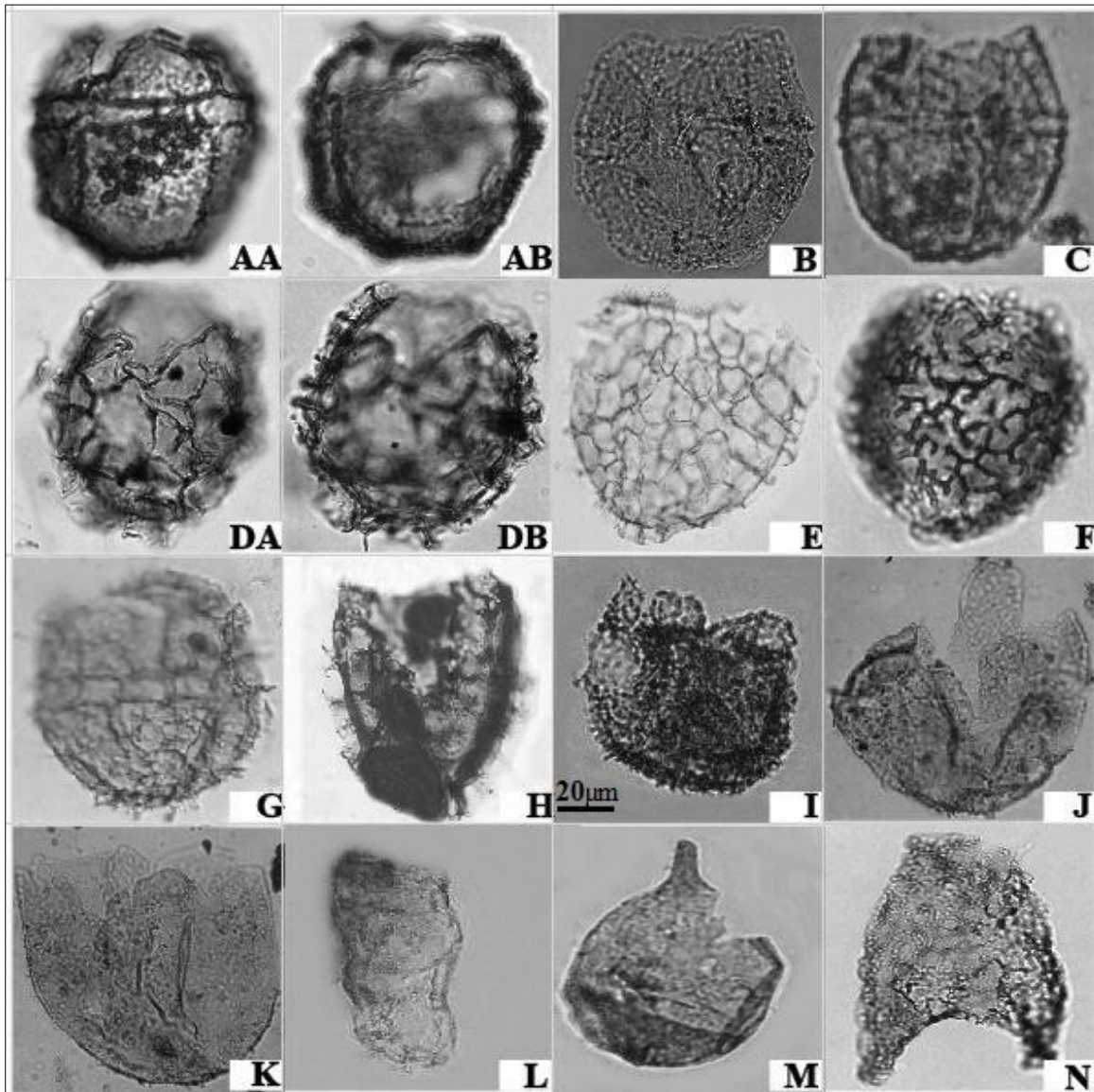


Planche 3 ($\times 1000$) : Fig. AA-AB : *Meiourogoniaulax* sp. (Sarjeant 1968) (Sondage: NDK-2, échantillon: 1803m) ; Fig. B : *Meiourogoniaulax caytonensis* (Sarjeant 1959) Sarjeant 1969 (Sondage: MKL-110, échantillon: 2435m) ; Fig. C : *Lithodinia jurassica* Eisenack 1935 (Sondage: MKL-110, échantillon: 2415m) ; Fig. DA-DB : *Ellipsoidictyum* sp.1 (Sondage: NDK-2, échantillon: 1701,94m) ; Fig. E : *Valensiella ovulum* (Deflandre 1947) Eisenack 1963 (Sondage: MKL-110, échantillon: 2415m) ; Fig. F : *Valensiella vermiculata* Gocht 1970b (Sondage: NDK-2, échantillon: 1803m) ; Fig. G : *Ellipsoidictyum cinctum* Klement 1960 (Sondage: NDK-2, échantillon: 1803m) ; Fig. H : *Amphorulacysta? expirata* (Davey 1982b) Williams & Fensome 2016 (Sondage: NDK-2, échantillon: 1685,38m) ; Fig. I : *Sentusidinium rioultii*. (Sarjeant 1968) Sarjeant & Stover 1978 (Sondage: NDK-2, échantillon: 1803m). ; Fig. J-K : *Sentusidinium* spp. (J: Sondage: NDK-2, échantillon: 1685,38m ; K: Sondage: NDK-2, échantillon: 1701, 94m). ; Fig. L : *Wallodinium krutzschii* (Alberti 1961) Habib 1972 (Sondage: NDK-2, échantillon: 1654m) ; Fig. M : *Pareodiniacera tophora* Deflandre 1947d (Sondage: MKL-110, échantillon: 2415m) ; Fig. N : *Nannoceratopsis pellucida* Deflandre 1939a (Sondage: MKL-110, échantillon: 2415m).

Plate 3 ($\times 1000$): Fig. AA-AB: *Meiourogoniaulax* sp. (Sarjeant 1968) (Borehole: NDK-2, sample: 1803 m); Fig. B: *Meiourogoniaulax caytonensis* (Sarjeant 1959) Sarjeant 1969 (Borehole: MKL-110, sample: 2435 m); Fig. C: *Lithodinia jurassica* Eisenack 1935 (Borehole: MKL-110, sample: 2415 m); Fig. DA-DB: *Ellipsoidictyum* sp.1. (Borehole: NDK-2, sample: 1701,94 m); Fig. E: *Valensiella ovulum* (Deflandre 1947) Eisenack 1963 (Borehole : MKL-110, sample: 2415 m); Fig. F: *Valensiella vermiculata* Gocht 1970b (Borehole: NDK-2, sample: 1803 m); Fig. G: *Ellipsoidictyum cinctum* Klement 1960 (Borehole: NDK-2, sample: 1803m); Fig. H: *Amphorulacysta? expirata* (Davey 1982b) Williams & Fensome 2016 (Borehole : NDK-2, sample: 1685,38m); Fig. I: *Sentusidinium rioultii*. (Sarjeant 1968) Sarjeant & Stover 1978 (Borehole: NDK-2, sample: 1803m); Fig. J-K: *Sentusidinium* spp. (J: Borehole: NDK-2, sample: 1685,38m; K: Borehole: NDK-2, sample: 1701,94 m) ; Fig. L: *Wallodinium krutzschii* (Alberti 1961) Habib 1972 (Borehole: NDK-2, sample: 1654m); Fig. M: *Pareodinia Ceratophora* Deflandre 1947 (Borehole: MKL-110, sample: 2415m); Fig. N: *Nannoceratopsis pellucida* Deflandre 1939a (Borehole: MKL-110, sample: 2415m).

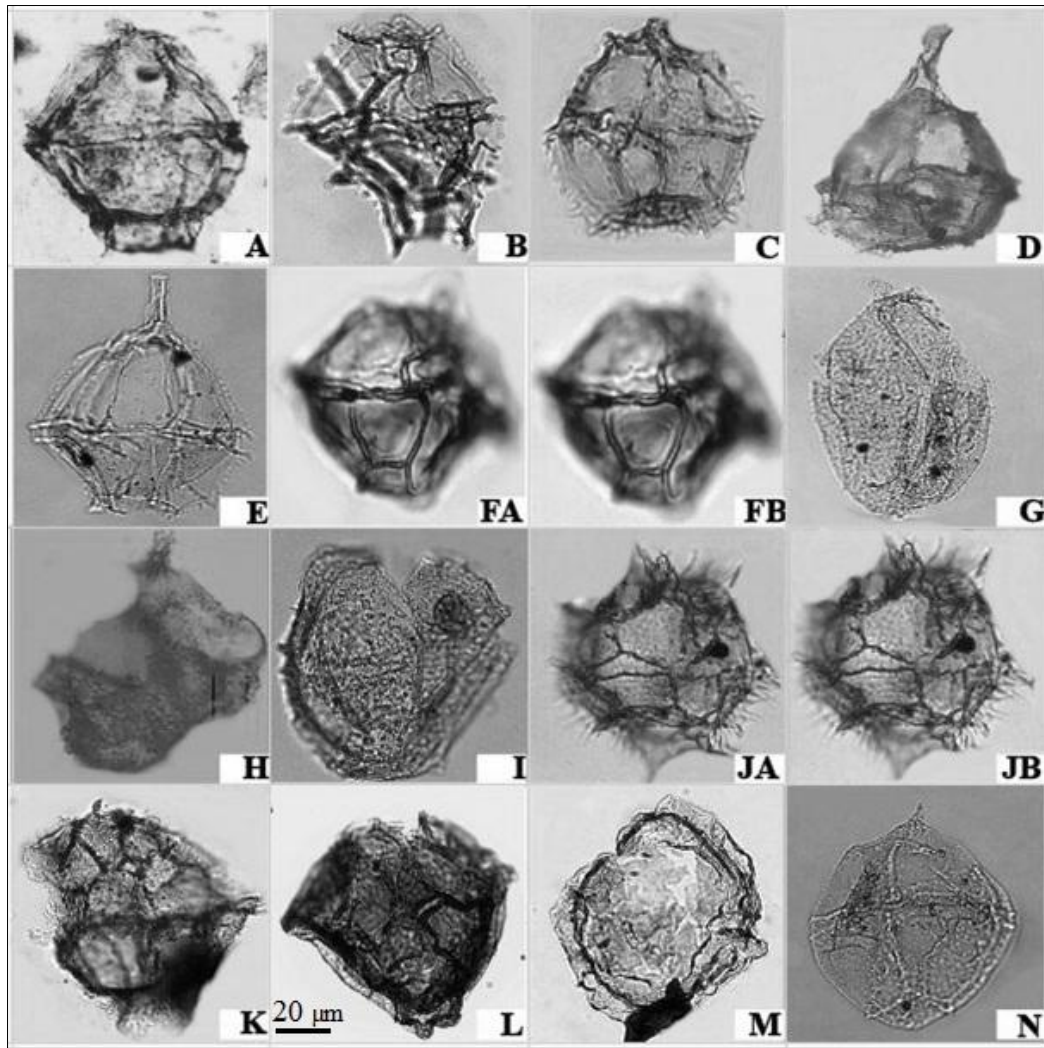


Planche 4 ($\times 1000$) : Fig. A: *Tubotuberella dangeardii* (Sarjeant 1968) Stover & Evitt 1978 (Sondage: MKL-110, échantillon: 2415m) ; Fig. B : *Gonyaulacysta eisenackii* (Deflandre 1938) Sarjeant 1982 (Sondage: NDK-2, échantillon: 1803m) ; Fig. C : *Gonyaulacysta pectinigera* (Gocht 1970) Fensome 1979 (Sondage: MKL-110, échantillon: 2460m) ; Fig. D : *Gonyaulacysta jurassica* subsp. *adecta* Sarjeant 1982b (Sondage: MKL-110, échantillon: 2480m) ; Fig. E : *Gonyaulacysta jurassica* subsp. *jurassica* (Deflandre 1939) Sarjeant 1982 (Sondage: NDK-2, échantillon: 1713m) ; Fig. FA-FB : *Gonyaulacysta centriconnata* Riding 1983 (Sondage: NDK-2, échantillon: 1803m) ; Fig. G : *Trichodinium scarburghense* (Sarjeant 1964b) Berger 1986 (Sondage: NDK-2, échantillon: 1713m) ; Fig. H-I : *Trichodinium scarburghense* (Sarjeant 1964b) Berger 1986 (H: Sondage: NDK-2, échantillon: 1713m ; I : Sondage: NDK-2, échantillon: 1803m) ; Fig. JA-JB : *Rhynchodiniopsis cladophora* (Deflandre 1939a) Below 1981 (Sondage: MKL-110, échantillon: 2480m) ; Fig. K : *Rhynchodiniopsis cladophora* (Deflandre 1939a) Below 1981 (Sondage: NDK-2, échantillon: 1701,94m) ; Fig. L : *Endoscrinium galeritum* (Deflandre 1939a) Vozzhennikova 1967 (Sondage: NDK-2, échantillon: 1713m) ; Fig. M : *Scriniodinium crystallinum* (Deflandre 1939a) Klement 1960 (Sondage: NDK-2, échantillon: 1701,94m) ; Fig. N : *Cribroperidinium* sp. (Gitmez & Sarjeant 1972) Helenes 1984 (Sondage: NDK-2, échantillon: 1654m).

Plate 4 ($\times 1000$) : Fig. A: *Tubotuberella dangeardii* (Sarjeant 1968) Stover & Evitt 1978 (Borehole : MKL-110, sample: 2415 m) ; Fig. B : *Gonyaulacysta eisenackii* (Deflandre 1938) Sarjeant 1982 (Borehole: NDK-2, sample: 1803 m) ; Fig. C : *Gonyaulacysta pectinigera* (Gocht 1970) Fensome 1979 (Borehole: MKL-110, sample: 2460 m) ; Fig. D : *Gonyaulacysta jurassica* subsp. *adecta* Sarjeant 1982b (Borehole: MKL-110, sample: 2480m) ; Fig. E : *Gonyaulacysta jurassica* subsp. *jurassica* (Deflandre 1939) Sarjeant 1982 (Borehole: NDK-2, sample: 1713m) ; Fig. FA-FB : *Gonyaulacysta centriconnata* Riding, 1983 (Borehole: NDK-2, sample: 1803m) ; Fig. G : *Trichodinium scarburghense* (Sarjeant 1964b) Berger 1986 (Borehole: NDK-2, sample: 1713m) ; Fig. H-I : *Trichodinium scarburghense* (Sarjeant 1964b) Berger 1986 (H: Borehole: NDK-2, sample: 1713m ; I: Borehole: NDK-2, sample: 1803m) ; Fig. JA-JB : *Rhynchodiniopsis cladophora* (Deflandre 1939a) Below 1981 (Borehole: MKL-110, sample: 2480m) ; Fig. K : *Rhynchodiniopsis cladophora* (Deflandre 1939a) Below 1981 (Borehole: NDK-2 sample: 1701,94m) ; Fig. L : *Endoscrinium galeritum* (Deflandre 1939a) Vozzhennikova 1967 (Borehole : NDK-2, sample: 1713m) ; Fig. M. : *Scriniodinium crystallinum* (Deflandre 1939a) Klement 1960 (Borehole: NDK-2, sample. 1701,94m) ; Fig N : *Cribroperidinium* sp. (Gitmez & Sarjeant 1972) Helenes 1984 (Borehole: NDK-2 sample: 1654m).