

Etude des kystes de dinoflagellés des sédiments de surface du système lagunaire atlantique marocain Oualidia - Sidi Moussa et de la lagune méditerranéenne de Nador

Dinoflagellate cyst study of surface sediments from the Moroccan Atlantic lagoon system Oualidia - Sidi Moussa and the Mediterranean lagoon of Nador

Lamia DAGHOR^{1*}, Touria HSSAÏDA¹, Sara CHAKIR¹, Hamid SLIMANI⁴, Mustapha MOUFLIH¹, Naima HAMOUMI⁵, Faïd EL MADANI², Btissam ENNAFAH³, Mohammed FRAIKECH³
& Keltoum EL BOUHADI¹

1. Faculté des Sciences Ben M'sik, Université Hassan II de Casablanca, B.P. 7955, Sidi Othmane, Casablanca, Maroc
(*l.daghor@gmail.com).
2. Institut National de Recherche Halieutique (INRH), 13 boulevard zerktouni, quartier centre ville, Centre Régional de Nador, Maroc.
3. Institut National de Recherche Halieutique (INRH), Route Sidi Abderrahmane Club équestre Ould Jmel 20050, Casablanca, Maroc.
4. Institut Scientifique, Mohammed V University of Rabat, Avenue Ibn Batouta, B.P. 703, Agdal, 10106 Rabat, Maroc.
5. Faculté des Sciences, Mohammed V University of Rabat, Avenue Ibn Batouta, B.P.1014, Agdal, 10106 Rabat, Maroc.

Résumé. Cette étude palynologique, fondée sur l'analyse qualitative et quantitative de kystes de dinoflagellés, vise à comparer les conditions environnementales entre deux lagunes situées sur le littoral atlantique marocain (le complexe lagunaire Oualidia / Sidi Moussa) et une troisième située sur la côte sud méditerranéenne marocaine (la lagune de Nador). Le système lagunaire atlantique se différencie de la bordure méditerranéenne par le climat, l'hydrodynamisme et la géomorphologie. Cette différence est confirmée dans cette étude par les associations phytoplanctoniques peuplant ces lagunes. Le palynofaciès au niveau des lagunes du littoral atlantique est riche, diversifié et dominé par les kystes de dinoflagellés notamment *Lingulodinium machaerophorum*, par contre au niveau de la lagune de Nador, les kystes de dinoflagellés sont rares et la fraction amorphe domine avec la présence de la pyrite, témoignant d'une intense activité bactérienne. Les forts pourcentages de kystes de *Lingulodinium machaerophorum* dans les lagunes atlantiques et d'*Alexandrium minutum* dans la lagune méditerranéenne de Nador prouvent que ces lagunes peuvent constituer des sources d'ensemencement qui sont à l'origine des efflorescences répétitives de ces espèces. Ce travail entre dans le cadre du suivi du réseau de surveillance de la salubrité du littoral (RSSL), le long des côtes marocaines par l'Institut National de Recherche Halieutique.

Mots-clés : Kystes de dinoflagellés, palynofaciès, lagune de Oualidia, lagune de Sidi Moussa, lagune de Nador, efflorescence.

Abstract. This palynological study, based mainly on the qualitative and quantitative analysis of dinoflagellate cysts, aims to compare the environmental conditions between two lagoons located on the Moroccan Atlantic coast (the Oualidia / Sidi Moussa lagoon complex) and a third one on the Moroccan southern Mediterranean coast (Nador lagoon). The Atlantic lagoon system differs from the Mediterranean lagoon by: climate, hydrodynamics and geomorphology. Based on phytoplankton associations in these lagoons, this difference is confirmed in this study. The palynofacies from the Atlantic lagoons is very rich and diversified, and dominated by dinoflagellate cysts, especially *Lingulodinium machaerophorum*. However, in the Mediterranean coast at Nador lagoon, the dinoflagellate cysts are rare and the amorphous fraction dominates with the presence of pyrite, testifying a high bacterial activity. The high percentages of *Lingulodinium machaerophorum* cysts in the Atlantic lagoons and *Alexandrium minutum* in the Nador lagoon prove that these lagoons can serve as sources of seeding, which probably were behind the repetitive efflorescence of these species. This work is part of a monitoring program of the safety of coastal surveillance network (RSSL) along the Moroccan coasts by the National Institute of Fisheries Research.

Keywords : Dinoflagellate cysts, palynofacies, Oualidia lagoon, Sidi Moussa lagoon, Nador lagoon, efflorescence.

Abridged English version

Introduction

In this work, we present the dinoflagellate cyst distribution and palynofacies types in surface sediments (Spring 2013) from the Moroccan Atlantic (Oualidia, Sidi Moussa) and Mediterranean (Nador) lagoons, in order to compare the environmental conditions and to deduce the relationship with frequent blooms in these lagoons. The study areas were selected, taking in consideration the marine

influence and fresh water resurgences, in addition, the sites are accessible and available for sampling. The samples were collected from surface sediments (Spring 2013) in 10 sites: in the Oualidia lagoon (Parc 7, Parc 1 and APM), the Sidi Moussa lagoon (points 0, 1, 2, 3 and 4) and the Nador lagoon (Points 1 and 2) (Figures 1, 3, 4).

Material and methods

The protocol used for the palynological analysis corresponds to an optimized extraction of the organic matter

(<250 microns) from the sedimentary fraction. The preparation techniques were performed using the classical method detailed by De Vernal *et al.* (1999) and Rochon *et al.* (1999). The palynological residue was mounted on microscopic slides. The counting was performed under transmitted light microscope and presented as relative abundances.

Palynofacies

The palynological analysis of surface sediment from the three lagoons revealed two palynofacies types (Figures 6–8):

- The palynofacies in both Atlantic lagoons (Oualidia, Sidi Moussa) is rich and diverse and consists mainly of dinoflagellate cysts, spores and pollen, foraminiferal linings and algae, mainly indigenous green algae (Tabs. 1, 2). The organic matter is presented by green algae debris and non-degraded indigenous amorphous organic matter. The dinoflagellate cysts dominate with percentages ranging from 69.7% (parc 1, Oualidia) to 90.47% (point 1, Sidi Moussa) (Tabs. 1, 2). The relative abundance of foraminiferal linings decrease from the channel to the bottom of Oualidia lagoon (19.5%, 17.3% and 6.3%). However in the Sidi Moussa lagoon, the highest abundances are recorded at the points P0 (19, 04%) and P2 (14, 28%) (Tabs.1, 2; Fig. 6). For the other elements, they do not exceed 8% in the Oualidia lagoon and 6.1% in the Sidi Moussa lagoon (Tabs. 1, 2; Fig.7). This could be related to a restricted environment with low salinity and abundance of nutrients and with proximity to a terrestrial source, which is confirmed by the dinoflagellate cyst association, dominated by heterotrophic dinoflagellates Protoperidiniaceae (Candel *et al.* 2012).

- The palynofacies in the Nador lagoon is poor, and dominated by an amorphous organic matter with the presence of pyrite fragments. The palynomorphes are rare, and represented by some pollen and dinoflagellate cysts (Fig. 8). The presence of pyrite in this amorphous organic matter shows a very intense bacterial activity in an anoxic environment (Boussafir & Boussafir 2014).

Dinoflagellate cysts

The palynological study of surface sediments, collected in the three lagoons showed a modest richness in dinoflagellate cysts, which may be related to several factors such as: ethological, trophical, physical and sedimentological factors, in addition to the very intense bacterial activity at the Nador lagoon, indicated by the presence of pyrite in the organic matter (Bloundi 2005).

In the Sidi Moussa lagoon, dinoflagellate cysts were collected in P3 (218 cysts) and P4 (338 cysts), where the silty fraction is less than 63 μm , unlike other points (P0, P1), where the size is greater than 63 μm fractions. The dinoflagellate cysts richness appears to have a relationship with sediment grain size.

In general, the qualitative analysis of dinoflagellate cysts, at both Atlantic lagoons, showed that the assemblages are dominated by *Lingulodinium machaerophorum* (cyst of the *Lingulodinium polyedrum* species), varying between 70.83 % and 90.47% in the Sidi Moussa lagoon and between 69.07% and 73.05% in the Oualidia lagoon. However, this

species represents a modest presence in the lagoon of Nador (P1: 68%, P2: 88%) (Tabs. 1, 2, 3).

Two autotrophic dinoflagellate cysts are associated to *Lingulodinium machaerophorum*: *Spiniferites ramosus* and *Operculodinium centrocarpum*, which do not exceed 12% in the Oualidia Lagoon, and 31% in the Sidi Moussa lagoon. In the Nador lagoon, *Operculodinium centrocarpum* was not listed; on the other hand, the *Spiniferites* sp. is well presented and dominates other taxa with a percentage of 18.75%. These autotrophic species are accompanied with an association of dinoflagellate cysts belonging to the family of Peridiniaceae, which are heterotrophic (Tab. 4): *Selenopemphix quanta*, *Votadinium* sp., *Quinquecuspis concreta*, *Trinovantedinium* sp., *Lejeunecysta* sp. Also, the Family of Polykrikaceae represented by *Polykrikos* spp. was observed. The heterotrophic cysts dominate in both Atlantic lagoons; they are well represented with rates exceeding 42% at point 4 in the Sidi Moussa lagoon (Tab. 5, Fig. 9). The presence of heterotrophic Protoperidinales cysts is related to the spring bloom of diatoms that are prey of heterotrophic dinoflagellates (Jacobson & Anderson 1986, Gaines & Elbrachter 1986). This dominance could be due to eutrophication. In fact, in the port of Yokohama (Japan), the dominance of heterotrophic cysts was interpreted as indication of eutrophication (Matsuoka 1999). These results have been confirmed by a study on the vegetative forms at both Atlantic lagoons, which shows a proliferation of the dinoflagellate species *Protoperidinium quinquecorne*, recorded in July 2013 at Sidi Moussa lagoon (point 3 and 4). This bloom was well correlated with elevated concentrations of nitrites and orthophosphates. The same synthesis was developed by Shamsudin *et al.* (1996), who noted that *Protoperidinium quinquecorne* proliferates in environments rich in nutrients.

In the Nador lagoon, one representative of heterotrophic dinoflagellates (*Alexandrium* spp.) was recorded. The other species were not found, which does not mean necessary their absence in the lagoon. Indeed, the sampling points in this lagoon are located in the most polluted stations (heavy metals, eutrophication, Phosphorus, anoxia) (Bloundi 2005). Dinoflagellate cysts in such environments are not preserved and not germinated (Anderson *et al.* 1987). This infirm the hypothesis of cysts (benthic phase) such as bloom generators, especially for the *Alexandrium* genus.

Conclusion

The comparative palynological study of two Moroccan Atlantic lagoons (Oualidia and Sidi Moussa) and the Moroccan southern Mediterranean lagoon of Nador is based on palynofacies and dinoflagellate cyst analysis. The palynofacies analysis shows a rich organic residue in indigenous algal organic matter with spores, pollen, foraminifera linings and a clear dominance of dinoflagellate cysts in the Atlantic lagoons. While, the organic residue from the Nador lagoon is dominated by degraded amorphous organic matter, rich in pyrite with rare palynomorphes.

The dinoflagellate cyst analysis shows a dominance of the species *Lingulodinium machaerophorum* in both Atlantic lagoons, this species characterizes restricted environments. The fact that this species is rare in the sediments from the

Nador lagoon, demonstrates the quality of this anoxic environment. The few cysts found in this lagoon, are represented by the *Spiniferites* and *Alexandrium* genera. This latter shows frequent blooms in the waters of the lagoon of Nador (up to two times a year), however, cysts of this species are rare in sediments and therefore frequent blooms cannot be the result of their germination.

Heterotrophic cysts dominate autotrophic ones during this period of study in the two Atlantic lagoons, with a proliferation of the *Protoperdinium quinquecorne* species. A very good correlation was demonstrated between nutrients (orthophosphate) and the *Protoperdinium quinquecorne* species (Daghor *et al.*, 2015), reflecting an eutrophication of this environment. Finally, the palynological quantitative and qualitative analysis of surface sediments of the three lagoons revealed an anoxic degraded (rich in pyrite) and polluted environment in the Mediterranean lagoon of Nador and an eutrophic environment in the Atlantic lagoons of Oualidia and Sidi Moussa.

INTRODUCTION

Les dinoflagellés constituent l'un des trois groupes majeurs du phytoplancton marin (avec les coccolithophores et les diatomées). Ce sont des protistes appartenant à la division des Dinoflagellata (ou Pyrrophyta), classe des Dinophyceae. Leur mode de nutrition est autotrophe ou hétérotrophe et parfois mixotrophe. Certains dinoflagellés ont la particularité de produire, durant leur cycle biologique, des kystes qui constituent un stade de dormance suite à la reproduction sexuée (Wall & Dale 1968, Taylor & Pollinghe, 1987). Ces kystes sont constitués d'une membrane organique (sporopollinique) extrêmement résistante et fossilisable. Ils présentent un intérêt particulier en micropaléontologie, spécialement en biostratigraphie. Pour les sédiments quaternaires et actuels, les kystes de dinoflagellés présentent un grand intérêt écologique (William 1971, Ried 1974, 1975, Whitaker 1984, Boulter & Riddick 1986, Vander der Zwan 1990).

La distribution latitudinale des kystes de dinoflagellés dans les sédiments marins est liée à la température des eaux de surface (Wall *et al.* 1977, Harland 1983, Edwards & Andrieu 1992), alors que leur distribution de la côte vers le large est fonction d'autres facteurs tels que la salinité, l'hydrodynamisme et les sels minéraux.

Les dinoflagellés peuvent être considérés comme des espèces sentinelles de la qualité de nos côtes, car ils répondent rapidement aux changements de l'écosystème grâce à leur cycle de vie très rapide. Par la distribution de leurs kystes dans les sédiments actuels, nous nous attachons à comprendre comment les communautés phytoplanctoniques se comportent sous diverses pressions environnementales (aménagement de l'écosystème côtier, changement climatique,...). En effet, au cours du siècle passé, l'intensification des pratiques agricoles a engendré une augmentation considérable des concentrations en azote et phosphore dans les bassins versants, ce qui a entraîné des apports en nutriment déséquilibrés en zone côtière, et surtout dans les milieux restreints comme les lagunes. Cette augmentation des apports (eutrophisation) s'est traduite par une augmentation de la biomasse phytoplanctonique (Diaz *et*

al. 2008), et a été associée à des déséquilibres trophiques (dystrophie), d'où un changement de la structure des communautés (Philippart *et al.* 2000).

Dans ce travail, nous présentons les résultats de l'analyse du palynofaciès et de la distribution des kystes de dinoflagellés dans les sédiments de surface (printemps 2013) des lagunes de Oualidia, Sidi Moussa et Nador afin de comparer les associations de kystes de dinoflagellés contenues dans ces sédiments et en déduire leurs relations probables avec les blooms fréquents dans ces lagunes.

CADRE GENERAL DES ZONES D'ETUDE

Cadre géologique du secteur atlantique

Les deux lagunes atlantiques et leurs bassins versants font partie d'une vaste zone côtière naturelle appelée « sahel » qui appartient à la grande unité structurale, la Meseta marocaine occidentale. La Meseta occidentale comporte des séries sédimentaires du Primaire (socle) jusqu'au Miocène sur lesquelles on trouve des dépôts transgressifs plio-quaternaires (Maanan 2003). La lithologie des formations plio-quaternaires est variable avec des faciès imbriqués : calcaires gréseux, calcaires détritiques, marnes schisteuses. Les lapiés sont abondants sur les crêtes dunaires dénudées par l'érosion et les dolines alignées ou en grappes sont nombreuses.

Du côté continental, les puissantes formations de calcarénites plio-quaternaires culminent à une altitude de 10 m (Fig. 2). La mise en place de ces cordons dunaires anciens a été favorisée par les alizés NE plus puissants que ceux qui soufflent actuellement sur les côtes marocaines. Du côté littoral, les dunes vives qui se constituent actuellement en parallèle au rivage, sont dépendantes des vents dominants N-NE (Carruesco 1989).

La lagune de Oualidia

Cadre géographique

La zone étudiée se présente sous forme d'un bras de mer authentique, allongé parallèlement à la côte atlantique marocaine, dont le grand axe est orienté NE-SW. Située à une distance de 79 km au sud d'El Jadida et 64 km au nord de Safi (Fig. 1). Ses coordonnées géographiques sont : 32°47'07''N, 9°02'50''W et 32°40'42''N, 8°52'30''W. La superficie totale de la lagune est estimée à 4 km². Sa longueur est de 7 km, sa largeur est de 0,5 km. En moyenne, les profondeurs maximales et minimales sont respectivement de 5 m et 1,5 m. Cette lagune, séparée de l'Océan atlantique par un cordon de dunes consolidées (Fig. 1), communique avec ce dernier à travers deux passes. Elle n'est l'exutoire d'aucun fleuve.

Cadre morphologique actuel de la lagune.

Trois unités morphologiques peuvent être distinguées dans la lagune (Carruesco 1989) :

1. Les passes

Deux passes inégales à travers le cordon littoral permettent le remplissage et la vidange de la lagune par les

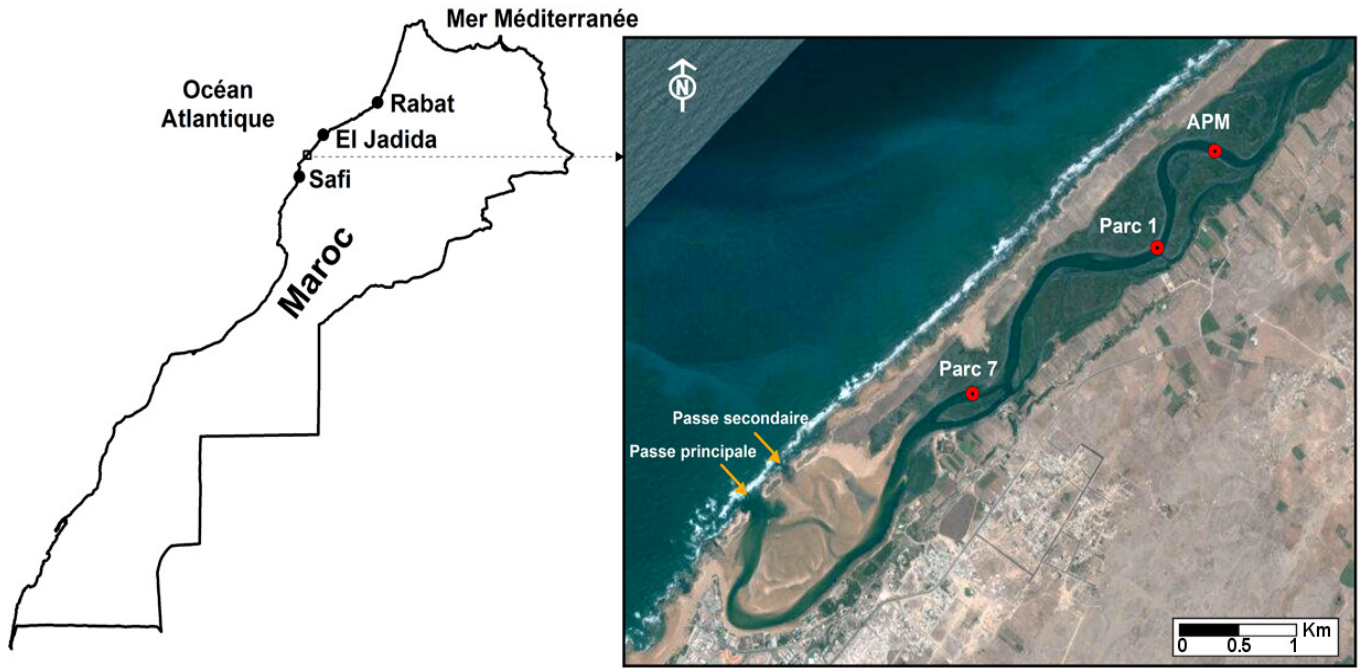


Figure 1. Situation géographique de la lagune de Oualidia avec les sites d'échantillonnage. (Images GeoEye de Google Earth, 2014).

Figure 1. Geographical location of the Oualidia lagoon with sampling sites. (Images GeoEye de Google Earth, 2014).

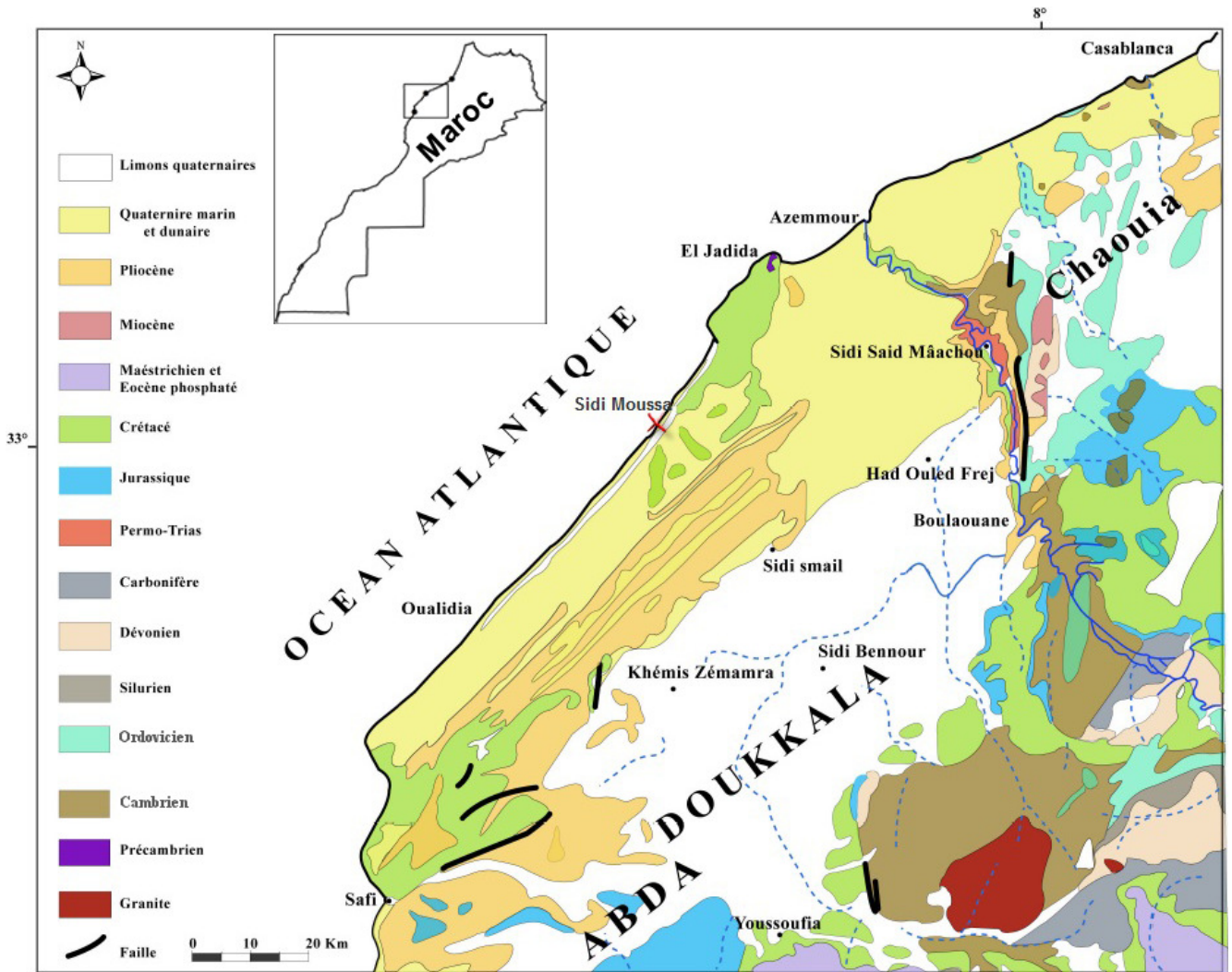


Figure 2. Carte géologiques simplifiée de la région de Oualidia, d'après la carte géologique du Maroc au 1/1000.000.

Figure 2. Simplified geological map of the Oualidia region, from the geological map of Morocco 1/1000.000.

flux de marées. La passe principale au sud est permanente, alors que la passe secondaire au nord n'est active pleinement qu'en période de haute mer de vives eaux.

2. Les chenaux et la zone intertidale

Un chenal principal (6,5 km de longueur), dont les trois quarts restent immergés à basse mer, est doublé parfois d'un chenal secondaire. Il se greffe à un réseau de chenaux dendritiques très étroits, qui peuvent être envahis à marée haute. Au niveau de la zone intertidale, on trouve un développement restreint de slikkes qui occupent essentiellement la laisse de la basse mer dans le chenal principal et des schorres qui sont très bien développés dans toute la lagune et envahis par une végétation halophile (*Salicornes*) (Carruesco 1989).

3. les marais salants

Une digue a été construite en 1945 à l'extrémité amont du chenal principal. Cette digue est munie d'un système d'écluses rudimentaires qui, ouvertes à marée haute, permettent au flot de remplir un bassin de décantation de 0,5 km de long. L'eau piégée au jusant y'est exploitée pour l'obtention du sel par évaporation.

La lagune de Sidi Moussa

Cadre géographique

La lagune de Sidi Moussa fait partie du même complexe côtier de Oualidia, une des plus importantes zones humides marocaines. Elle est située à environ 15 km au sud du parc industriel de Jorf Lasfer, et à 41 km au sud d'El Jadida (Fig. 3). Ses coordonnées géographiques sont comprises entre 32°57' et 32°59' de latitude Nord et entre 8°45' et 8°47' de longitude Ouest (El Khalidi *et al.* 2011).

Cadre morphologique actuel de la lagune.

De point de vue morphologique, on distingue la présence des trois domaines suivants:

1. Les passes

Deux passes inégales existent à l'extrémité aval de la lagune : la passe principale au sud (environ 150 à 200 m de large) et la passe secondaire (temporaire) située un peu vers le Nord de la première (50 m de large).

2. Le chenal

Le chenal principal, de 5 à 6 m de profondeur et de 300 m de largeur moyenne, s'étend sur une longueur de 5 km. Sur ce chenal principal, doublé parfois des chenaux secondaires (de profondeur maximale de 1 à 2m), se greffe un réseau de chenaux dendritiques très étroit envahi à marée haute.

3. Les marais salants

Ils sont situés au fond du plan d'eau et séparés par une digue.

Comme la lagune de Oualidia, la lagune de Sidi Moussa possède la particularité d'être séparée du domaine océanique

par un cordon des dunes consolidées qui assure la stabilité de la communication lagune-océan.

La lagune de Nador

Cadre géographique

La lagune de Nador, appelée également la Mar Chica ou la sebkha de Bou-Areg, est située sur le littoral méditerranéen oriental du Maroc, entre les méridiens 2°45'-2°55' W, au niveau du parallèle 35°10'N.

L'écosystème lagunaire de Nador s'est développé dans une dépression continentale orientée NW-SE lors de la remontée du niveau marin de la période holocène (Guillemin & Houzay 1982). C'est le plan d'eau lagunaire le plus étendu du Maroc (115 km²). Sa forme est semi elliptique allongée (25 km sur 7,5 km) et sa profondeur varie entre 0 et 7m (Fig. 4). La bordure continentale de la lagune est occupée par la plaine Bou-Areg, alors que son extrémité sud-est est dominée par les glacis des monts des Kbdana et son extrémité nord-ouest est en contact avec la presqu'île du mont Atalyun et les piedmonts du massif du Gourougou et des massifs de la presqu'île des trois Fourches (Fig. 5). La lagune est séparée de la mer par un cordon dunaire (lido) meuble, fossilisant des cordons dunaires consolidés d'âge probablement pléistocène. Ces cordons forment une ossature de la flèche littorale de la lagune. Cette flèche ou île barrière est percée dans sa partie médiane d'un chenal de communication avec la Mer Méditerranéenne : la passe appelée localement Boucana.

Le cordon a subi de nombreuses évolutions spatio-temporelles, et notamment la position de la communication avec la mer. En effet, les périodes de communication alternent plus ou moins régulièrement avec les périodes de fermeture totale de la lagune (Lefebvre *et al.* 1996). La passe actuelle (Boucana) est ouverte artificiellement dans le cadre du programme de restructuration et de viabilisation du site touristique Marchica, pour remplacer l'ancienne passe située dans la partie médiane du cordon. Pour l'aménagement de cette passe (d'une largeur de 300 m et une profondeur de 6,00 m), deux digues de calibrage du chenal ont été réalisées : l'une de 1450 mètres linéaires pour la digue Est, et l'autre de 1350 mètres linéaires pour la digue Ouest.

Le bassin lagunaire de Nador s'est développé parallèlement à la côte, entre deux crêtes littorales (Cap des Trois Fourches à l'Ouest et Cap de l'Eau à l'Est). Il s'intègre dans l'ensemble du contexte géodynamique de la Méditerranée occidentale. En effet, sa genèse et son évolution sont gouvernées par l'évolution néotectonique de la chaîne rifaine édifiée au Mio-Plio-Quaternaire (Guillemin & Houzay 1982). C'est un système évolutif qui dépend de plusieurs facteurs notamment la néotectonique et la subsidence. Par ces deux caractéristiques et selon la classification proposée par Lankford (1977), la lagune de Nador appartient à un système de morphogenèse mixte (tectonique et sédimentation littorale).

Cadre climatique

Le climat de la lagune de Nador est de type méditerranéen, avec une période humide (Novembre - Avril) et une période sèche (Juin - Septembre). La pluviométrie, très

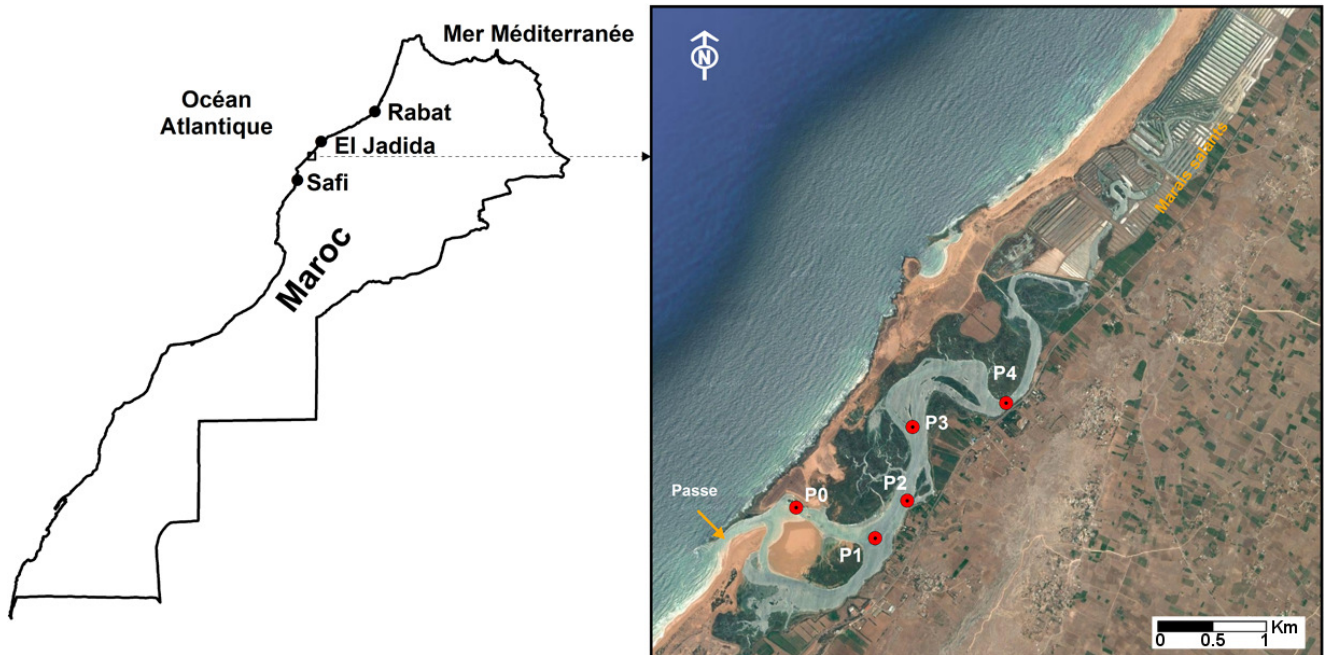


Figure 3. Situation géographique de la lagune de Sidi Moussa avec les sites d'échantillonnage. (Images GeoEye de Google Earth, 2014).

Figure 3. Geographical location of the Sidi Moussa lagoon with sampling sites). (Images GeoEye de Google Earth, 2014).

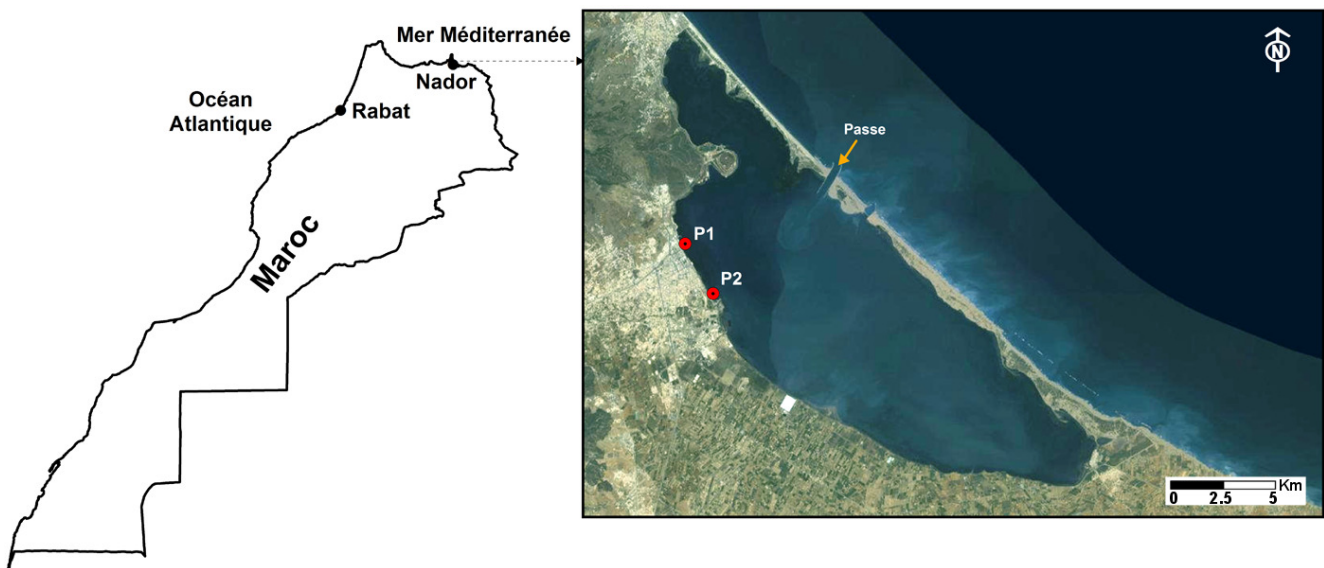


Figure 4. Situation géographique de la lagune de Nador avec les sites d'échantillonnage (P1, P2). (Images GeoEye de Google Earth, 2014).

Figure 4. Geographical location of the Nador lagoon with sampling sites (P1, P2). (Images GeoEye de Google Earth, 2014).

variable d'une année à l'autre, oscille autour de 400 mm/an. L'intensité des averses et la faible perméabilité du bassin versant engendrent des ruissellements qui provoquent une érosion plus ou moins accentuée. Les températures moyennes mensuelles varient entre 13°C en Janvier et 26°C en Août. Le régime général des vents est Ouest-Sud-Ouest de Novembre à Mai (Tesson 1977) et Est-Nord-Est de Mai à Octobre.

Cadre hydrographique

L'hydrologie de la lagune de Nador dépend de trois types de ressources hydriques : les eaux marines, les eaux continentales et les eaux courantes.

Les échanges des eaux marines avec la lagune sont conditionnés par la morphologie de la passe, et sa position

qui a subit des changements au cours du temps, ainsi que les marées et les houles. En 1977, Tesson estime ces échanges, en 77 jours, à une moyenne de 4 millions m³/marée, soit environ 1500 millions m³/an. A partir de 2010, avec l'ouverture de la nouvelle passe, le séjour de ces échanges est estimé à 25 jours seulement. Les courants de marée sont bidirectionnels et alternatifs. Le marnage à l'intérieur de la lagune est relativement faible. Il est de 0,5 à 0,6 m en période de vives eaux et de 0,1 à 0,2 m en période de mortes eaux (Tesson 1977).

Le réseau hydrographique de la Sebkhia Bou-Areg est formé d'un grand nombre de petits cours d'eau dont les apports de la plupart d'entre eux se limitent aux périodes de fortes pluies. Les quelques oueds permanents (Selouane, Caballo, Skhoune, Akhandouk, Arkmane...) sont réduits à des égouts à ciel ouvert (Hamman 1999).

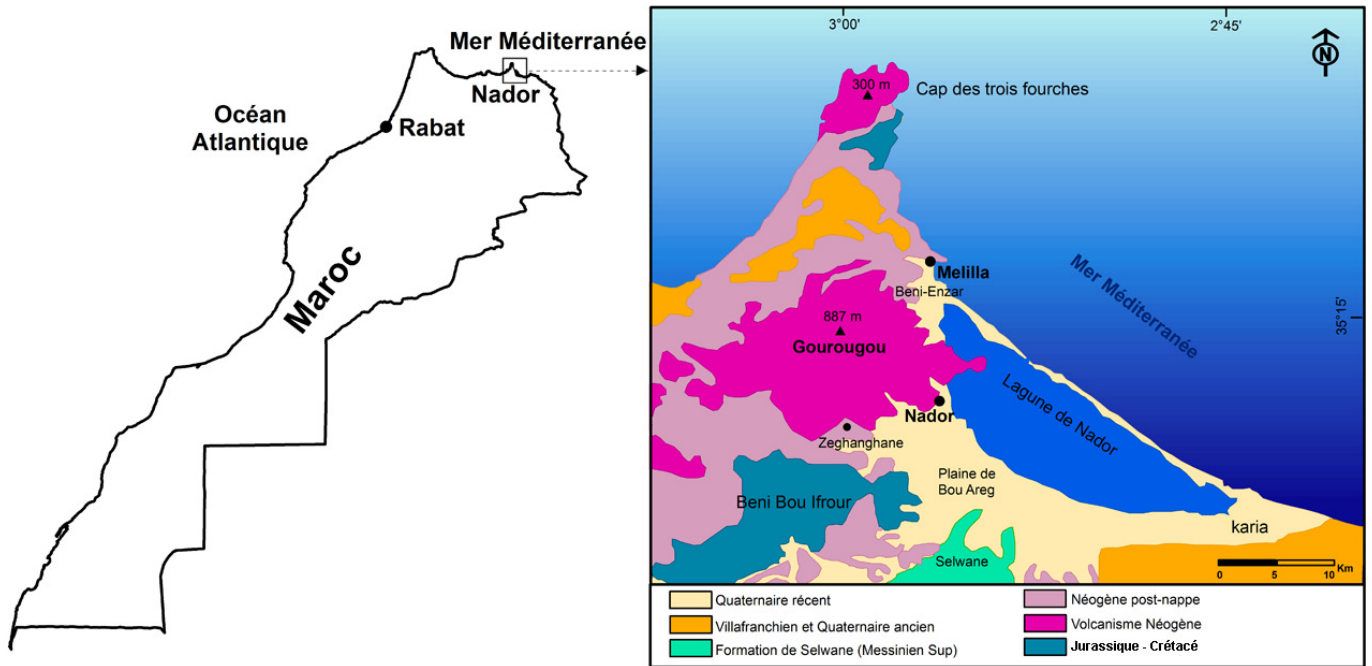


Figure 5. Carte géologique du strato-volcan du Gourougou, Néogène-Quaternaire (extrait de la carte géologique du Rif Nador 1/50.000).

Figure 5. Geological Map of the stratovolcano of Gourougou, Neogene-Quaternary (from the geological map of the Rif Nador 1/50.000).

La nappe phréatique de Bou-Areg s'étend sur une superficie de 190 km², avec une épaisseur allant de 5 m (pied de Jbel Kbdana) à 60 m (bordure de la lagune); et à plus de 40 m de la surface du sol en bordure du massif de Kbdana, et à moins de 1 m à proximité de la lagune (Carlier 1971). Le canal d'irrigation de Bou-Areg, coïncidant dans sa partie terminale avec l'oued Sidi Amer, et le réseau d'irrigation local débouchent dans la lagune et lui assurent des apports irréguliers d'eau excédentaire d'irrigation.

MATERIEL ET METHODES

L'échantillonnage a été effectué sur des sédiments de surface des lagunes de Oualidia (en 3 points de prélèvement : APM, Parc 1, Parc 7), Sidi Moussa (en 5 points de prélèvement : P0, P1, P2, P3, P4) et Nador (en 2 points de prélèvement : P1, P2) (Figures 1, 3, 4).

Le protocole utilisé pour l'analyse palynologique correspond à une extraction optimisée de la matière organique de la fraction sédimentaire <250 µm. La technique de préparation a été effectuée en utilisant la méthode classique détaillée dans De Vernal *et al.* (1999) et Rochon *et al.* (1999). Le résidu palynologique à étudier, a été monté entre lame et lamelle. Le comptage du contenu palynologique a été réalisé par observation au microscope optique en lumière transmise. Il est présenté sous forme de fréquences relatives (Tabs. 1, 2, 3, 4, 5, 6). La nomenclature des taxons de kystes de dinoflagellés, ainsi que leurs références sont fondées sur dinoflagj2 (Fensome *et al.*, 2008). Les spécimens de taxons figurés dans ce travail se trouvent dans la planche 1.

RESULTATS

Le palynofaciès est l'image globale de tous les constituants organiques obtenus après le traitement palynologique des sédiments (Combaz 1975). La méthode

d'étude du palynofaciès, adoptée ici, consiste à reconnaître et regrouper l'ensemble des constituants organiques en familles dont les fréquences relatives (Tabs. 1, 2, 3) sont appréciées ou estimées (Caratini *et al.* 1975). Les différents constituants du palynofaciès sont de deux types : Une fraction figurée (kystes de dinoflagellés, acritarches, spores et pollens, des basales de foraminifères chitineux) et une autre non figurée, représentée par les différents types de matière organique non structurée.

Les spores et pollens (éléments figurés allochtones), correspondent aux organes reproducteurs des plantes supérieures. Leurs fréquences par rapport au reste des microfossiles organiques, traduisent l'influence des apports terrigènes dans le milieu lagunaire. Aucune détermination spécifique n'a été effectuée pour ces restes piégés au niveau des sédiments. Seuls les pollens bisaccates ont été distingués du reste des palynomorphes d'origine continentale.

Les microforaminifères chitineux et les kystes de dinoflagellés représentent les éléments figurés autochtones. Les foraminifères sont fréquents dans nos résidus palynologiques. Ces restes sont interprétés comme des revêtements organiques qui tapissent intérieurement le test minéral de certains foraminifères (Courtinat 1989). Leur présence traduit un milieu peu profond et les variations bathymétriques conditionnent leur abondance.

DISCUSSION

Palynofaciès

Le traitement palynologique des sédiments de surface des trois lagunes a révélé la présence de deux types de palynofaciès (Figures 6, 7, 8).

- Le palynofaciès des lagunes atlantiques très riche et diversifié, composé essentiellement de kystes de dinoflagellés, spores et pollen, basales de foraminifères

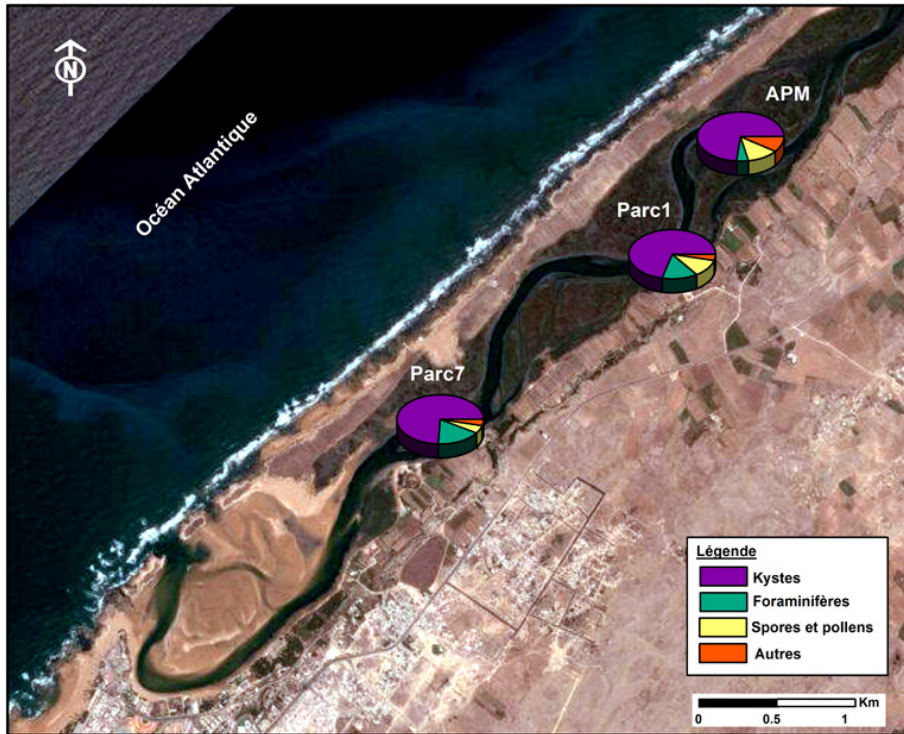


Figure 6. Fréquences relatives du palynofaciès au niveau de la lagune de Oualidia (en 2013).

Figure 6. Relative frequencies of Palynofacies in the Oualidia lagoon (in 2013).

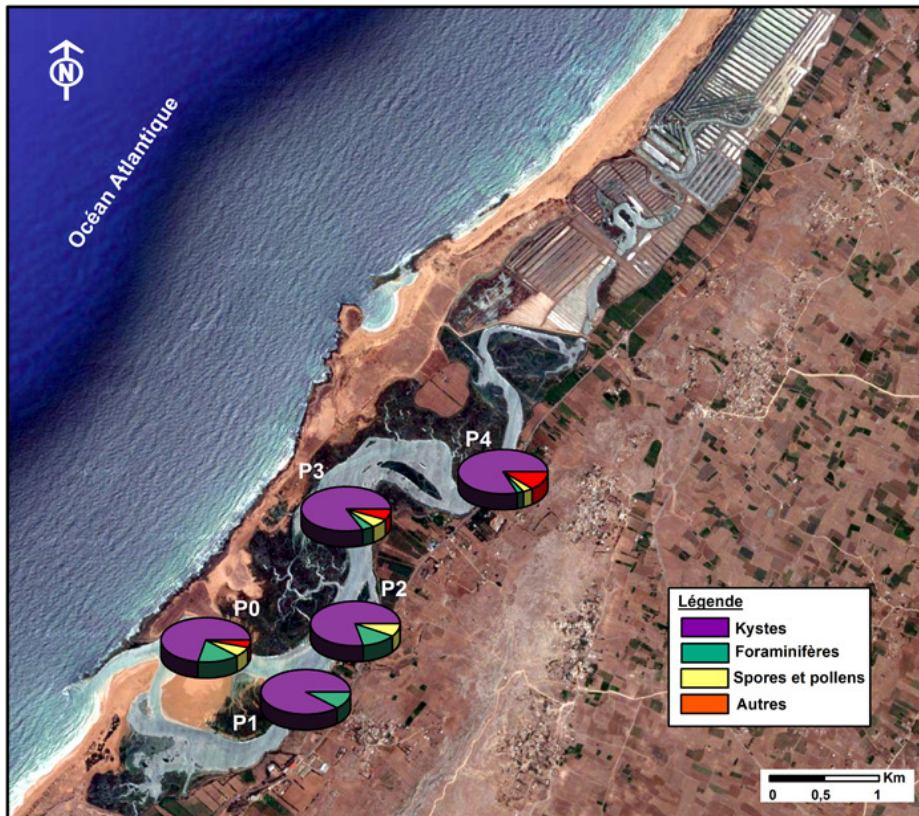


Figure 7. Fréquences relatives du palynofaciès au niveau de la lagune de Sidi Moussa (en 2013).

Figure 7. Relative frequencies of Palynofacies in the Sidi Moussa lagoon (in 2013).

chitineux et un ensemble d'algues, principalement des algues vertes autochtones (Tabs. 1, 2). La matière organique se présente sous forme de débris végétaux (tissus de cellules végétales, d'algues vertes) et des plages de la matière organique amorphe autochtone.

Le palynofaciès présente une image assez uniforme pour l'ensemble des sites étudiés des deux lagunes atlantiques, les kystes de dinoflagellés sont majoritaires avec des pourcentages allant de 69,7 % (parc 1, Oualidia) à 90,47% (point1, Sidi Moussa) (Tabs. 1, 2). Les fréquences relatives

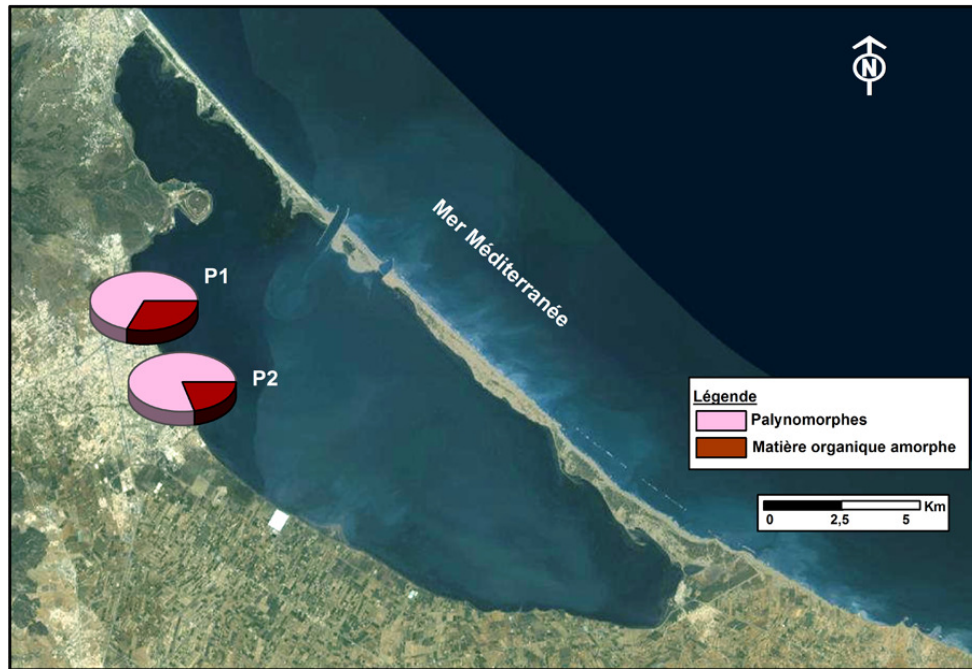


Figure 8. Fréquences relatives du palynofaciès au niveau de la lagune de Nador (en 2013).

Figure 8. Relative frequencies of Palynofacies in the Nador lagoon (in 2013).

des foraminifères sont décroissantes de la passe vers le fond de la lagune de Oualidia (19,5%; 17,3% et 6,3%), en revanche dans la lagune de Sidi Moussa, les fréquences les plus élevées sont enregistrées au niveau des points P0 (19,04%) et P2 (14,28%) (Tabs. 1, 2).

On a rassemblé dans la composante « Autres » tous les autres éléments identifiés, tels que les œufs de Copépodes, les acritarches (genre *Halodinium*) et les algues (surtout les algues vertes). La fréquence relative de ces éléments ne dépasse pas 8% dans la lagune de Oualidia et 6,1% dans la lagune de Sidi Moussa (Tabs. 1, 2). Ceci pourrait correspondre à des conditions particulières dans ce milieu lagunaire. Ces conditions seraient celles d'un milieu restreint avec une salinité faible et une abondance des éléments nutritifs, surtout la présence du genre *Halodinium*, qui serait liée à ces conditions particulières (De Vernal & Mudie 1989, Mudie 1992, Head 1993, Candel *et al.* 2012). La proximité d'une source terrestre est confirmée par l'association des kystes de dinoflagellés qui est dominée par les Protoperidiniaceae (Candel *et al.* 2012).

- Le palynofaciès de la lagune de Nador est pauvre et dominé par une matière organique amorphe avec la présence des fragments de pyrite. Les palynomorphes sont rares, représentés par quelques grains de pollens et les kystes de dinoflagellés (Fig. 8). La présence de la pyrite témoigne d'une activité bactérienne très intense dans les environnements anoxiques (Boussafir & Boussafir 2014).

Kystes de dinoflagellés

L'analyse des lames palynologiques des trois lagunes montre une richesse modeste en kystes de dinoflagellés, (*Lingulodinium machaerophorum*, *Spiniferites* spp., *Operculodinium* spp., *Polykrikos* spp., *Trinovantedinium* spp., *Selenopemphix* spp., *Votadinium* spp., *Alexandrium* spp., *Dubridinium* spp., *Lejeunecysta* spp., *Quinquecuspis*

spp.) (Figures 9, 10, 11). L'abondance des kystes de dinoflagellés dans les sédiments de surface, peut être contrôlée par plusieurs facteurs:

-Facteurs éthologiques : l'étude des kystes de dinoflagellés ne concerne qu'une partie du groupe, car seuls 25% des formes planctoniques sont susceptibles de fournir des kystes benthiques fossilisables (Steidinger 1983, Dale 1983).

-Facteurs d'ordre trophiques : les dinoflagellés constituent le régime alimentaire d'autres dinoflagellés et de plusieurs organismes marins (Steidinger & Walker 1984).

-Facteurs physiques : un kyste se comporte comme une particule sédimentaire, face à l'hydrodynamisme (Larrazabal 1987), confirmé par Smayda (1980) qui mentionne que les conditions hydrodynamiques sont responsables de la distribution du phytoplancton.

-Facteurs sédimentologiques : le taux de sédimentation est faible dans les trois lagunes :

Oualidia : le taux de sédimentation est inférieur à 1 cm/an. (Zourarah *et al.* 2007).

Sidi Moussa : le taux de sédimentation est de 0,64 cm/an. (Mana'an 2003).

Nador : le taux de sédimentation est compris entre +0.04 cm/an et +0.34 cm/an (Raji 2014).

Dans la lagune de Sidi Moussa, la répartition granulométrique (Fig. 12) des différents faciès montre que la fraction silteuse (inférieur à 63 μm) se situe au niveau des sites P2, P3 et P4. La fraction grossière (supérieur à 250 μm) est notée au niveau du site P0, en revanche P1 abrite les fractions comprises entre 63 μm et 250 μm . Les échantillons les plus riches en kystes sont récoltés dans les sites P3 (218 kystes) et P4 (338 kystes).

En plus de tous ces facteurs s'ajoute l'activité bactérienne très intense au niveau de la lagune de Nador,

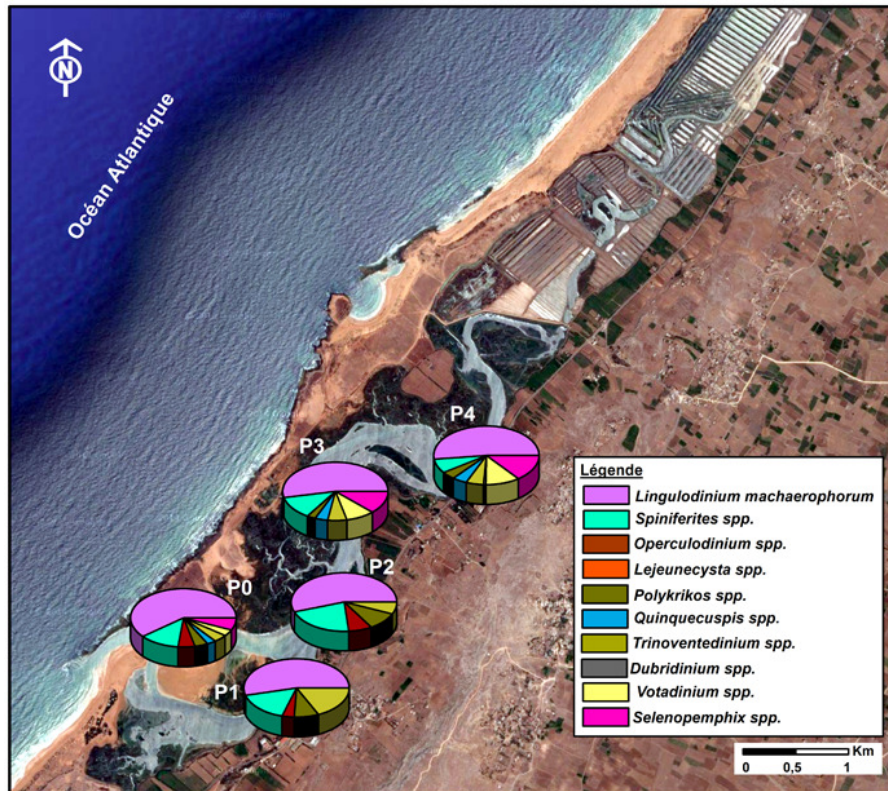


Figure 9. Répartition des kystes de dinoflagellés dans les sédiments de la lagune de Sidi Moussa (en 2013).

Figure 9. Dinoflagellate cysts distribution in surface sediments of the Sidi Moussa lagoon (in 2013).

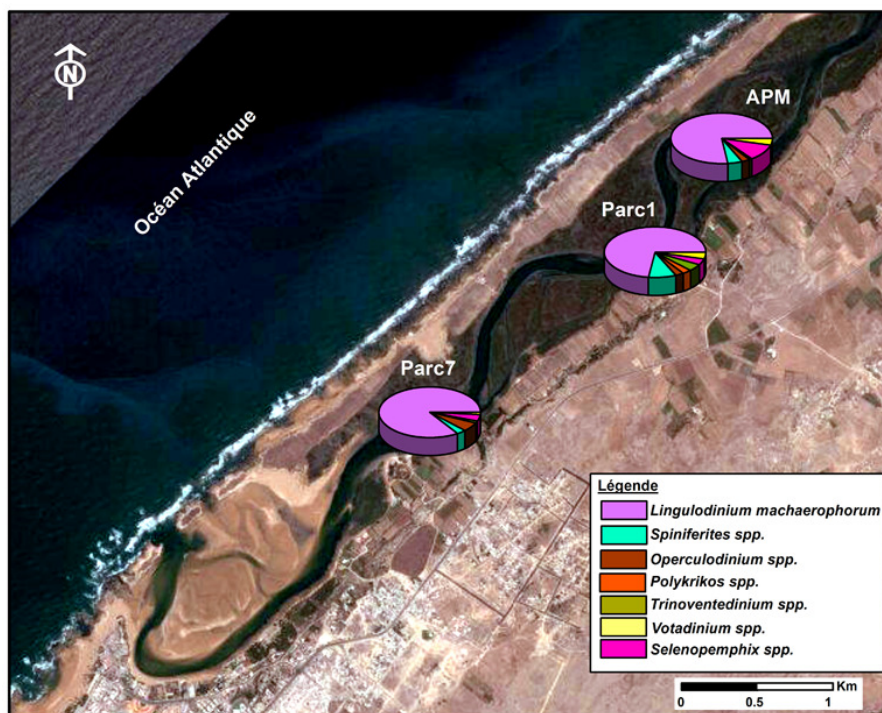


Figure 10. Répartition des kystes de dinoflagellés dans les sédiments de surface de la lagune de Oualidia (en 2013).

Figure 10. Dinoflagellate cyst distribution in surface sediments of the Oualidia lagoon (in 2013).

reflétée par la présence de la pyrite au sein de la matière organique, (Blouidi 2005). Avec la pauvreté des sédiments en kystes de dinoflagellés, on note également une faible diversité qui pourrait être liée au faible taux de salinité.

Certains auteurs (Wall *et al.* 1977, Dale 1996, Ellegaard 2000, Mudie *et al.* 2001, Popeslova *et al.* 2004) ont également noté que les environnements oligohalins sont caractérisés par une faible diversité spécifique.

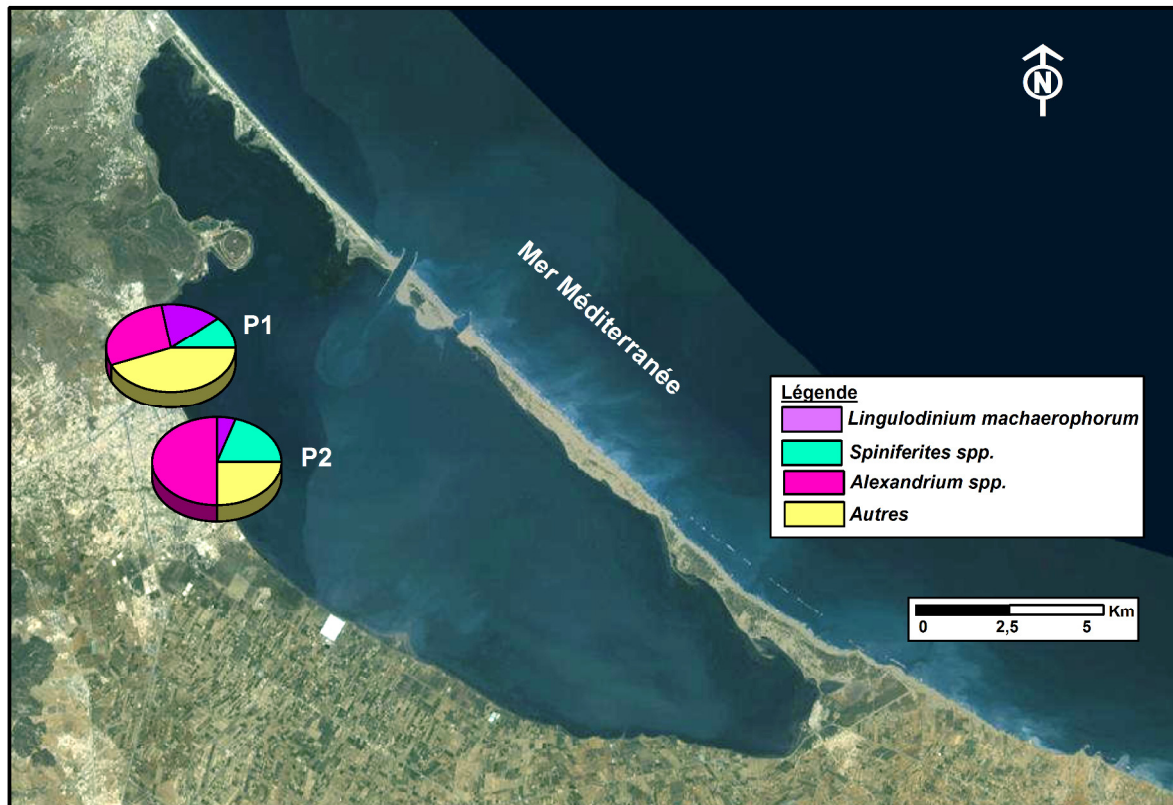


Figure 11. Répartition des kystes de dinoflagellés dans les sédiments de surface de la lagune de Nador (en 2013).

Figure 11. *Dinoflagellate cysts distribution in surface sediments of the Nador lagoon (in 2013).*

L'analyse qualitative des kystes de dinoflagellés contenus dans la vase de surface, au niveau des deux lagunes atlantiques, montre que les associations de kystes sont dominées par *Lingulodinium machaerophorum* (kyste de l'espèce *Lingulodinium polyedrum*), entre 51,03% et 57,08% dans la lagune de Sidi Moussa et entre 72,05 % et 85,86% dans la lagune de Oualidia. En revanche cette espèce marque une présence assez timide dans la lagune de Nador (P1 : 18,75% et P2 : 9,09%).

Lingulodinium macherophorum est une espèce qui préfère les environnements estuariens et peut être abondante dans les baies, les estuaires (Reid 1972, Bradford & Wall 1984, Morzadec-Kerfourn 1977, 1989, Debenay *et al.* 2003), au débouché des fleuves où apparaissent de fortes concentrations en nutriments (Lewis 1988, Dale & Fjellsa 1994, Dale 1996, Dale *et al.* 1999, Lewis & Hallet 1997, Dale *et al.* 2002, Pospelova & Head 2002, Pospelova *et al.* 2005, Marret & Zonneveld 2003, Sangiorgi & Donders 2004, Cremer *et al.* 2007, Siringan *et al.* 2008). La dominance de cette espèce dans les deux lagunes atlantiques témoigne d'une certaine stabilité du milieu, qui est susceptible d'être perturbée par l'augmentation des produits azotés (rejets des déchets agricoles), ce qui provoque de temps à autre des efflorescences comme celle qui s'est traduite par la prolifération de *Lingulodinium polyedrum* en juillet 1999 dans la lagune de Oualidia (Bennouna *et al.* 2002). D'après ces auteurs, l'efflorescence s'est toujours maintenue à distance des sites côtiers et des lagunes surveillés, ce bloom, le premier déclaré le long de la côte atlantique marocaine, s'est initié au niveau de Casablanca et a progressé vers le sud jusqu'à Agadir. La présence de *L. polyedrum* au niveau de la lagune de Oualidia est due à une

intrusion, à partir de la mer ouverte, au moment du remplissage de la lagune par les courants de marées. L'espèce a de nouveau proliféré en 2005 et en 2006 donnant une nappe qui a touché en premier la lagune de Oualidia pour s'étaler sous l'influence du vent jusqu'à la lagune de Sidi Moussa (rapports inédits, INRH).

Les forts pourcentages de *L. machaerophorum* que nous avons rencontré dans les sédiments de surface des deux lagunes atlantiques montrent que celles-ci peuvent constituer une source d'ensemencement de l'espèce.

La lagune de Oualidia est plus sensible aux événements phytoplanktoniques, elle a été alertée plus de 5 fois durant ces dernières années, ce qui témoigne par conséquent de l'aptitude à développer, dans cette zone, des situations critiques en matière de proliférations nuisibles.

Les efflorescences de cette espèce sont plutôt rares dans la lagune de Nador, en revanche, c'est l'espèce *Alexandrium minutum* qui y prolifère de façon assez récurrente en période hivernal et printanière et qui est souvent associée à la contamination des coquillages par les toxines paralysante "Paralytic Shellfish Poisoning" (PSP), raison pour laquelle elle a fait l'objet, pendant plusieurs années, d'un suivi régulier par le Centre Régional de l'INRH à Nador et ce depuis 1998 (El Madani 2012).

Il est clair que les ensemencements des efflorescences de cette espèce nécessitent un recrutement réussi de kystes à partir de la «banque de kystes» présente dans la colonne d'eau, dont la germination subséquente peut être limitée par certaines conditions environnementales (El Madani 2012).

Au niveau de la lagune de Nador, l'efflorescence d'*Alexandrium minutum* est un phénomène intrinsèque à cet

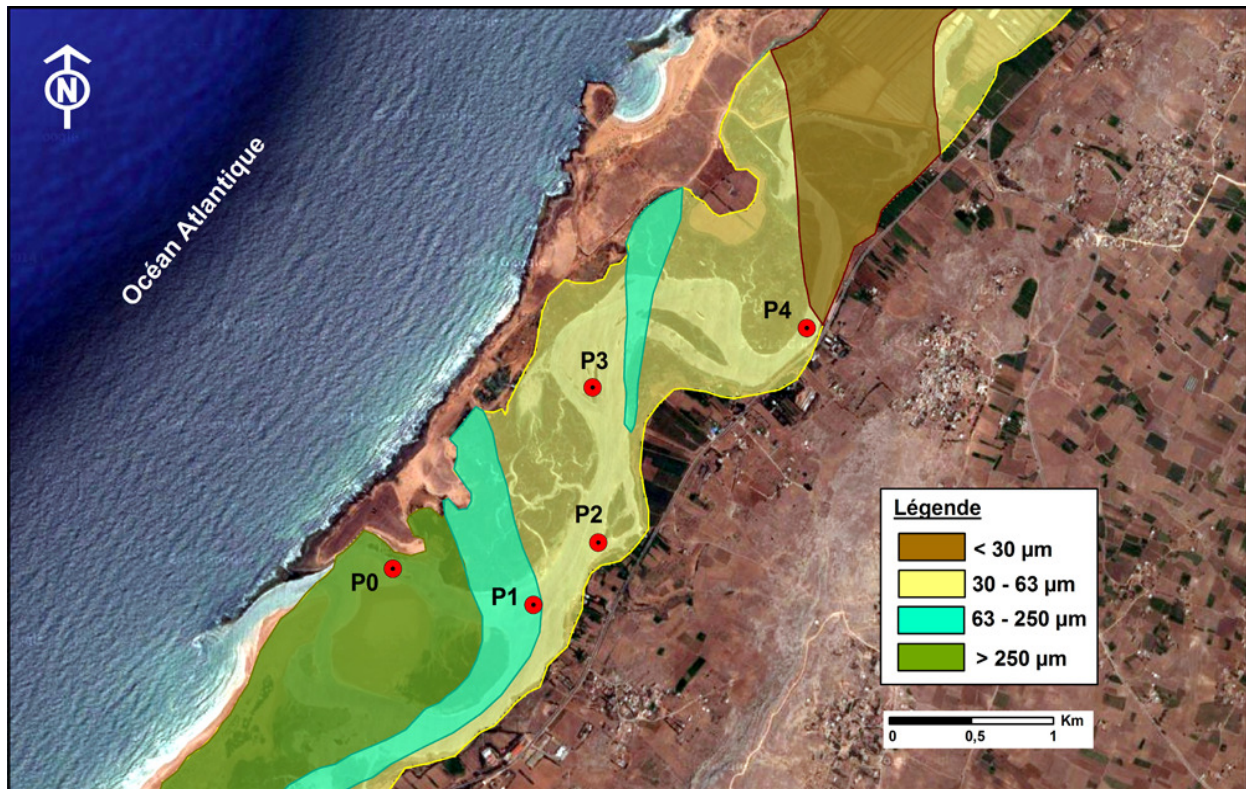


Figure 12. Répartition granulométrique des différents faciès dans la lagune de Sidi Moussa (Maanan, 2003; modifiée).

Figure 12. Granulometric distribution of different faciès in the Sidi Moussa lagoon (Maanan, 2003; modified).

écosystème. En effet, la lagune renferme un stock de kystes qui se développent quand les conditions du milieu deviennent favorables (El Madani 2012).

Deux autres types de kystes autotrophes sont associés à *Lingulodinium machaerophorum* : *Spiniferites ramosus* et *Operculodinium centrocarpum* qui ne dépassent pas les 12% dans la lagune de Oualidia et 31% dans la lagune de Sidi Moussa. Dans la lagune de Nador, *Operculodinium centrocarpum* n'a pas été répertoriée, par contre le genre *Spiniferites* est bien présent avec des pourcentages qui varient entre 6.25 % dans la station P2 et 18,75% dans la station P1.

Spiniferites ramosus et *Operculodinium centrocarpum* sont des formes autotrophes, considérées comme ubiquistes vis à vis de la température. Elles se rencontrent dans une large variété d'environnements marins, néritique à océanique (Marret & Zonneveld 2003), des hautes aux moyennes latitudes pour *O. centrocarpum* et au sud de 70° de latitude nord pour *S. ramosus* (Rochon 1997). Ces espèces autotrophes sont accompagnées par une association de kystes issus de dinoflagellés appartenant à la Famille de Peridiniaceae, considérés comme hétérotrophes (Tab. 4) : *Selenopemphix quanta* (Bradford 1975), *Votadinium* sp., *Quinquecuspis concreta* (Reid 1977), *Trinovantedinium* sp., *Lejeunecysta* sp., s'y ajoutent des kystes appartenant à l'Ordre Gymnodiniales, Famille de Polykrikaceae (*Polykrikos* spp.). Ce sont des espèces d'environnement marin présentes dans la zone subtropicale. Certaines espèces, comme *Selenopemphix quanta*, peuvent s'adapter à des sites côtiers caractérisés par de faibles salinités (jusqu'à 16,9 ‰). Les kystes du genre *Polykrikos* sont connus dans les eaux côtières subtropicales à tropicales. *Votadinium* sp.

et *Quinquecuspis concreta* sont souvent signalées dans les basses latitudes de la zone tropicale, au large de l'Afrique.

Des assemblages, présentant une dominance des taxons hétérotrophes, ont été signalés dans plusieurs régions du monde, notamment le Golfe de Guinée (Marret 1994), la Mer d'Arabie (Zonneveld 1997, Zonneveld *et al.* 2001), la côte péruvienne (Lewis *et al.* 1990, Powell *et al.* 1990), la côte ouest ibérique (Sprangers *et al.* 2004), le Groenland (Rochon *et al.* 1999), l'Arctique (Hamel *et al.* 2002) et dans des lagunes au Rhode Island et Massachusetts au sud des Etats Unis d'Amérique (Pospelova *et al.* 2004).

Dans notre travail, l'association des kystes hétérotrophes domine dans les deux lagunes atlantiques avec des taux qui dépassent 42% au niveau du point 4 dans la lagune de Sidi Moussa (Tab. 5, Fig. 9). La présence des kystes protoperidinales hétérotrophes est liée à la floraison printanière des diatomées qui constituent la proie des dinoflagellés hétérotrophes (Jacobson & Anderson 1986, Gaines & Elbrachter 1986). Cette dominance pourrait s'expliquer par une eutrophisation du milieu. En effet dans le port de Yokohama (Japan), la dominance des kystes hétérotrophes a été interprétée comme indicateur de l'eutrophisation du milieu (Matsuoka 1999). L'abondance et la dominance des kystes hétérotrophes sur les kystes autotrophes a été interprété, aussi, comme indicateur de pollution industrielle en Norvège (Sretre *et al.* 1997). Ainsi, le rapport autotrophe/hétérotrophe peut être utilisé pour la qualification de la productivité et le signal des upwellings comme indicateur de la disponibilité des nutriments de la proximité du continent (Wall *et al.* 1977, Bujak 1984, Mudie 1992, Harland *et al.* 1998, Dale 1996, Mudie & Rochon 2000, Radi 2008).

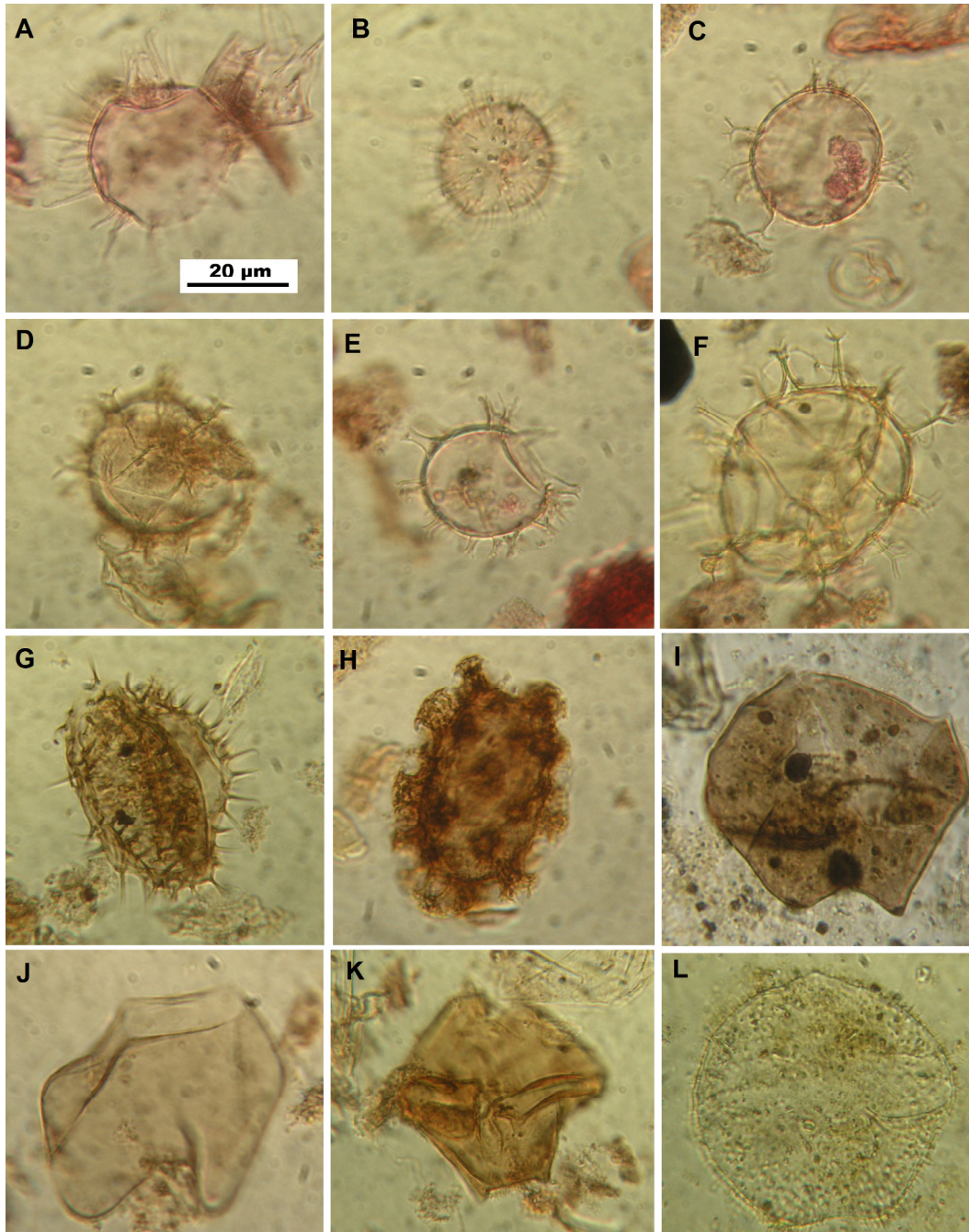


Planche 1 (Plate 1). A. *Lingulodinium machaerophorum* (Deflandre & Cookson, 1955) Wall, 1967. B. *Operculodinium centrocarpum* sensu Wall & Dale (1966). C. *Spiniferites bulloideus* (Deflandre & Cookson, 1955) Sarjeant, 1970. D. *Spiniferites ramosus* (Ehrenberg, 1838) Mantell, 1854. E. *Spiniferite*. F. *Spiniferites bentorii* (Rossignol, 1964) Wall & Dale, 1970. G. *Selenopemphix quanta* (Bradford, 1975) Matsuoka, 1985. H. *Polykrikos schwartzii* (Bütschli, 1873) Matsuoka, 2009. I. *Lejeunecysta* sp. cf. *Sabrina* (Reid, 1977) Bujak, 1984. J. *Votadinium calvum* Reid, 1977. K. *Lejeunecysta* cf. *oliva* (Reid, 1977) Turon & Londeix, 1988. L. *Trinovantedinium* sp.

L'étude des formes végétatives des deux lagunes atlantiques (Daghor *et al.* 2015), réalisée en parallèle avec la présente étude, montre une prolifération de l'espèce *Protopteridinium quinquecorne*, enregistrée au mois de Juillet 2013 dans la lagune de Sidi Moussa (point 3), avec une valeur maximale de 3,2 105 C/l. *Protopteridinium quinquecorne* est une espèce cosmopolite à large répartition géographique (milieux estuariens à néritiques) avec une grande tolérance aux fluctuations de la température (Horstmann 1980). Au Maroc, cette espèce prolifère, pour la première fois, dans la lagune de Sidi Moussa (Daghor *et al.* 2015). Ce bloom n'a pas été recensé au niveau des points

près de la passe (0, 1 et 2), mais il s'est produit au fond de la lagune (points 3 et 4), donc c'est un bloom autochtone de cause locale. Cette prolifération pourrait être liée à l'eutrophisation de la lagune de Sidi Moussa, en rapport avec l'enrichissement du milieu en nitrite et orthophosphate (Daghor *et al.* 2015) et la prolifération des autotrophes. Ceci a été confirmé par les analyses statistiques avec l'analyse des composantes principales (ACP) qui montrent une très bonne corrélation entre l'élévation des concentrations des nitrites et des orthophosphates avec l'augmentation de l'abondance cellulaire de l'espèce *Protopteridinium quinquecorne* (Daghor *et al.* 2015).

Tableau 2. Composition et fréquences relatives des constituants du palynofaciès dans la lagune de Sidi Moussa (en 2013).

Table 2. Composition and relative frequencies of the palynofacies constituents in the Sidi Moussa lagoon (in 2013.).

	Kystes		Foraminifères		Spores et Pollens		Autres	
	Nombre de spécimens	%	Nombre d'espèce	%	Nombre de spécimens	%	Nombre de spécimens	%
P0	119	70,83	32	19,04	10	5,95	7	4,16
P1	19	90,47	2	9,52	0	0	0	0
P2	22	78,57	4	14,28	2	7,14	0	0
P3	218	83,52	12	4,59	15	5,74	16	6,1
P4	338	81,64	11	2,65	17	4,10	25	6,03

Tableau 3. Composition et fréquences relatives des constituants du palynofaciès dans la lagune de Nador (en 2013).

Table 3. Composition and relative frequencies of the palynofacies constituents in the Nador lagoon (in 2013).

	Palynomorphes (%)	Matière organique amorphe (%)
P1	68	32
P2	88	22

Tableau 4. Nombre de spécimens et pourcentages de dinokystes recensés dans les sédiments de surface de la lagune de Oualidia (en 2013).

Table 4. Specimen number and percentages of dinoflagellate cysts recorded in surface sediments of the Oualidia lagoon (in 2013).

	Parc 7		Parc 1		A.P.M	
	Nbre de spécimens /pt.	%	Nbre de spécimens /pt	%	Nbre de spécimens /pt	%
<i>Lingulodinium machaerophorum</i>	79	85,86	49	72,05	79	85,86
<i>Spiniferites</i> sp.	3	3,26	8	11,76	2	5,88
<i>Operculodinium</i> sp.	5	11,76	2	2,94	3	2,94
<i>Polykrikos</i> sp.	0	0	2	2,94	1	0,98
<i>Trinoveitidinium</i> sp.	1	1,08	3	4,41	1	0,98
<i>Selenophyphix</i> <i>quanta</i>	3	3,26	2	2,94	9	8,82
<i>Votadinium</i> sp.	1	1,08	2	2,94	3	2,94
Total Autotrophes	95,6		86,7		82,1	
Total Hétérotrophes	4,39		13,23		17,8	

La même synthèse a été élaborée par Shamsudin *et al.* (1996), qui ont noté que l'espèce *Protoperidinium quinquecorne* pullule dans les milieux riches en nutriments.

Cette prolifération de l'espèce *Protoperidinium quinquecorne* au niveau de la lagune de Sidi Moussa, n'a jamais été constatée dans la lagune de Oualidia, pourtant les deux lagunes sont voisines. Ce caractère eutrophe de la lagune de Sidi Moussa pourrait être expliqué, par sa proximité aux installations industrielles des usines du phosphate de Jorf Asfar, qui sont 15 km de celle-ci.

Pour la lagune de Nador, un seul représentant de la famille hétérotrophe a été répertorié, c'est le taxon *Alexandrium* spp. Si les autres espèces n'ont pas été trouvées, cela n'implique pas leur absence dans la lagune. En effet, la matière organique amorphe observée, après traitement palynologique, est très dégradée avec une présence des particules de pyrites qui témoigne d'une activité bactérienne très intense, particularité des milieux anoxiques. Les points de prélèvements dans cette lagune, sont situés dans les stations les plus polluées (métaux lourds, eutrophisation, Phosphore, anoxie) (Blouidi 2005). Dans ce

type de milieux, les kystes de dinoflagellés ne se conservent pas et ne germent pas non plus (Anderson *et al.* 1987). Ceci infirme l'idée des kystes (phase benthique) comme générateurs de bloom surtout pour le genre *Alexandrium* sp., qui peut avoir jusqu'à deux blooms par an (El Madani 2004) dans cette lagune.

CONCLUSION

Ce travail palynologique consiste en une étude comparative des sédiments de surface entre deux lagunes atlantiques (Oualidia et Sidi Moussa) et une lagune méditerranéenne (Nador). L'analyse des palynofaciès, montre un résidu organique riche en palynomorphes avec des spores, pollens, des foraminifères chitineux et une nette dominance des kystes de dinoflagellés dans les lagunes atlantiques. En revanche, le résidu organique de la lagune de Nador, est dominé par une matière organique amorphe dégradée, riche en pyrite avec une pauvreté en palynomorphes.

En ce qui concerne les kystes de dinoflagellés, la dominance de l'espèce *Lingulodinium machaerophorum*

Tableau 5. Nombre et pourcentages des dinokystes recensés dans les sédiments de surface de la lagune de Sidi Moussa (en 2013).

Table 5. Specimen number and percentages of dinoflagellate cysts recorded in surface sediments of the Sidi Moussa lagoon, 2013.

	P0		P1		P2		P3		P4	
	Nbre de spécimens /pt.	%	Nbre de spécimens /pt	%	Nbre de spécimens /pt	%	Nbre de spécimens /pt	%	Nbre de spécimens /pt	%
<i>Lingulodinium machaerophorum</i>	69	57,98	10	52,63	12	54,54	113	51,83	198	51,03
<i>Spiniferites</i> sp	1	0,84	1	5,26	3	13,63	12	5,50	12	3,09
<i>Spiniferites ramosus</i>	14	11,76	2	10,52	2	9,09	4	1,83	4	1,03
<i>Spiniferites bulloides</i>	2	1,68	0	0	0	0	3	1,37	3	0,77
<i>Spiniferites bentorii</i>	0	0	0	0	0	0	3	1,37	3	0,77
<i>Spiniferites</i> type granulaire	0	0	0	0	0	0	1	0,45	1	0,25
<i>Spiniferites</i> cf. <i>elongatus</i>	0	0	0	0	0	0	1	0,45	1	0,25
<i>Operculodinium centrocarpum</i>	8	6,72	1	5,26	2	9,09	1	0,45	1	0,25
Total Autotrophes	94	77,3	14	73,6	19	86,3	138	63,3	223	57,4
<i>Dubridinium</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,25
<i>Lejeunecysta</i> sp.	1	0,84	0	0	0	0	2	0,91	4	1,03
<i>Lejeunecysta</i> cf. <i>oliva</i>	0	0	0	0	0	0	1	0,45	1	0,25
<i>Polykrikos schwartzii</i>	4	3,36	2	10,52	1	4,54	2	0,91	2	0,51
<i>Polykrikos kofoidii</i>	2	1,68	0	0	0	0	3	1,37	4	1,03
<i>Polykrikos</i> sp	0	0	0	0	1	4,54	0	0	9	2,31
<i>Quinquecuspis concreta</i>	2	1,68	0	0	0	0	2	0,91	2	0,51
<i>Quinquecuspis</i> sp	1	0,84	0	0	0	0	8	3,66	17	4,38
<i>Selenopemphix quanta</i>	5	4,20	0	0	0	0	19	8,71	31	7,98
<i>Selenopemphix</i> sp.	1	0,84	0	0	0	0	3	1,37	21	5,41
<i>Trinovedinium</i> cf. <i>capitatum</i>	0	0	0	0	0	0	2	0,91	1	0,25
<i>Trinovedinium</i> cf. <i>applanatum</i>	0	0	0	0	0	0	2	0,91	4	1,03
<i>Trinovedinium</i> sp.	5	4,20	3	15,78	1	4,54	14	6,42	20	5,15
<i>Votadinium</i> cf. <i>calvum</i>	0	0	0	0	0	0	1	0,45	1	0,25
<i>Votadinium spinosum</i>	1	0,84	0	0	0	0	1	0,45	5	1,28
<i>Votadinium</i> sp.	3	2,52	0	0	0	0	20	9,17	41	10,56
Total Hétérotrophes	25	21	5	26,3	3	13,6	80	36,6	165	42,5

Tableau 6. Composition et fréquences relatives des kystes de dinoflagellés dans la lagune de Nador (en 2013).

Table 6: Composition and relative frequencies of dinoflagellate cysts recorded in surface sediments of the Nador lagoon (in 2013).

	P1		P2	
	Nombre de spécimens	%	Nombre d'espèces	%
<i>Lingulodinium machaerophorum</i>	2	9,09	3	18,75
<i>Spiniferites ramosus</i>	4	18	1	6,25
<i>Alexandrium</i> sp.	6	27,27	8	50
Indéterminés	10	45,45	4	25

dans les deux lagunes atlantiques révèle que ces lagunes constituent des sources d'ensemencement qui peuvent être à l'origine des efflorescences de l'espèce. Le fait qu'elle soit rare dans les sédiments de la lagune de Nador, témoigne de

la qualité de cet environnement anoxique. Les quelques kystes trouvés dans cette dernière lagune, sont représentés par le genre *Spiniferites* sp. et *Alexandrium* sp. Cette dernière espèce montre des blooms fréquents dans les eaux

de la lagune de Nador (jusqu'à deux fois par an), cependant, les kystes de cette espèce sont rares dans les sédiments et donc ne sont pas l'origine de leurs efflorescences.

Les kystes hétérotrophes dominent sur les autotrophes au cours de cette période d'étude dans les deux lagunes atlantiques, ces résultats sont accompagnés d'une prolifération de l'espèce *Protoperidinium quinquecorne*. Une très bonne corrélation a été démontrée par (ACP) entre les éléments nutritifs (orthophosphates) et cet événement (Daghor *et al.* 2015), ce qui reflète l'eutrophisation de cet environnement.

Enfin, l'analyse palynologique quantitative et qualitative des sédiments de surface des trois lagunes révèle l'existence deux types d'environnements dans ces systèmes lagunaires :

- Un environnement anoxique dégradé (riche en pyrite) et polluée dans la lagune méditerranéenne de Nador.
- Un environnement eutrophié des lagunes atlantiques (Oualidia et Sidi Moussa).

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient tous les membres du personnel de l'INRH pour leur assistance au cours de la réalisation de ce travail. Ils remercient également Dr. Laurent Londeix, Professeur à l'Université de Bordeaux pour son accueil et son encadrement durant la période de stage au sein du laboratoire EPOC (Environnements et Paléoenvironnements Océaniques et Continentaux). Les évaluateurs du journal Dr. Véronique Martin-Jézéquel et Dr. Ismail Bettar sont remerciés pour leurs commentaires et suggestions qui ont contribué à l'amélioration du manuscrit.

REFERENCES

- Anderson D. & Kbafer B. A. 1987. An endogenous annual clock in the toxic marine dinoflagellate *Gonyaulax tamarensis*. *Nature*, 325, 616-617.
- Bennouna A., Berland B., El Attar J. & Assobhei O. 2002. Eau colorée à *Lingulodinium polyedrum* (Stein) Dodge, dans une zone aquacole du littoral du Doukkala (Atlantique marocain). *Oceanologica Acta*, 25, 159-170.
- Bloundi M.K. 2005. *Etude géochimique de la lagune de Nador (Maroc oriental): Impacts des facteurs anthropiques*. Thèse de Doctorat de 3ème cycle, Université de Mohammed V- Agdal, Faculté des Sciences de Rabat, Maroc, 238p.
- Boulter M.C. & Riddick A. 1986. Classification and analysis of palyno-debris from the Paleocene sediments of Forties Field. *Sedimentology*, 33, 871-886.
- Boussafir Y. & Boussafir M. 2014. *Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur (JNGG)*, Juillet 2014, Beauvais, France, 11 p.
- Bradford M.R. & Wall D.A. 1984. The distribution of recent organic-walled dinoflagellate cysts in the Persian Gulf, Gulf of Oman, and Northwestern Arabian Sea. *Palaeontographica Abt B*, 192, 1-84.
- Bradford, M.R. 1975. New dinoflagellate cyst genera from the recent sediments of the Persian Gulf. *Canadian Journal of Botany*, 53, 3064-3074.
- Bujak J.P. 1984. Cenozoic dinoflagellate cysts and acritarchs from the Bering Sea and northern North Pacific, Deep Sea Drilling Projects Leg 19. *Micropaleontology*, 30, 2, 180-212.
- Candel M.S., Radi T., De Vernal A., Bujalesky G. 2012. Distribution of dinoflagellate cysts and other aquatic palynomorphs in surface sediments from the Beagle Channel, Southern Argentina. *Marine Micropaleontology*, 96, 1-12.
- Carlier P. 1971. Ressources en eau du Maroc ; *domaine du Rif et du Maroc oriental*, Tome 1. Editions du service géologique du Maroc. Rabat.
- Carruesco C. 1989. *Genèse et évolution de trois lagunes du littoral atlantique depuis l'holocène : Oualidia, Moulay Bouselham (Maroc) et Arcachon (France)*. Thèse de Doctorat D'état n° 960, Université de Bordeaux, 485 p.
- Caratini, C., J. Bellet, & C. Tissot, 1975. Etude microscopique de la matière organique: palynologie et palynofaciès. In: *Géochimie Organique des Sédiments Marins Profonds*, Orgon II, Atlantique NordEst Brésil. — C.N.R.S., Paris, 157-203.
- Combaz, A., (1975), Colloque Internat. Pétrographie de la Matière Organique des Sédiments, éd. CNRS, Paris, 93.
- Courtinat B. 1989. Les organoclastes des formations lithologiques du Maim dans le Jura meridional. Systematique, biostratigraphie et elements d'interpretations paleoecologiques, Doc. Lab. Geol. Lyon, 105, 1-361.
- Daghor L., Hssaïda T., Fraïkech M. *et al.* 2015. Impact of environmental disturbances on the dynamics of phytoplankton blooms. *International Journal of Advanced Research*, 3, 11, 1071-1085.
- Dafir J.E. 1996. *Organisation et fonctionnement des écosystèmes aquatiques (gestion et préservation). Application de la dynamique du phosphore (flux de fixation /relargage à l'interface eau sédiment, spéciation des différentes fractions mobilisables)*. Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences, Univ. Hassan II, Casablanca. 320 p.
- Dale B. 1983. Dinoflagellate resting cysts: benthic plankton. In: *Fryxell, G.A. (Ed.) - Survival Strategies of the Algae*. Cambridge University Press, New York, 69-136.
- Dale B. 1996. Dinoflagellate cyst ecology: modeling and geological applications. In: Jansonius L. & McGregor D.C. (Eds.) - *Palynology: Principles and Applications 3*. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, College Station TX, 1249-1275.
- Dale, B. & Fjellså, A. 1994. Dinoflagellate cysts as paleoproductivity indicators: state of the art, potential, and limits. In: *Zahn, R., Pedersen T.F. et al. (Eds.) - Carbon Cycling in the Glacial Ocean: Constraints on the Ocean's Role in Global Change*. Springer, Berlin, 521-537.
- Dale B., Thorsen T.A. & Fjellså A. 1999. Dinoflagellate cysts as indicators of cultural eutrophication in the Oslofjord, Norway. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 48, 3, 371-382.
- Dale B., Dale A.L. & Jansen J.H.F. 2002. Dinoflagellate cysts as environmental indicators in surface sediments from the Congo deep-sea fan and adjacent regions. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 185, 3, 309-338.
- Debenay J.P., Carbonel P., Morzadec-kerfourn M.-T., *et al.* 2003. Multi-bioindicator study of a small estuary in Vendée (France). *Estuarine, coastal and shelf science*, 58, 843-860.
- De vernal A. & Mudie P.J. 1989. Pliocene and Pleistocene palynostratigraphy at ODP Sites 646 and 647, eastern and southern Labrador Sea. In: *Srivastava S.P., Arthur M., Clement B. et al. (Eds.) Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, 105, Ocean Drilling Program, Texas, 401-422*.
- De Vernal A., Henry M. & Bilodeau, G. 1999. *Techniques de préparation et d'analyse en micropaléontologie. Les Cahiers du GEOTOP, n°3*. Université du Québec à Montréal, Montréal, 41 p.
- Diaz F., Naudin J.J., Courties C. *et al.* 2008. Biogeochemical and ecological functioning of the low-salinity water lenses in the

- region of the Rhone River freshwater influence, NW Mediterranean Sea. *Continental Shelf Research*, 28, 12, 1511-1526.
- Edward L.E. & Andrelle V.A.S. 1992. Distribution of selected dinoflagellate cysts in modern marine sediments. In: *Head M.J. & Wrenn J.H. (Eds.) - Neogene and Quaternary Dinoflagellate cysts and Acritarchs*. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, Dallas, Texas, 259-288.
- El Madani F. 2004. *Management of recreational waters in relationship with harmful microalgae blooms (HAB) in the Mediterranean Sea*, 25-26th October 2004 Hotel Don Antonio, Peguera- Calvià, Mallorca.
- El Madani F. 2012. *Caractérisation écologique de l'écosystème lagunaire de Nador sur la base de son peuplement phytoplanctonique*. Thèse de Doctorat, Université d'Oujda, 209 p.
- Ellegaard M. 2000. Variations in dinoflagellate cyst morphology under conditions of changing salinity during the last 2000 years in the Limfjord, Denmark. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 109, 65–81.
- Fensholt R.A., MacRae R.A., Willians G.L. 2008. DINOFLAJ2, Version 1. American Association of Stratigraphic Palynologists Data Series No. 1.
- Gaines G. & Elbrachter M. 1986. Heterotrophic nutrition. In: *Taylor F.J.R. (Ed.) - The Biology of Dinoflagellates*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 224-268.
- Guillemin M. & Houzay J.P. 1982. Le Néogène post-nappes et le Quaternaire du Rif nord oriental. Stratigraphie et tectonique des bassins de Mellila, du Kert, de Boudinar et du piedmont des Kebdana. Etudes géologiques sur la chaîne du Rif. *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc*, 314.
- Hamel D., De vernal, A. Hillaire-marcel C. & Gosselin M. 2002. Organic-walled microfossils and geochemical tracers: sedimentary indicators of productivity change in the North Water and northern Baffin Bay (high Arctic) during the last centuries. *Deep Sea Research II*, 49, 5277-5295.
- Hamman F. 1999. *Pollution urbaine et développement durable : cas de la lagune de Nador*. Mémoire de Diplôme d'Etudes Supérieures Approfondies (DESA), Faculté des Lettres & Sciences Humaines, Rabat, 66 p.
- Harland R. 1983. Distribution maps of recent Dinoflagellate cysts in bottom sediments from the North Atlantic Ocean and adjacent seas. *Palaeontology*, 26, 32, 321-367.
- Harland R., Pudsey C.J., Howe J.A. and Fitzpatrick, M.E.J. 1998. Recent dinoflagellate cysts in a transect from the Falklands Trough to the Weddell Sea, *Antarctica: Palaeontology*, 41, 1093–1131
- Head H.J. 1993. Dinoflagellates, sporomorphs, and other palynomorphs from the UpperPliocene St. Earth Beds of Cornwall, southwestern England. *Paleontological Society Memoire* 31, Canada, 62 p.
- Horstman U. 1980. Observations on the peculiar diurnal migration of a red tide Dinophyceae in tropical shallow waters. *Journal of Phycology*, 16, 481-485.
- Lankford R.R., 1977. Coastal logons of Mexico. Their origin and classification Estuarine processes. *Academic Press Inc (ed.)*, 2, 182-215.
- Larrazabal M.E. 1987. *Etude des Kystes de Dinoflagellés en Baie de Vilaine*. Synthèse Bibliographique. Nantes, Ifremer.
- Lefebvre A., Guelorget O., Perthuisot J.P., Dafir J. 1996. Evolution biogéologique de la lagune de Nador (Maroc) au cours de la période 1982-1993. *Oceanologica Acta*, 20, 2, 371-385.
- Lewis J. 1988. Cysts and sediments: Gonyaulaxpolyedra (*Lingulodinium machaerophorum*) in Loch Ceran. *Journal of the Marine Biology Association of the United Kingdom*, 68, 701-714.
- Lewis L, Dodge L.D. & Powell A.J., 1990. Quaternary dinoflagellate cysts from the upwelling system offshore Pern, Hole 686B, ODP Leg 112. In: *Suess, E., von Huene, R., et al. (Eds.), Proceeding of the Ocean Drilling Program. Scientific Results*, 112, 323-327.
- Lewis J. & Hallett, R. 1997. *Lingulodinium polyedrum* (Gonyaulax polyedra) a blooming dinoflagellate. *Oceanography and Marine Biology Annual Review*, 35, 97-161.
- Maanan M. 2003. *Etude sédimentologique du remplissage de la lagune de Sidi Moussa (côte atlantique marocaine) : caractérisations granulométrique, minéralogique et géochimique*. Thèse de Doctorat, Université Chouaib Doukkali, Faculté des Sciences El Jadida, Maroc, 172 p.
- Marret F. 1994. *Evolution paléoclimatique et paléohydrologique de l'Atlantique est-équatorial et du proche continent au Quaternaire terminal. Contribution palynologique (kystes de dinoflagellés, pollen et spores)*. Thèse de l'Université Bordeaux 1, 255 p.
- Marret F. & Zonneveld K.A.F. 2003. Atlas of modern dinoflagellate cyst distribution. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 2507, 1-200.
- Matsuoka K. 1999. Eutrophication process recorded in dinoflagellate cyst assemblages - a case of Yokohama Port, Tokyo Bay, Japan. *Science of the Total Environment*, 231, 1, 17-35.
- Morzadec-kerfourn M.T. 1977. Les kystes de dinoflagellés dans les sédiments récents le long des côtes bretonnes. *Revue Micropaléontologie*, 20, 3, 157-166.
- Morzadec-kerfourn M.T. 1989. *Autochthonous and allochthonous dinoflagellate cysts in Pleistocene marine sediments from the West African margin and their paleoenvironmental significance*. Program and Abstracts of the Fourth International Conference on Modern and Fossil Dinoflagellates, Woods Hole, MA, 81 p.
- Mudie P.J. 1992. *Circum-arctic Quaternary and Neogene marine palynofloras: paleoecology and statistical analysis*. In: *Head M.J. & Wrenn, J.H. (Eds.) - Neogene and Quaternary Dinoflagellate Cysts and Acritarchs*. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, College Station, TX, 347-390.
- Mudie P.J., Aksu A.E. & Yasar D., 2001. Late Quaternary dinoflagellate cysts from the Black, Marmara and Aegean seas: variations in assemblages, morphology and paleosalinity. *Marine Micropaleontology*, 43, 155–178.
- Mudie & Rochon 2001, Distribution of dinoflagellate cysts in the Canadian Arctic marine region. *Journal of Quaternary Science*, 16, 603-62.
- Philippart C.J.M., Cadée G.C., Van Raaphorst W. & Riegman R. 2000. Long-term phytoplankton-nutrient interactions in a shallow coastal sea: algal community structure, nutrient budgets and denitrification potential. *Limnology and Oceanography*, 45, 131-144.
- Pospelova V. & Head M.J. 2002. *Islandinium brevispinosum* sp. nov. (Dinoflagellata), a new species of organic-walled dinoflagellate cyst from modern estuarine sediments of New England (USA). *Journal of Phycology*, 38, 593-601.
- Pospelova V., Chmura G.L. & Walker H.A. 2004. Environmental factors influencing spatial distribution of dinoflagellate cyst assemblages in shallow lagoons of southern New England (USA). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 128, 7-34.
- Pospelova V., Chmura G.L., Boothman W.S. & Latimer J.S., 2005. Spatial distribution of modern dinoflagellate cysts in polluted

- estuarine sediments from Buzzards Bay (Massachusetts, USA) embayments. *Marine Ecology Progress Serie* 292, 23-40.
- Powell A.J., Dodge J.D. & Lewis J. 1990. Late Neogene to Pleistocene palynological facies of the Peruvian continental margin upwelling, Leg 112. In: Suess, E., von Ruene, R., *et al.* (Eds.), *Proceeding of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 112, 297-321.
- Radi T. 2008. *Les kystes de dinoflagellés dans les sédiments de surface du pacifique du nord-est : distribution et potentiel comme proxy de paléoproduktivité*. Thèse Université du Québec à Montréal, Doctorat en sciences de l'environnement, 299 p.
- Raji O. 2014. *Événements extrêmes du passé et paléo-environnements: Reconstitution à partir des archives sédimentaires de la lagune de Nador, Maroc*. Thèse de Doctorat National, Université de Mohammed V- Agdal, Faculté des Sciences de Rabat, Maroc, 416 p.
- Reid P.C. 1972. Dinoflagellate cyst distribution around the British Isles. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 52, 939-944.
- Reid, P.C., 1977. Peridiniacean and glenodiniacean dinoflagellate cysts from the British Isles. *Nova Hedwigia*, 29, 429-463.
- Rochon A. 1997. *Palynologie marine dans le Nord-Est de l'Atlantique Nord. Distribution des kystes de dinoflagellés dans les sédiments récents et changements environnementaux le long des marges sud scandinaves au cours du dernier cycle climatique*. Thèse de Doctorat, université de Montréal, 178 p.
- Rochon A., De vernal A., Turon J.-L. *et al.* 1999. Distribution of recent dinoflagellate cysts of the North Atlantic Ocean and adjacent seas in relation to sea-surface parameters. *American Association of Stratigraphic Palynologists Contribution Series*, 35, 1-152.
- Sangiorgi F. & Donders T.H. 2004. Reconstructing 150 years of eutrophication in the north-western Adriatic Sea (Italy) using dinoflagellate cysts, pollen and spores. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 60, 69-79.
- Shamsudin, L., Awang A., Ambak A. & Ibrahim S. 1996. Dinoflagellate bloom in tropical fish ponds of coastal waters of the South China Sea. *Environmental Monitoring and Assessment (Historical Archive)*, 40, 303-311.
- Siringan F.P., Azanza R.V., Macalalad N.H. *et al.* 2008. Temporal changes in cyst densities of *Pyrodinium bahamense* var. *Compressum* and other dinoflagellates in the Manila Bay, Philippines. *Harmful Algae*, 7, 4, 523-531.
- Smayda, T. J. (1980). Phytoplankton species succession. In: Moms, I. (ed.) *The physiological ecology of phytoplankton*. Blackwell, Oxford, 493, 570.
- Sprangers M., Dammers N., Brinkhuis H., *et al.* 2004. Modern organic walled dinoflagellate cyst distribution offshore NW Iberia; tracing the upwelling system. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 128, 97-106.
- Sretre M.M.L., Dale B., Abdullah M.I. & Sretre, G.P.O. 1997. Dinoflagellate cysts as potential indicators of industrial pollution in a Norwegian fjord. *Marine Environmental Research*, 44, 167-189.
- Steidinger K.A. 1983. A re-evaluation of toxic dinoflagellate biology and ecology in *Progress in Phycological Research*, vol.II, Round, F. and Chapman, D. (Eds.). Elsevier North Holland, New York.
- Steidinger K.A. & WALKER, 1984. Life histories dispersal and survival in Marine Planktonic Dinoflagellates in : *Marine Plankton Life Cycle Strategies*; CRC Press, Inc. Boca Raton Florides, 19-34.
- Taylor F.J.R. & Pollinghe, U. 1987. Ecology of dinoflagellate. A general and marine ecosystems. In: Taylor F.J.R. (Ed.): *The biology of dinoflagellates. Botanical Monogr.* Blackwell Sc., Oxford, 21, 388-502.
- Tesson M. 1977. Régime hydrologique et hydrodynamique de la Sebkhia Bou Areg (Lagune de Nador, Maroc). Bilan du printemps 1976. *Travaux et documents, Institut scientifique des pêches maritimes*, Casablanca, 27, 67.
- Vander der Zwan C.J., 1990. Palynostratigraphy and palynofacies reconstruction of the Upper Jurassic to lowermost Cretaceous of the Draugen Field; offshore Mid Norway. *Review of Palaeobotany & Palynology*, 62, 157-186.
- Wall D. & Dale B. 1968. Modern dinoflagellate cysts and the evolution of the Peridinaia. *Micropaleontology*, 14, 265-304.
- Wall D., Dale B., Lohmann G. & Smith W. 1977. The environmental and climatic distribution of dinoflagellate cysts in modern marine sediments from regions in the north and south Atlantic Oceans and adjacent seas. *Marine Micropaleontology*, 2, 121-200.
- Whitaker M.F., 1984. The usage of palynostratigraphy and palynofacies in definition of Troll Field geology. 6th Offshore Northern Seas Conference and Exhibition, Stavanger 1984, Paper G6.
- Zonneveld K.A.F. 1997. Dinoflagellate cyst distribution in surface sediments from the Arabian Sea (northwestern Indian Ocean) in relation to temperature and salinity gradients in the upper water column. *Deep-Sea Research II*, 6-7, 1411-1443.
- Zonneveld K.A.F., Versteegh G.J.M & De lange G.J. 2001. Palaeoproductivity and post-depositional aerobic organic matter decay reflected by dinoflagellate cyst assemblages of the Eastern Mediterranean S1 sapropel. *Marine Geology*, 172, 181-195.
- Zourarah B., Maanan M., Carruesco C. *et al.* 2007. Fifty-year sedimentary record of heavy metal pollution in the lagoon of Oualidia (Moroccan Atlantic coast). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 72, 359-369.

Manuscrit reçu le 05/04/2016

Version révisée acceptée le 05/12/2016

Version finale reçue le 23/12/2016

Mise en ligne le 30/12/2016