

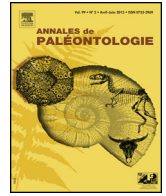


Disponible en ligne sur

ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France

EM|consulte
www.em-consulte.com



Article original

Évolution des environnements de la Lagune de Tunis du Pléistocène moyen à l'Holocène



Middle Pleistocene-Holocene environmental evolution of the Tunis lagoon

Inès Hajji^{a,*}, Chedia Zaara Ben Mosbah^{a,1}, Narjess Karoui-Yaakoub^{a,b},
Michel Condomines^c, Olivier Bruguier^c, Fredj Chaabani^a, Francesco Sciuto^d

^a Laboratoire des Ressources Minérales et Environnement-département de Géologie, Faculté des Sciences de Tunis, Université Tunis El Manar, Tunisie

^b Faculté des Sciences de Bizerte, Université de Carthage, Département des Sciences de la Terre, Jarzouna, 7021 Bizerte, Tunisie

^c Géosciences Montpellier, Université de Montpellier et CNRS (UMR 5243), place Eugène-Bataillon, 34095 Montpellier cedex, France

^d Department of Biological, Geological and Environmental Sciences-Earth Sciences Section (Palaeoecological Research Group), University of Catania, Corso Italia, 55, 95129 Catania, Italie

INFO ARTICLE

Historique de l'article :

Reçu le 29 août 2023

Accepté le 12 octobre 2023

Mots clés :

Lac de Tunis

Microfaune

Macrofaune

Pléistocène

Holocène

Datations U-Th

Evolution environnementale

RÉSUMÉ

La Lagune de Tunis, située dans la partie septentrionale de la Tunisie, fait partie des zones humides côtières sensibles aux variations climatiques et anthropiques. Cet écosystème fragile était une baie ouverte il y a 190 ka BP. Aujourd'hui, il est séparé de la Mer Méditerranée par un cordon littoral sableux alimenté essentiellement par l'Oued Madjerda. Cette étude, basée sur une approche géologique multidisciplinaire, se propose d'examiner l'évolution de la dynamique du Lac de Tunis, ainsi que les changements environnementaux récents qui contrôlent la sédimentation. Deux carottes LN1 (55 m) et LS1 (40 m) ont été prélevées dans les dépôts alluviaux, respectivement au Nord-Est et au Sud-Est du Lac. Ces carottes ont fait l'objet d'une étude détaillée qui a permis de suivre la répartition spatio-temporelle du stock sédimentaire. Les données de cette étude, complétées par celles des travaux antérieurs, ont permis d'affiner et d'établir des esquisses de corrélations spatio-temporelles des sédiments comblant la lagune de Tunis. Ces corrélations sont établies entre la carotte LN1 et la carotte prélevée au SE (LS1). Le suivi spatio-temporel des dépôts des sédiments de ces carottes a permis de mettre en évidence une tendance d'évolution générale régressive, allant d'un milieu franchement marin vers un milieu lagunaire parfois communiquant avec la mer, en allant du Pléistocène moyen (un âge compris entre 159 et 205 ka) vers l'Holocène-Actuel. L'identification des associations d'ostracodes et de foraminifères benthiques qui évoluent d'environnements marins ouverts à lagunaires a permis de tracer l'histoire de la lagune de Tunis au cours des deux derniers millénaires. Elle débute par un milieu marin ouvert (aux alentours de 2030 ans BP) suivi par un milieu lagunaire ouvert vers 1700 ans BP.

© 2023 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

ABSTRACT

The lake of Tunis, located in northern Tunisia, is part of the coastal wetlands sensitive to climatic and anthropic variations. This fragile ecosystem was an open bay 190 ka BP ago. Today, it is separated from the Mediterranean by a sandy barrier fed mainly by the Madjerda wadi. This study, based on a multi-disciplinary geological approach, examines the evolution of the dynamics of the Tunis Lake, as well as the recent environmental changes that control the sedimentation. Two cores LN1 (55 m) and LS1 (40 m) were collected in the alluvial deposits, respectively in the North-East and South-East of the Lake. These cores have been studied in detail to determine the spatio-temporal distribution of the sedimentary stock. The data from this study complemented by those from previous work allowed us to refine and establish

Keywords:

Tunis Lake

Microfauna

Macrofauna

Pleistocene

Holocene

U-Th dates

Environmental evolution

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : ineshajji1990@gmail.com (I. Hajji).

¹ À la mémoire de notre chère co-auteur Chedia Zaara Ben Mosbah, qu'elle repose en paix.

<https://doi.org/10.1016/j.annpal.2023.102634>

0753-3969/© 2023 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

spatio-temporal correlation scenarios of the sediments filling the Tunis lagoon. These correlations are established between the LN1 core and the core taken at the SE (LS1). Spatial and temporal monitoring of sediment deposition in these cores has revealed a general regressive evolutionary trend, from a frankly marine environment to a lagoon environment more or less communicating with the sea, from the Middle Pleistocene (an age between 159 and 205 ka) to the present Holocene. The identification of ostracod associations typical of open marine or lagoon environments and of benthic foraminifera associations of lagoon environments has allowed us to trace the history of the Tunis Lake over the last two millennia. It begins with an open marine environment (around 2030 years BP) followed by an open lagoon environment around 1700 years BP.

© 2023 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

1. Introduction

Le littoral tunisien comporte plusieurs systèmes de milieux humides parmi lesquels on trouve des sebkhas, des lacs et des lagunes. Ces dernières se caractérisent par des variations importantes dans la salinité de l'eau qui amènent le changement de faune et de flore spécifiques. Généralement les systèmes lagunaires constituent des milieux d'interfaces entre le domaine continental et le domaine marin. La plupart de ces lagunes correspondent à des étendues d'eau de mer comprises entre la terre et un cordon littoral généralement traversé par des passes. Elles apparaissent comme des systèmes littoraux hautement évolutifs sous la dépendance de multiples facteurs naturels et anthropiques.

En Tunisie, les milieux lagunaires et les environnements côtiers holocènes étudiés révèlent une grande variabilité des conditions hydrodynamiques et sédimentologiques, ainsi qu'une rapidité d'évolution de leur cadre morphostructural, une grande vulnérabilité et une biodiversité considérable dans les écosystèmes qu'ils abritent.

En effet, leurs peuplements de foraminifères et d'ostracodes révèlent des caractères laguno-marins et laguno-saumâtres. Il s'agit des environnements suivants : le Lac de Tunis (Carbonel et Pujos, 1981 ; Carbonel et al., 1981 ; Jouirou, 1982 ; Zaara Ben Mosbah et al., 2017), la sebkha de l'Ariana (Carbonel, 1980 ; Zaara Ben Mosbah, 2012 ; Zaara Ben Mosbah et al., 2017), la Sebkha de El-Guetiate de Skhira (Zaibi, 2010), la Lagune de Ghar El Melh (Mansouri, 1979), le Lac Ichkeul (Stevenson et Battarbee, 1991) et la Lagune El Melah de Soliman (Ruiz et al., 2006). Ces milieux sont soumis à diverses contraintes anthropiques : activités agricoles et industrielles, rejets domestiques, dragage etc. La préservation de ce milieu lagunaire fragile, d'intérêt socio-économique important, nécessite donc une connaissance des processus contrôlant son évolution et la détermination des facteurs responsables de ses modifications.

Cette étude à la fois sédimentologique, minéralogique et paléoécologique s'intègre dans un axe de recherche traitant des interactions entre la faune et son environnement lors des variations climatiques comme proposé dans la succession fossile de la Sicile SE par Sciuto et al. (2015).

2. Matériel et Méthodes

La Lagune de Tunis est située au Nord-Est de la Tunisie entre 36°45' et 36°50' de latitude Nord, 10°10' et 10°20' de longitude Est (Fig. 1). Elle est séparée du golfe de Tunis par un étroit cordon littoral continu qui s'étend de l'embouchure de l'Oued Meliane aux collines de Sidi Bou Saïd. Elle est limitée à l'Ouest par un bourrelet s'étendant de Jbel Ammar à la colline de Radès sur laquelle s'installe la ville de Tunis. Au Nord, elle est séparée de la Sebkha de l'Ariana par la plaine de Soukra-Chotrana. Au Sud, elle est bordée par la zone urbaine de Mégrine.

Au point de vue structural, la Lagune de Tunis correspond à un fossé d'effondrement limité par des failles normales de direction

NW-SE d'âge Oligo-Miocène qui ont joué au Quaternaire ancien en jeu coulissant (Ben Ayed et al., 1985) (Fig. 1).

Les failles sont masquées par des alluvions récentes (Pimienta, 1953 ; Jauzein, 1967, 1971 ; Ennabli, 1980). La zone d'étude fait partie d'un ensemble de vastes plaines quaternaires (Fig. 1), bordée par des reliefs constitués par des formations géologiques d'âge allant du Trias au Quaternaire récent (Burolet, 1956 ; Pimienta, 1959 ; Jauzein, 1967 ; Pini, 1971 ; Ben Ayed et al., 1979 ; Jouirou, 1982 ; Oueslati, 1994, 2004 ; Zaara Ben Mosbah et al., 2010 ; Farhat et Ben Mammou, 2010).

Le remplissage de ces plaines a été contrôlé essentiellement par les apports fluviaux de l'oued Madjerda et de l'oued Méliane (Jauzein, 1967 ; Pimienta, 1959). L'érosion des marnes et des calcaires de Jbel Nahli (Pini, 1971 ; Burolet, 1956 ; Ben Ayed, 1980), des alternances de sables, des grès et des argiles des collines de Sidi Bou Saïd et Gammarth, (Colleuil, 1976 ; Jauzein, 1967) ainsi que celle des marnes et des calcaires des collines de Sidi Bel Hassen et de Jbel Jeloud (Solignac, 1927 ; Karoui-Yaakoub et al., 2011 ; Zaara Ben Mosbah et al., 2017) ont contribué au comblement de ces plaines.

Une carotte LS1 de 40 m de longueur a été prélevée au Sud-Est du bassin. Les données de cette étude complétées par celles des travaux antérieurs (Zaara Ben Mosbah et al., 2017) ont permis d'affiner et d'établir des esquisses de corrélation spatio-temporelles des sédiments comblant la lagune de Tunis. Ces corrélations sont établies entre la carotte LN1 déjà étudiée dans Zaara Ben Mosbah et al. (2017) et la carotte prélevée au SE (LS1). La carotte LS1 a été décrite lithologiquement immédiatement après son prélèvement. La description lithologique et le découpage des niveaux sédimentaires ont été réalisés en fonction du changement de faciès observable à l'œil nu. Les échantillons prélevés à différentes profondeurs ont été séchés à 50 °C et soumis à différentes analyses : granulométriques, minéralogiques, paléontologiques et quelques-uns ont fait l'objet de datations radiochronologiques U/Th.

La carotte LN1 de 55 m de profondeur (Zaara Ben Mosbah et al., 2017) a été prélevée au Nord-Est de la Lagune de Tunis (Fig. 1) lors d'une campagne géotechnique dirigée par le Ministère de l'Équipement de Tunis en 2014. La carotte LS1 a été prélevée au Sud-Est de la lagune de Tunis près du canal de Radès lors d'une campagne géotechnique dirigée par la société GEOCONSEIL.

L'analyse granulométrique de la fraction supérieure à 63 µm a été réalisée par tamisage et celle de la fraction fine a été assurée par microgranulométrie laser « Analysette 22 Nano Tec » qui combine une grande plage de mesure, une haute résolution et sensibilité. Les carbonates ont été mesurés par calcimétrie à l'aide d'un calcimètre Bernard qui permet de mesurer le volume du CO₂ dégagé par action de l'acide chlorhydrique (HCl) sur le carbonate de calcium (CaCO₃) d'un échantillon de sol ou de roche. L'analyse minéralogique du sédiment brut et de la fraction argileuse (<2 µm), a été faite en utilisant un diffractomètre MRD Pro PANalytical X'Pert PRO, à anticathode de cuivre (radiation Kα1) avec un programme d'exploitation X'Pert High Score Plus : les

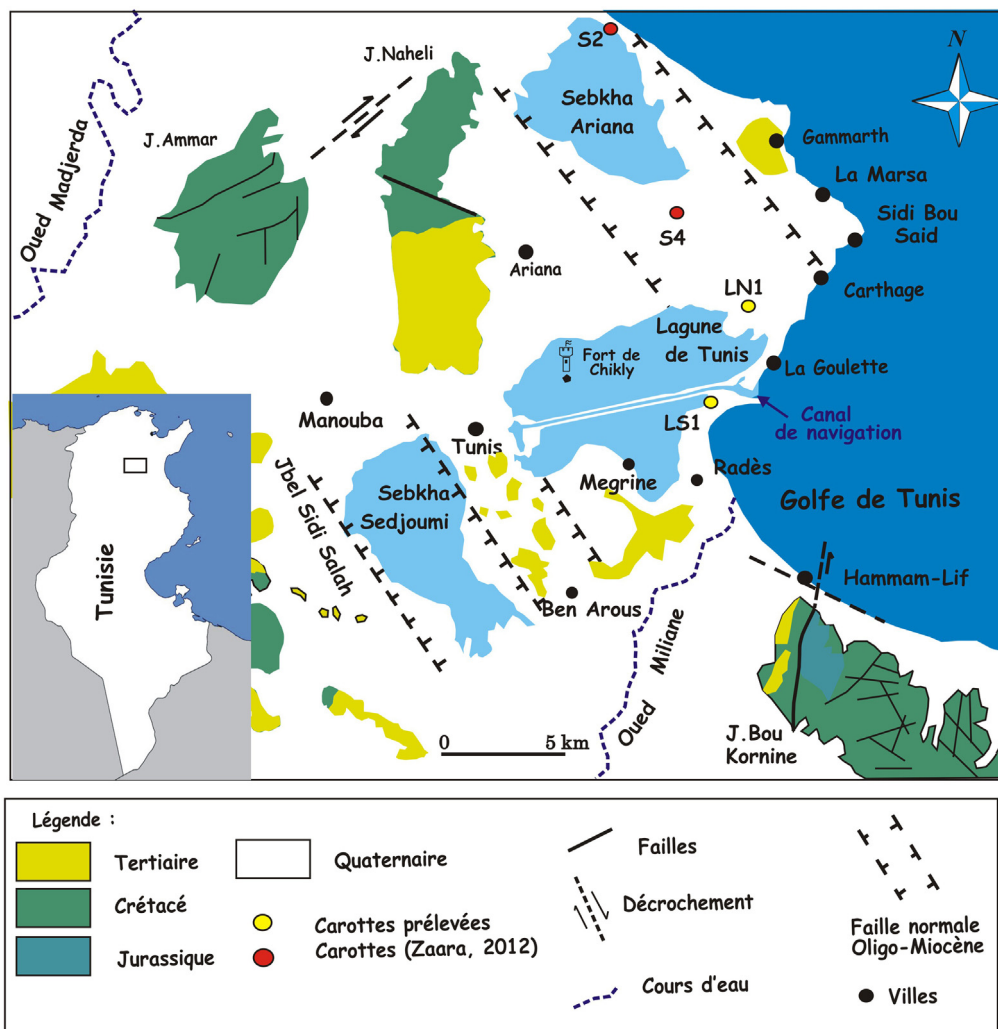


Fig. 1. Carte géographique et géologique et cadre morpho-structural des environs de la lagune de Tunis (d'après Pini, 1971 ; Ben Ayed et al., 1985 ; Zaara et al., 2017).
Geographical and geological map and morpho-structural map of the Tunis lagoon (after Pini, 1971 ; Ben Ayed et al., 1985 ; Zaara et al., 2017).

estimations semi-quantitatives de la composition minéralogique ont été réalisées par diffractométrie des rayons X selon la méthode de poudre, qui consiste à irradier l'échantillon brut finement broyé dans l'espace angulaire compris entre 2 et 70° en utilisant la radiation du cuivre. Le diffractogramme des rayons X obtenu permet d'identifier la structure de la plupart des minéraux présents dans le sédiment. Chaque minéral étant caractérisé par son réseau cristallin spécifique, il possède, par conséquent, son propre spectre de diffraction où sont enregistrés des pics de différentes intensités, dont la distribution et la position sur le spectre permettent de déterminer la nature du minéral diffracté (Hajji, 2015).

Pour l'analyse de la faune, 20 échantillons ont été prélevés le long de la carotte LS1 (Fig. 2) et 31 échantillons ont été prélevés de la carotte LN1 (Hajji, 2015 ; Zaara Ben Mosbah et al., 2017), à partir de chaque échantillon, une aliquote de 100 g de sédiment a été lavée et séchée. Les échantillons contiennent une microfaune très abondante et ont été subdivisés en deux fractions dont une seule a été analysée. Les espèces d'ostracodes ont été plus précisément examinées ; les espèces marqueurs identifiées sous la loupe binoculaire ont été photographiées au microscope électronique à balayage ; la détermination et la reconnaissance des ostracodes ont été réalisées dans le Laboratoire du Service Paléontologie -Sédimentologie à l'Office National des Mines à Tunis, Tunisie. Le Matériel fossile est conservé à la Faculté des Sciences de Tunisie.

Les datations U-Th des coraux prélevés de la carotte LS1 ont été réalisées par ablation laser et spectrométrie de masse à source plasma et multi-collection (LA-MC-ICP-MS) dans le Laboratoire Géosciences Montpellier à l'Université de Montpellier. Cette méthode, adaptée de celle d'Eggins et al. (2003), est décrite en détail dans l'article de Condomines et al. (2023).

3. Résultats

3.1. Sédimentologie

Les sédiments des deux carottes LN1 et LS1 montrent de la base au sommet deux séquences sédimentaires grano-croissantes, se ramenant chacune à des argiles, des silts et des sables.

La carotte LN1 (Fig. 2) débute par la séquence I (correspondant à 44,5 m d'épaisseur), et se compose de deux termes ; un terme inférieur compris entre 55 et 32 m de profondeur, formé de silts argileux de couleur grisâtre, relativement riches en matière organique et un terme supérieur situé entre 32 m à 10,5 m de profondeur, constitué essentiellement de silts, d'argiles et de sables. Il montre, à la base, un faciès silto-argilo sableux de 2 m, surmonté par un faciès silto-sablo-argileux de 13 m d'épaisseur admettant des intercalations de sables silteux (1,5 m), de silts argilo-sableux (1 m) et de sables silto-argileux (3 m). Ce terme est riche en coraux,

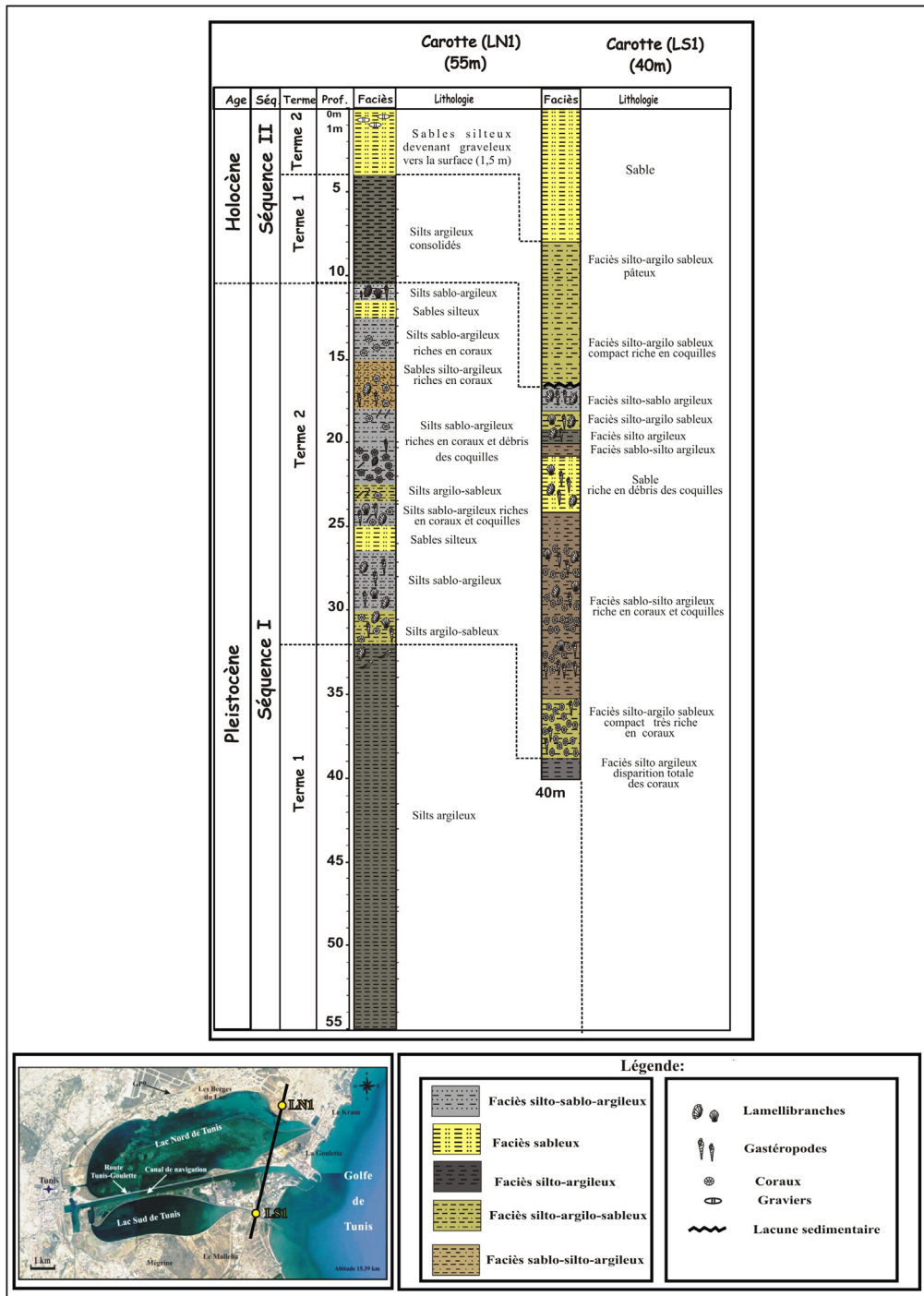


Fig. 2. Log stratigraphique et évolution verticale des dépôts sédimentaires des carottes prélevées respectivement au NE (55 m), au SE (40 m) et au centre (1,15 m) de la lagune de Tunis. Stratigraphic log and vertical evolution of the sediments in the cores collected respectively at the NE (55 m), the SE (40 m) and at the center of the Tunis lagoon.

gastéropodes et radioles d'échinodermes. L'analyse granulométrique de la fraction sableuse de cette séquence I montre des sables fins, bien classés à moyennement classés (Hajji, 2015). Vers le Haut, la séquence II, (10,5 m), montre à la base un terme silto-argileux qui s'étend sur 6,5 m, auquel succède un terme sableux de 4 m très pauvre en fossiles, devenant graveleux au sommet. Comme dans la séquence précédente les sables de cette séquence sont fins, bien à moyennement classés.

La carotte LS1 (Fig. 2) est constitué d'abord par la séquence I, (22,5 m) qui se compose de deux termes ; un terme inférieur

compris entre 40 et 39 m de profondeur, formé à la base par un niveau de silts argileux de 1 m d'épaisseur de couleur grisâtre, relativement riche en matière organique. Et un terme supérieur situé entre 39 m et 17,5 m de profondeur, constitué à la base par un faciès silto-argilo-sableux (4 m), qui se poursuit par un faciès sablo-silto-argileux (10 m), des sables (4,5 m) et silts sablo-argileux (3 m).

La base de cette séquence est pauvre en macrofaune. En allant vers le sommet, les coraux apparaissent avec des lamellibranches et des gastéropodes, vers le haut la séquence II, (17,5 m) est constituée aussi de 2 termes : un terme inférieur constitué par un faciès

silto-argilo sableux compact de 9,5 m d'épaisseur et un terme supérieur constitué de 8 m de sables, dépourvu de coraux et de macrofaunes (Fig. 2).

L'analyse granulométrique de la fraction sableuse montre des sables fins à moyens, modérément classés à mal classés. En effet, les sables fins à moyens des deux carottes LN1 et LS1 sont riches en microfaune benthique (*Ammonia* spp., *Elphidium* spp., miliolids) et en débris de coquilles de lamellibranches et gastéropodes, témoignant d'un apport bioclastique d'origine marine.

De plus le faciès silto-argilo-sableux de la séquence I de la carotte LS1 se caractérise par la présence de débris de végétaux témoignant d'un apport sédimentaire d'origine continentale. La présence de ces racines de végétaux pourrait s'expliquer par le fait que la lagune de Tunis est entourée par des zones basses, très plates, inondables pendant la saison hivernale (les crues saisonnières par la Madjerda et l'oued Meliane), et couverte d'un manteau végétal de plantes halophiles.

Les résultats de l'analyse minéralogique des carottes prélevées dans le bassin sédimentaire de la lagune de Tunis ont permis d'identifier principalement sept espèces minérales : le quartz, la calcite, la dolomite, la calcite.

magnésienne, l'aragonite, l'halite et la pyrite. Le quartz et la calcite sont les deux minéraux les plus abondants dont les teneurs maximales peuvent atteindre respectivement 75 % et 66 %. Le quartz est le plus abondant dans les sédiments des deux carottes profondes (LN1 et LS1) avec une moyenne d'environ 50 %. Sa teneur varie de 15 à 75 % pour la première carotte (Zaara Ben Mosbah et al., 2017), de 23 % à 69 % pour la deuxième. Ces teneurs sont inversement proportionnelles à celles de la calcite et proportionnelles à celles de la fraction sableuse (Fig. 3). L'enrichissement en quartz est la conséquence d'un apport détritique terrigène suite à un climat devenant beaucoup plus pluvieux et humide. Ces apports détritiques correspondent généralement à des phases régressives. De plus, les dunes littorales de Raoued et de Gammarth contribuent à l'alimentation de la Lagune de Tunis en sables avec des quantités non négligeables (Jouïrou, 1982).

Les teneurs en carbonates des sédiments bruts dans les dépôts de la partie nord-est de la lagune (carotte LS1), montrent des valeurs variant de 17 à 80 % avec une moyenne de 45 %, de même dans le bassin sud ; la carotte (LS1) située près du port de Radès présente des teneurs en CaCO₃ comprises entre 29 et 67 % avec une teneur moyenne de l'ordre de 40 % (Fig. 3).

Les autres minéraux non carbonatés, halite et pyrite, sont présents avec des teneurs très faibles. Les teneurs en halite varient dans la carotte profonde LS1 de 2 à 10 % avec une valeur moyenne de 3 %. En effet, la présence de ce minéral pourrait attester une fermeture du milieu sédimentaire et son évolution vers un milieu évaporitique (Zaara Ben Mosbah, 2012). Quant à la pyrite, elle serait d'origine diagenétique formée suite à une diminution du taux d'oxygène liée à une évolution du milieu de dépôt vers un environnement beaucoup plus fermé et confiné (réducteur).

L'analyse minéralogique du cortège argileux des sédiments quaternaires des deux carottes prélevées dans la lagune de Tunis a révélé la présence de quatre types d'argiles. Il s'agit de la kaolinite, de la smectite, de l'illite et d'un peu de chlorite (voir plus bas). La kaolinite et l'illite sont les deux minéraux les plus abondants dont les teneurs maximales peuvent atteindre respectivement 79 % et 65 % dans la carotte LN1, 56 % et 67 % dans la carotte LS1. Le suivi de l'évolution de la smectite en fonction de la profondeur a permis de noter que les valeurs les plus élevées sont enregistrées essentiellement dans les silts argileux prélevés entre 32 et 55 m de profondeur au NE de la lagune. De même, en allant vers le centre, les teneurs en smectite varient de 39 % à 63 % dans la partie basale de la carotte. Vers le SE, à 10,8 m de profondeur, la smectite est très abondante et sa teneur atteint 74 % (Fig. 4). La chlorite est le minéral le moins abondant, il représente 5 % en moyenne du cortège argileux et se

manifeste par une mauvaise répartition verticale au NE de la lagune. En allant vers le SE on note une abondance remarquable de ce minéral dont la teneur atteint 84 % dans la partie sommitale à 12 m de profondeur. Dans la carotte LS1, les teneurs sont nulles pour des profondeurs comprises entre les niveaux à 21 et 25 m. Entre le sommet et 8 m de profondeur, on note une absence totale des minéraux argileux (Fig. 4).

L'estimation semi quantitative a montré l'abondance de la kaolinite avec des teneurs variant de 29 à 79 % (Zaara Ben Mosbah et al., 2017), avec une répartition verticale presque monotone. Elle se concentre essentiellement dans les sédiments profonds du secteur NE, d'âge Pléistocène-Holocène. L'abondance de ce minéral dans ce secteur reflète la composition minéralogique moyenne de l'arrière-pays, dont le bassin versant est constitué de terrains allant du Trias au Paléocène à dominance illite-kaolinite au Trias et au Crétacé inférieur et à dominance smectite, kaolinite et illite au Crétacé supérieur-Paléocène (Zaara Ben Mosbah et al., 2017). Par conséquent, en allant vers le SE du bassin, les teneurs de la kaolinite sont plus faibles avec une valeur moyenne de 28 %. Cette évolution latérale de la teneur de la kaolinite indique qu'elle se concentre au Nord-est et au centre du bassin après avoir échappé à la sédimentation précoce pour se déposer dans les milieux les plus calmes (Zaara Ben Mosbah, 2012), d'une part, à cause de sa taille fine et, d'autre part, en conséquence de sa stabilité et sa résistance à l'altération.

Le cortège des minéraux argileux des sédiments comblant le NE et le SE du bassin sédimentaire de la Lagune de Tunis montre la présence de l'illite tout le long de la colonne sédimentaire (Fig. 4).

La smectite présente dans quelques niveaux, surtout silto-argileux, pourrait être héritée des séries argileuses et marno-calcaires d'âge crétacé et tertiaire qui affleurent aux alentours de la lagune. La chlorite est le minéral le moins abondant. Sa répartition verticale dans les carottes LN1 et LS1 (Fig. 4) reflète la régularité des apports détritiques, à partir des formations sablo-argileuses de Sidi Bou Saïd-Amilcar qui sont riches en chlorite, ainsi que des affleurements jurassiques dans les massifs du Jebel Amar (Alouani et Tlig, 1991). Elle montre un enrichissement pendant les périodes climatiques froides où les apports détritiques sont soutenus.

3.2. L'évolution faunistique et biosédimentaire (Carotte LS1)

La répartition des ostracodes dans les dépôts de la carotte prélevée au sud-est de la Lagune de Tunis a permis d'établir une reconstitution paléoenvironnementale de cette zone humide au cours du Pléistocène et de l'Holocène, par comparaison avec les associations citées au niveau du littoral tunisien et méditerranéen de façon générale.

L'analyse des assemblages de la carotte LS1 (20 échantillons) a permis d'identifier 34 espèces. Les espèces identifiées sont dans l'ensemble presque entièrement marines et caractéristiques des étages bathymétriques infralittoral à ciralittoral supérieur. Les espèces de milieu lagunaire saumâtre sont observées, essentiellement, dans les dépôts du deuxième terme de la séquence II de la carotte LS1, de même pour la carotte LN1. L'étude faunistique de la colonne stratigraphique a permis d'identifier plusieurs formes réparties sur les différents termes de la série, qui sont décrites ci-dessous (Fig. 5).

La comparaison des associations observées nous a permis d'identifier deux groupes d'échantillons caractérisant deux parties différentes de la carotte ; la partie inférieure de 40 m à 24 m de profondeur, avec alternance des faciès silto-argilo sableux et des sables silto argileux est caractérisée par une ostracofaune bien diversifiée qui compte 32 espèces et semble liée à une richesse exceptionnelle en coraux : les plus fréquentes sont *Carinocythereis carinata*, *Leptocythere fabaeformis*, *Cytheridea neapolitana*, *Xestoleberis communis*, *Costa edwardsii*, *Loxiconcha rhomboidea*, *Lindisfarnia agilis*. À la base de cette partie et entre les échantillons ER48 (40 m) et ER44

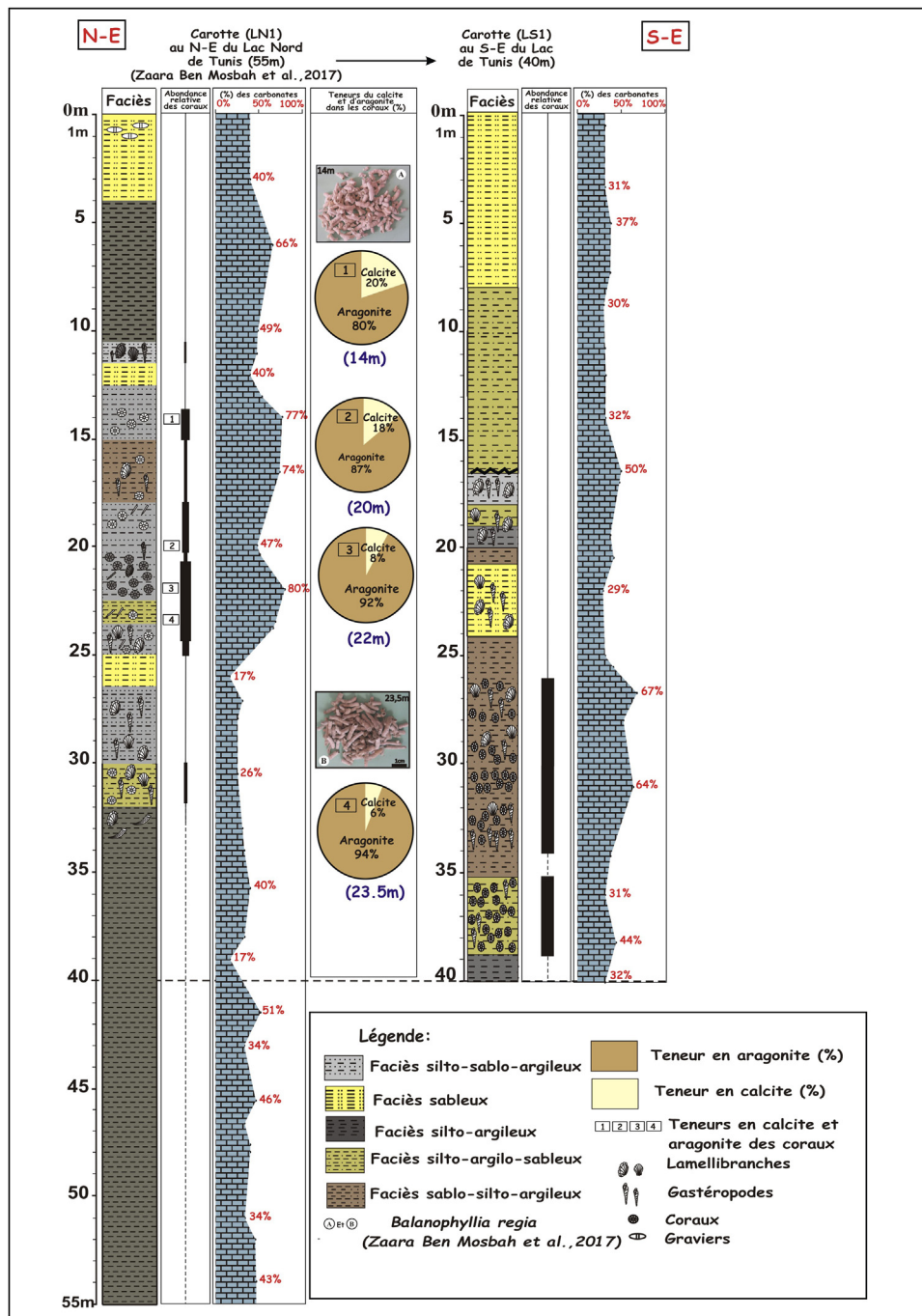


Fig. 3. Répartition des teneurs en carbonates en relation avec l'abondance relative des coraux dans les sédiments de la lagune de Tunis.
Distribution of carbonate content in relation to the relative abundance of corals in the sediments of the Tunis lagoon.

(34,2 m) on note l'apparition des deux espèces *Krithe* sp. et *Parakrithe* sp qui sont deux genres ubiquistes vivant dans des substrats fins et très fins. Puis en moindre abondance les *Aurila convexa*, *Loxoncha obliquata*, *Xestoleberis dispar*, *Bairdia mediterranea* et avec une faible diversité l'espèce *Cyprideis torosa* (Fig. 5) indiquant une alternance entre les espèces des milieux marins circalittoral supérieur-infralittoral à côtier et saumâtre traduisant une alternance remarquable des niveaux à fort hydrodynamisme et des niveaux à faible hydrodynamisme. De plus La présence de la pyrite avec des faibles teneurs entre 3 % et 9 % avec L'observation microscopique a révélé la présence des organismes pyritisés, accompagné par la présence de la matière organique, Sa présence pourrait donc témoigner d'un phénomène de confinement dû à un enrichissement en

matière organique et à la réduction de la tranche d'eau, suite à une régression marine. En allant vers le sommet entre 17 et 16,5 m de profondeur un niveau composé par une alternance des sables silto- argileux et des silts argileux montre une augmentation remarquable en pyrite entre 9 et 12 % (Fig. 4) et une réapparition brusque de l'espèce *Cyprideis torosa* (Fig. 5) avec disparition totale des coraux (Fig. 5) liée à une évolution du milieu de dépôt vers un environnement beaucoup plus fermé et confiné (lagune fermée).

Vers le sommet l'évolution verticale de la sédimentation montre également un changement microfaunistique (Fig. 5) marqué par l'augmentation des formes infralittorales à côtières et par l'apparition des ostracodes indicateurs d'un environnement marin peu profond correspondant au domaine infralittoral. Parmi ces

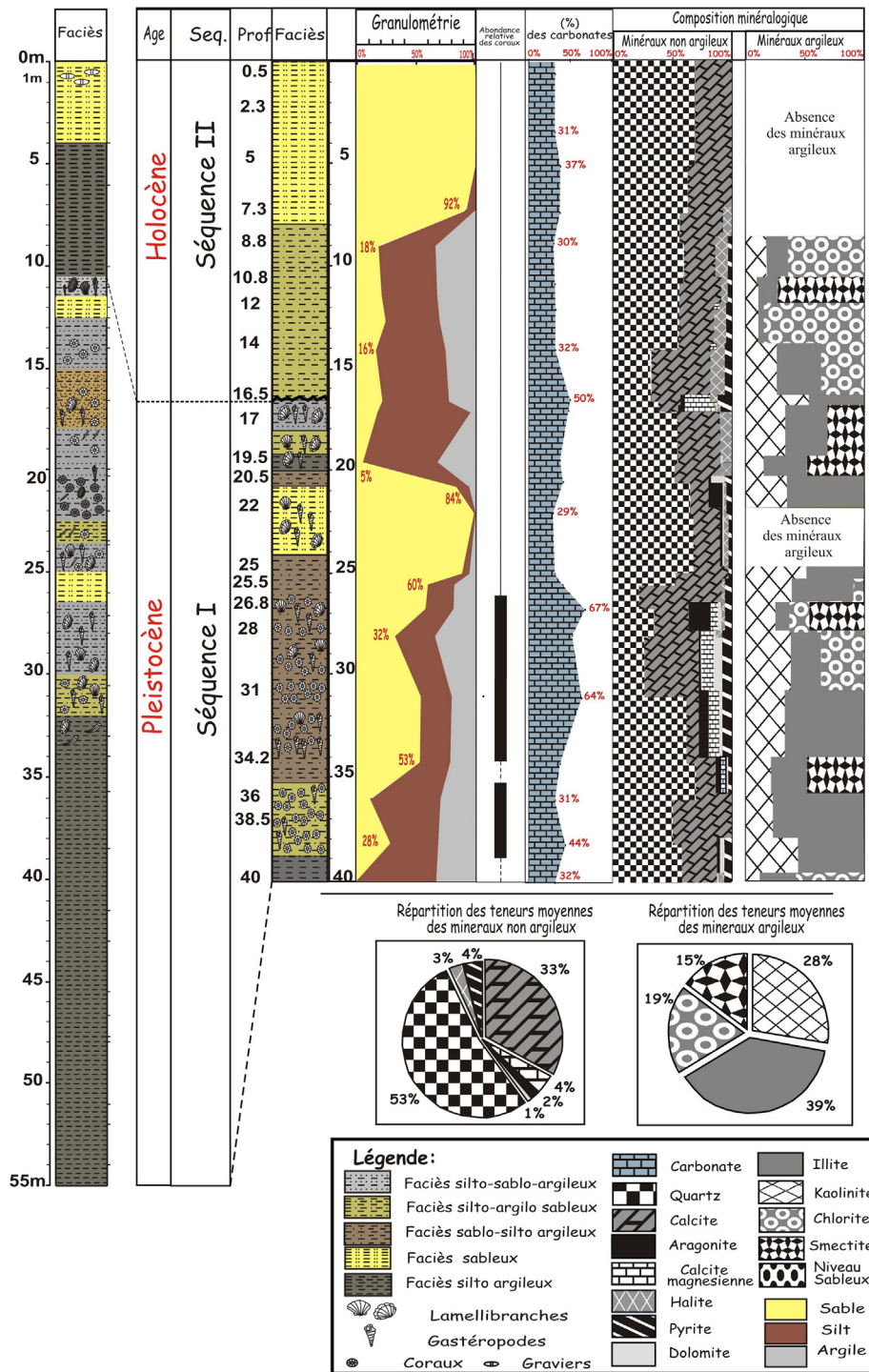


Fig. 4. Évolution verticale du faciès, de la granulométrie, des carbonates, des minéraux argileux et non argileux le long de la colonne lithostratigraphique de la carotte LS1 prélevée au SE de la lagune de Tunis.
 Vertical evolution of facies, grain size, carbonates, clayey and non-clayey minerals down the lithostratigraphic column of the LS1 core sampled on the SE of the Tunis lagoon.

ostracodes, on reconnaît le *Loxoconcha rhomboidea*, *Semicytherura incongruens* et *Costa edwardsii* (Fig. 5).

Entre 16,5 m et 8,8 m de profondeur dominant des ostracodes typiques d'un milieu marin côtier, la densité de l'ostracofaune est ici la plus élevée avec une absence totale des coquilles (gastéropodes et lamellibranches). Ce niveau présente une base érosive avec le niveau précédent traduisant probablement un milieu à haute

énergie et soumis à d'importantes influences marines, suite à des tempêtes.

Le terme 2 de la séquence II, compris entre la surface et 8,8 m de profondeur, est marqué par une diminution progressive des formes marines côtières. L'absence de coraux et la richesse ostracodes lagunaires (*Xestoleberis dispar*, *X. communis*, *X. margaritea*) et saumâtres (*Cyprideis torosa*) (Fig. 5).

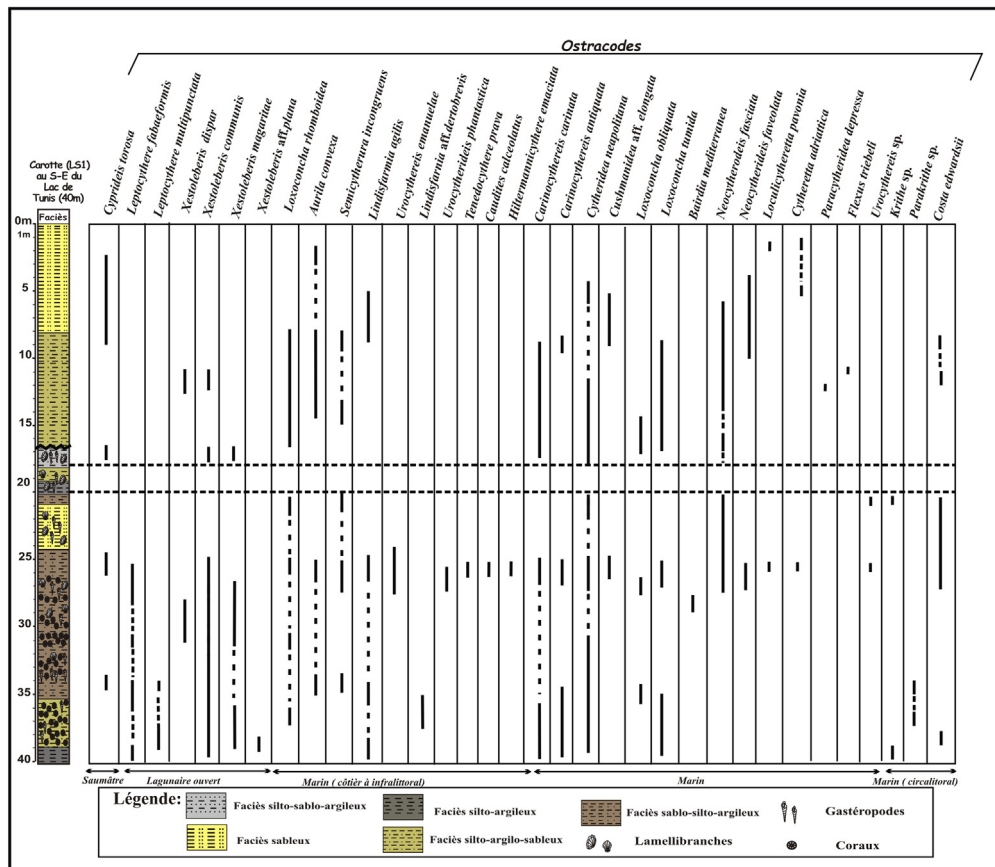


Fig. 5. Répartition verticale des ostracodes de la carotte (LS1) prélevée au SE de la lagune de Tunis. Vertical distribution of ostracods in the LS1 core (SE of the Tunis lagoon).

3.3. Données radiochronologiques

Les analyses U-Th ont porté sur les coraux de la carotte LS1, de l'espèce *Balanophyllia regia* (Fig. 6 et 7). Les résultats sont présentés dans le Tableau 1. Les âges vont de 191 ka (± 21) à 38,2 m de profondeur, à 160 ka (± 7) à 26,8 m de profondeur. Il faut noter que les rapports initiaux ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$)₀ (Tableau 1) sont identiques, dans les marges d'erreur, à la valeur de l'eau de mer (~1,145), à l'exception de l'échantillon prélevé à 26,8 m dont le rapport est plus bas. L'âge de ce dernier, calculé à partir du modèle ouvert proposé par Thompson et al., 2003 serait de 182 \pm 9 ka. Ce même modèle donnerait des âges de 183 à 196 ka pour les niveaux plus profonds (Fig. 7), dans les marges d'erreur de ceux donnés dans le Tableau 1. Ces âges U-Th et leurs perturbations éventuelles sont discutés en détail dans l'article de Condomines et al. (2023). Ces auteurs montrent sur un exemple particulier comment la technique d'analyse chimique des éléments mineurs et traces par ablation laser et HR-ICP-MS permet de distinguer le corail en aragonite (riche en Sr, pauvre en Mg) d'une fine bordure en calcite magnésienne (riche en Mg, pauvre en Sr) produite par une algue corallienne. Les âges U-Th déterminés par LA-MC-ICP-MS révèlent que, si le corail en aragonite est resté en milieu clos, la bordure sécrétée par l'algue corallienne a clairement évolué en milieu ouvert et ne peut fournir aucun âge.

Comme ceux de la carotte LN1 (Fig. 7), étudiée précédemment (206 à 169 ka ; Zaara Ben Mosbah et al., 2017), on peut les rattacher à la fin du stade isotopique marin 7 (MIS7), l'avant dernier interglaciaire, ou au début du stade 6 (Railsback et al., 2015).

4. Discussion

L'évolution verticale des sédiments de la carotte LN1 (55 m), implantée au NE de la lagune de Tunis, montre l'alternance de niveaux à sédimentation silto-argileuse et d'autres riches en bioclastes. Ces niveaux s'organisent en séquences régressives. Chacune d'elles se ramène à un terme argilo silteux à la base suivi par un terme bioclastique riches en coraux.

Les dépôts coralliens du 2^e terme de la 1^{re} séquence de la carotte LN1 (206 à 169 ka) peuvent sans doute être corrélés avec les niveaux sédimentaires riches en coraux de la première séquence de la carotte LS1, de 40 m de profondeur, prélevée au SE de la lagune de Tunis (Fig. 8). Cette corrélation peut refléter la présence d'une barrière récifale. On suppose que toute la lagune de Tunis, était envahie par la Mer Méditerranée suite à la transgression marine de l'avant dernier interglaciaire (250-190 ka B.P) (Fig. 8).

La combinaison entre les facies sédimentaires, le contenu fossilifères des assemblages des ostracodes et les observations chronostratigraphiques dans les carottes LN1 et LS1 (Hajji, 2015 et cette étude) nous fournit des informations sur la dynamique littorale depuis le Pléistocène moyen (~200 ka) soit l'avant dernier interglaciaire jusqu'à l'Holocène, et sur l'évolution de la région côtière de Tunis. Ces résultats peuvent en effet être rapprochés de ceux obtenus par Zaara Ben Mosbah et al. (2012) pour la seabkha de l'Ariana (carotte S2 et S4). Cet essai d'interprétation est schématisé dans la Fig. 8.

Le suivi vertical des sédiments de la carotte S2, implantée au NE de la Sebkha de l'Ariana, dont l'épaisseur est de 50 m, montre

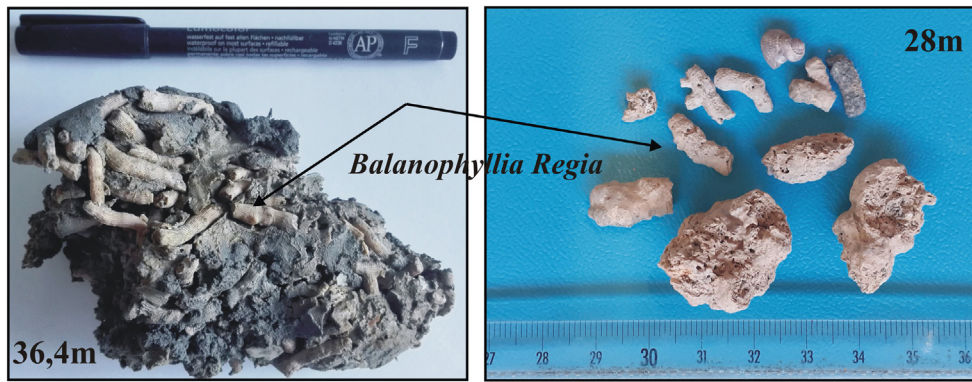


Fig. 6. Branches coralliennes de *Balanophyllia regia* dans le sédiment de la carotte LS1 prélevé de la lagune de Tunis. Le stylo est 14 cm de long.
Coral branches of *Balanophyllia regia* embedded in the sediment of core LS1 from the Tunis lagoon. The pen is 14 cm long.

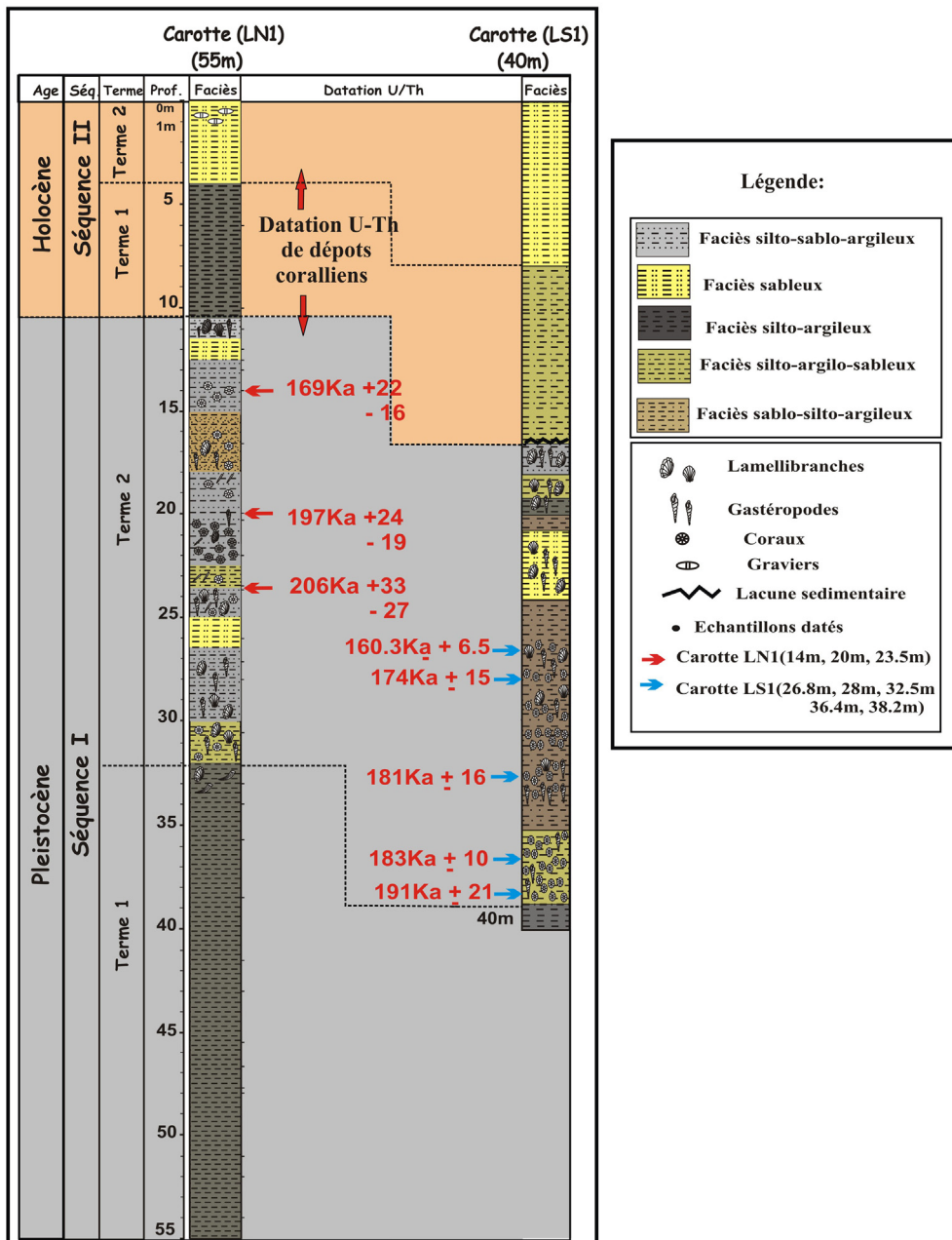


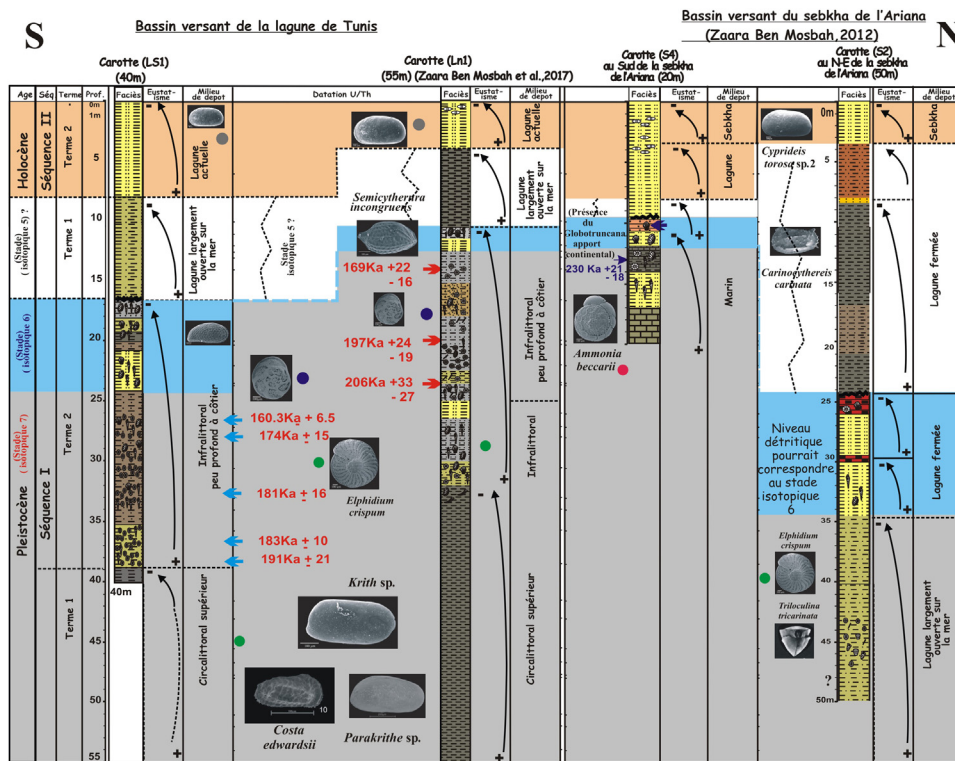
Fig. 7. Corrélation des logs lithostratigraphiques des carottes LN1, LS1 et C1 de la lagune de Tunis montrant les datations obtenues.
Correlation of the lithostratigraphic logs of the LN1, LS1 and C1 cores of the Tunis lagoon showing also the dates obtained.

Tableau 1

Datation U/Th des dépôts coralliens de la carotte LS1 au sud-est du bassin sédimentaire de la lagune de Tunis (Condomines et al., 2023). Les âges et les rapports initiaux ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$)₀, ainsi que leurs erreurs sont calculés à partir du programme Isoplot-R (Vermeesch, 2018).

U/Th dating of coral deposits from the LS1 core in the southeast of the sedimentary basin of the Tunis lagoon (Condomines et al., 2023). Ages and ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$)₀ initial ratios are calculated using the Isoplot-R program (Vermeesch, 2018).

Localité	n° Échantillon	Profondeur (m)	Unité lithologique	U (ppm)	Âge (ka)	±2σ	(234U/238U) ₀	±2σ
Sud-Est de la lagune de Tunis	ER32	26,8	Sablo-silto argileux	1,97	160,3	6,5	1,103	0,014
	ER36	28	Sablo- silto argileux	1,87	174	15	1,129	0,027
	ER41	32,5	Sablo silto-argileux	1,89	181	16	1,134	0,022
	ER47	36,4	Silto- argilo sableux	2,86	183	10	1,137	0,010
	ER48	38,2	Silto- argilo sableux	2,56	191	21	1,135	0,021



Légende:

- Faciès silto-sablo-argileux
- Faciès sableux
- Faciès silto-argileux
- Faciès silto-argilo-sableux
- Faciès sablo-silto-argileux
- Faciès argilo-silto-sableux
- Faciès sablo-silteux
- Grès ferrugineux
- Siltite marneuse
- Calcaire silto-argileux
- Grès calcaire

- Cyprideis torosa* (Ostracode : milieu lagunaire ouvert sur la mer)
- Ammonia beccarii* Foraminifère benthique (milieu marin)
- Quinqueloculina laevigata*: miliolide (milieu marin)
- Rosalina brady* Ostracode : milieu marin infralittoral à côtier (peu profond)
- Elphidium crispum* Foraminifère benthique : milieu marin côtier (peu profond)
- Lamelibranches
- Coraux
- Gastéropodes
- Graviers

- Holocène
- Stade isotopique 6
- Stade isotopique 7 a (Pléistocène moyen)

Echantillons datés

- Carotte S4
- Carotte LN1 (14 m, 20m et 23.5m)
- Carotte LS1 (26.8 m, 28m, 32.5m, 36.4m et 38.2m)

Fig. 8. Esquisse de corrélation spatio-temporelle des sédiments des carottes prélevées au NE et SE de la lagune de Tunis et de la Sebkhia de l'Ariana, montrant aussi les niveaux datés.

Sketch of the spatio-temporal correlation between sediment cores taken in the NE and SE of the lagoon of Tunis and the Sebkhia of Ariana showing also the dated levels.

une sédimentation fine à la base formée par des silts argilo-sableux riches en coraux, datés de 190 ka ans BP et qui correspondent au stade isotopique 7, soit l'avant dernier interglaciaire (Zaara Ben Mosbah et al., 2010). Ces dépôts coralliens pourraient être corrélés avec les niveaux sédimentaires riches en coraux du 2^e terme de la séquence I de la carotte LN1 et de la carotte LS1 (Fig. 8). Cette corrélation suggère la présence d'une barrière récifale de direction NNW-SSE

et une évolution similaire de la lagune de Tunis et de la sebkhia de l'Ariana au cours de cet interglaciaire (stade isotopique 7). La différence d'altitude des dépôts coralliens peut s'expliquer par une tectonique liée à la faille qui limite la bordure nord du lac de Tunis qui aurait entraîné un affaissement plus important de la Lagune de Tunis par rapport à la Sebkhia de l'Ariana (Zaara Ben Mosbah, 2012). Ces résultats ont permis d'identifier deux phases de remplissage

de la lagune qui sont séparées par un niveau montrant des indices d'émersion. Cette phase est vraisemblablement synchrone d'une diminution de niveau marin liée à des variations des conditions climatiques au cours de cette période (Zaara Ben Mosbah, 2012).

En effet, l'apparition de sables azoïques, intercalés entre deux bancs de grès ferrugineux, observés au niveau de la carotte S2, indique une phase d'émersion qui est due à un changement climatique (Zaara Ben Mosbah, 2012). Ces dépôts pourraient correspondre au niveau sablo-silteux azoïque, compris entre 11,5 et 12,5 m (séquence II) de la carotte LN1 (Fig. 8) reflétant une régression marine associée au stade isotopique marin 6 (avant dernière période glaciaire). De même, les silts sableux presque azoïques situés entre 17 et 24 m de profondeur dans la carotte LS1, traduisant un milieu continental, pourraient être rattachés à cet épisode. Avant cette régression, la Sebkhia de l'Ariana et la lagune de Tunis fonctionnaient comme deux golfes ouverts sur la mer méditerranéenne isolés entre eux par un tombolo qui relie les îles de Sidi Bou Said et Gammarrh aux affleurements de Jbel Nahli (Pimienta, 1959 ; Jauzein, 1962 ; Zaara Ben Mosbah, 2012 ; Ben Hmida, 2015).

Des datations seront nécessaires à l'avenir pour confirmer l'interprétation donnée sur la période Holocène et pour bien repérer la discontinuité entre la phase Pléistocène moyen (stade isotopique 7a) et Holocène qui est à 17 m de profondeur. Ce niveau est mis en évidence principalement par le changement brutal dans la lithologie, se terminant par des silts sableux presque azoïque traduisant un milieu continental.

À ce niveau la diminution des ostracodes marins pourrait être expliquée par un faible hydrodynamisme lors d'une période de bas niveau marin comparable à celle enregistrée dans la Sebkhia de l'Ariana, qui a pu s'accompagner de la formation d'un cordon littoral. Vers le sommet une augmentation de la teneur des assemblages saumâtres des ostracodes (*Cyprideis torosa*) et des foraminifères hyalins (miliolidés) est le signe en effet d'une communauté typique d'environnements semi-fermés.

En l'absence de datations, les dépôts correspondant au dernier interglaciaire (Tyrrhénien, stade isotopique 5) n'ont pu être mis en évidence dans aucune des carottes décrites ici. Peut-être ont-ils été en partie érodés lors de la régression liée à la dernière glaciation würmienne. Cette question mériterait des études complémentaires, notamment sur le rôle de l'Oued Madjerda et de l'Oued Miliane durant cette période.

Une incertitude demeure également sur l'attribution à la base de l'Holocène de la discontinuité, visible à 17 m de profondeur dans la carotte LS1.

Les niveaux attribués à l'Holocène montrent une alternance de niveaux riches en taxons marins côtiers et niveaux riches en taxons laguno-saumâtres, bien qu'il n'y ait pas eu de changements majeurs du niveau de la mer au cours des derniers 3000 ans B.P, les données géologiques montrent, probablement une élévation du niveau à un taux moyen d'environ 0,1 à 0,2 mm/an pendant cette période (Zerbini et al., 1996 ; Lambeck et Bard, 2000 ; Lambeck et al., 2004 ; Ben Rouina et al., 2016).

5. Conclusion

L'étude combinée de la sédimentologie, de la minéralogie, de la macrofaune et microfaune des sédiments des carottes prélevées de la Lagune de Tunis a permis d'établir l'évolution des milieux de dépôt depuis le Pléistocène moyen jusqu'à l'Holocène.

D'abord, l'évolution temporelle du stock sédimentaire de la lagune, montre l'existence d'un changement de faciès, se traduisant par le passage d'un dépôt de silts argileux alluvionnaires à la base vers des sables silteux et silto-argileux riches en coraux, devenant à la surface sableuse. Ces résultats sont la preuve de l'existence, d'une part, d'un changement des conditions des mécanismes de

transport-sédimentation caractérisant le milieu de dépôt avec une influence marine, d'autre part, des changements de paléoenvironnement de dépôts, évoluant d'un milieu franchement marin vers un milieu lagunaire.

Donc, les résultats des analyses sédimentologiques et granulométriques des deux carottes étudiées montrent une évolution significative de la lagune qui nous a permis de reconstituer l'évolution dans le temps. En effet, la sédimentation dans la partie nord-est de la lagune de Tunis est fine (carotte LN1) et beaucoup plus sableuse (carotte LS1) dans la partie sud-est (Fig. 2).

La sédimentation essentiellement silto-argileuse de la séquence II de la carotte LS1, correspond à une reprise marine, attestée par un enrichissement faunistique type infralittoral (Fig. 5), ce qui pourrait annoncer la transgression marine Holocène. Le terme 2 de la séquence II, compris entre la surface et 8,8 m de profondeur, est marqué par une diminution progressive des formes marines côtières. L'absence de coraux et la richesse ostracodes lagunaires (*Xestoleberis dispar*, *X. communis*, *X. margaritea*, *Loxoconcha rhomboidea*) et saumâtres (*Cyprideis torosa*) (Fig. 5) indiquent un changement du milieu de dépôt qui évolue vers un environnement lagunaire sous influence marine notable. Il est probable que les niveaux d'origine marine résultent de tempêtes ayant régulièrement submergé le cordon littoral (e.g. Sabatier et al., 2008, 2012).

Les teneurs en calcite sont inversement proportionnelles à celles du quartz, témoignant d'une origine autre que détritique et qui est une origine essentiellement biogénique, caractéristique d'un environnement marin peu profond. Ce dernier est signalé par la présence de l'aragonite liée à la présence des coraux qui sont de bon indicateur d'un environnement marin peu profond et agité, bien oxygéné, à salinité normale et une température assez élevée.

La pyrite, est présent avec des teneurs très faibles. Ce minéral, est d'origine diagenétique formée suite à une diminution du taux d'oxygène liée à une évolution du milieu de dépôt vers un environnement beaucoup plus fermé et confiné. L'observation à loupe binoculaire des sédiments grossiers confirme l'origine de ces dernières.

Certains niveaux riches en coraux ont pu être datés grâce à la méthode U-Th par LA-MC-ICP-MS. Les âges allant de 206 à 160 ka montrent que ces coraux se sont développés à la fin du stade isotopique marin 7 (avant dernier interglaciaire), et sans doute au début du stade isotopique marin 6 (MIS 6). Les ostracodes trouvés dans ces niveaux indiquent un environnement marin infra-littoral à côtier.

Le milieu va évoluer progressivement vers un milieu lagunaire avec la formation d'un cordon littoral, sans qu'il soit possible de définir la chronologie précise en l'absence de matériaux datables. Le milieu lagunaire semble définitivement établi à la fin de l'Holocène, avec cependant des influences marines épisodiques.

Un essai de corrélation a été établi en tenant compte des données obtenues sur les carottes de la lagune de Tunis et celles de la Sebkhia de l'Ariana (Zaara Ben Mosbah, 2012), qui correspondaient à deux golfes marins il y a 200 ka. Deux hypothèses restent possibles, soit une subsidence de la zone de la lagune de Tunis qui s'accroît encore vers le Sud et qui est probablement liée aux failles limitant cette région (Fig. 1). Soit un approfondissement du fond marin, démontré suite à la corrélation des niveaux du même âge allant du Nord au Sud.

Des études complémentaires seront cependant nécessaires pour préciser l'évolution de la région durant le dernier cycle climatique, qui a enregistré des variations importantes du niveau de la mer.

Acknowledgements

The authors are grateful to the Editors and to the Referees for the suggestions on the manuscript. This research was supported by the faculty of science of Bizerte, University of Carthage, and the

Laboratory of Mineral Resources and Environment at the Faculty of Sciences of Tunis, University of Tunis El Manar, Tunisia. It is supported partially by the University of Catania, Progetto PiaCeRi "Biodiversità e paleobiodiversità di invertebrati e macroalghe di ambienti marini"- Piano Incentivi per la Ricerca di Ateneo 2020-22 linea di intervento 2 ("Biodiversity and paleobiodiversity of invertebrates and macroalgae of marine environments" - University Research Incentive Plan 2020-2022 intervention line 2).

Références

- Alouani, R., Tlig, S., 1991. Héritage sédimentaire et minéralogique des domaines océaniques Téthysiens en Tunisie du Nord, au Jurassique. *Notes du Service Géologique de Tunisie* 58, 111–131.
- Ben Ayed, N., Bismuth, H., Viguier, C., 1979. Présence de l'Oligocène dans la banlieue Nord et Sud-Est de Tunis : affleurement de Sidi Bou Saïd et de Bir Kassaa. *Notes du Service Géologique de Tunisie* 45, 55–70.
- Ben Ayed, N., 1980. Le rôle des décrochements E-W dans l'évolution structurale de l'Atlas Tunisien. *Compte Rendu Sommaire de la Société Géologique de France, Paris, fascicule*, 29–32.
- Ben Ayed, N., Viguier, C., Bobier, C., 1985. Les éléments structuraux récents essentiels de la Tunisie Nord-Orientale. *Notes du Services Géologique de Tunisie* 47, 5–20.
- Ben Hmida, S., 2015. Caractérisation sédimentologique et minéralogique des dépôts quaternaires de la lagune de Tunis (Tunisie orientale). *Mastère de recherche en géologie. Faculté des Sciences de Bizerte, Tunisie*, 88 p. (inédit).
- Ben Rouina, S., Bassetti, M., Tourir, J., Trabelsi, K., Berne, S., 2016. Sedimentary and microfossil evolution in the Quaternary deposits in el Akarit river mouth (Gulf of Gabes, Tunisia): Paleo-environments and extreme events. *Compte rendu sommaire de la Société Géologique de France, Paris*, pp. 29–32.
- Burrollet, P.-F., 1956. Contribution à l'étude stratigraphique de la Tunisie centrale. *Annales des Mines et de la Géologie, Tunis* 18, 350 p.
- Carbonel, P., 1980. Les Ostracodes et leur intérêt dans la définition des écosystèmes estuariens et de plateforme continentale. *Essais d'application à des domaines anciens. Mémoire de l'Institut de Géologie du bassin d'Aquitaine* 11, 350 p.
- Carbonel, P., Pujos, M., 1981. Comportement des microfaunes benthiques en milieu lagunaire. *Actes du premier Congrès National des Sciences de la Terre, Tunis*, pp. 127–139.
- Carbonel, P., Legigan, P.-H., Pujos, M., Saubade, A.-M., Bobier, C., Jouirou, M., 1981. Evolution du Lac de Tunis : Un modèle de passage du milieu littoral à un milieu lagunaire. *Actes du premier Congrès National des Sciences de la Terre, Tunis*, pp. 91–100.
- Condomines, M., Bruguier, O., Hajji, I., Zaara Ben Mosbah, C., 2023. Unusual open-system behaviour revealed by LA-MC-ICP-MS U-Th dating of coral and coralline algae bio-carbonates. *Comptes Rendus Géoscience Sciences de la Planète* 1, <http://dx.doi.org/10.5802/crgeos.221>.
- Colleuil, P., 1976. Etude stratigraphique et néotectonique des formations Néogènes et Quaternaires de la région de Nabeul Hammamet (Cap Bon Tunisie). *Mémoire de D.E.S.S. Nice*, 34 p. (inédit).
- Ennabli, M., 1980. Étude hydrogéologique des aquifères du Nord-Est de la Tunisie pour une gestion intégrée des ressources en eau. *Thèse de Doctorat en Sciences. Université de Nice, Vol. I et II*, 148 p. (inédit).
- Eggins, S., De Deckker, P., Marshall, J., 2003. Mg/Ca variation in planktonic Foraminifera tests: Implications for reconstructing paleo-seawater temperature and habitat migration. *Earth and Planetary Science Letters* 212, 291–306.
- Jauzein, A., 1962. Contribution à l'étude géologique des confins de la dorsale Tunisienne. *Thèse de Doctorat d'état, Paris*, 475 p. (inédit).
- Jauzein, A., 1967. Contribution à l'étude géologique des confins de la Dorsale Tunisienne (Tunisie Septentrionale). *Annale des Mines et de la Géologie, Tunis* 22, 219–222.
- Jauzein, A., 1971. Evolution récente du delta de la Medjerda. Les agents de la morphogénèse. *Travaux du Laboratoire de Géologie de l'ENS, Paris* 5, pp. 126–151.
- Jouirou, M., 1982. Faciès sédimentaires et processus dynamiques dans la formation d'un milieu lagunaire : évolution Holocène et Actuelle du lac de Tunis et ses abords. *Thèse de Doctorat en Géologie et applications au domaine marin, Université de Bordeaux* 1, 218 p. (inédit).
- Hajji, I., 2015. Paléoenvironnement des dépôts Quaternaires de la lagune de Tunis : Approche sédimentologique et micropaléontologique. *Mastère de recherche en Géologie, Faculté des Sciences de Bizerte, Tunisie*, 93 p. (inédit).
- Karoui-Yaakoub, N., Ben M'barek-Jemai, M., Cherni, R., 2011. Le passage Paléocène/Eocène au Nord de la Tunisie (Jebel Kharouba) : Foraminifères planctoniques, minéralogie et environnement de dépôt. *Revue de Paléobiologie, Genève* 30, 105–121.
- Lambeck, K., Bard, E., 2000. Sea level change along the French Mediterranean coast for the past 30000 Years. *Earth and Planetary Science Letters* 175, 203–222.
- Lambeck, K., Anzidei, M., Antonioli, F., Benini, A., Esposito, A., 2004. Sea level in Roman time in the central Mediterranean and implications for Recent change. *Earth and Planetary Science Letters* 224, 553–557.
- Mansouri, R., 1979. Contribution à l'étude de la sédimentation littorale historique et Actuelle au voisinage du delta de la Medjerda: Etude du Lac de Ghar-El-Melah et de la Sebkhia de l'Ariana, Tunisie. *Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux, Bordeaux*, 301 p.
- Farhat, B., Ben Mammou, A., 2010. Etude du Remplissage sédimentaire d'une Sebkhia côtière Tunisienne au cours du Quaternaire Récent : La Sebkhia Bou Zid (Nord-Est du Cap Bon). *Geo-Ecotrop* 34, 97–102.
- Oueslati, A., 1994. Les côtes de la Tunisie, recherches sur leur évolution Quaternaire. *Publications de la Faculté des Sciences Humaines et Sociales, Tunis*, 402 p.
- Oueslati, A., 2004. Littoral et Aménagement en Tunisie : Des renseignements de l'expérience du Vingtième Siècle et de l'approche Géo-archéologique à l'enquête prospective. *Orbis Presses, Géologie*, pp. 5–62.
- Pimienta, J., 1953. Plissements Actuels à l'embouchure de la Medjerda. *Bulletin de la Société des Sciences Naturelles de Tunisie* 6, 161–168.
- Pimienta, J., 1959. Le cycle Pliocène-Actuel dans les bassins Paraliques de Tunis. *Mémoire de la Société Géologique de France* 85, 176 p.
- Pini, S., 1971. Notice explicative de la carte Géologique de l'Ariana au 1/50000. *Feuille N° 13, Service Géologique*, pp. 5–62.
- Railsback, L.B., Gibbard, P.L., Head, M.J., Voarintsoa, N.R.G., Toucanne, S., 2015. An optimized scheme of lettered marine isotope substages for the last 1.0 Million Years, and the climato-stratigraphic nature of isotope stages and substages. *Quaternary Science Reviews* 111, 94–106.
- Ruiz, F., Abad, M., Galàn, E., Gonzalez, I., Aguila, I., Olias, M., Gómez Ariza, J.-L., Cantano, M., 2006. The Present Environmental Scenario Of El Melah Lagon (Ne Tunisia) And Its Evolution to a future Sabkha. *Journal of African Earth Sciences* 44, 289–302.
- Sabatier, P., Dezileau, L., Condomines, M., Colin, C., Briquieu, L., Bouchette, F., Le Duff, M., Blanchemanche, P., 2008. Reconstruction of paleostorm events in a Coastal Lagoon (Hérault, South of France). *Marine Geology* 251, 224–232.
- Sabatier, P., Dezileau, L., Colin, C., Briquieu, L., Bouchette, F., Martinez, P., Siani, G., Raynal, O., Von Grafenstein, U., 2012. 7000 Years of paleostorm activity in the NW Mediterranean Sea in response to Holocene Climate Events. *Quaternary Research* 77, 1–11.
- Solignac, M., 1927. *Etude Géologique de la Tunisie Septentrionale. Thèse en Sciences Géologiques, Université de Lyon et Edition de la direction des travaux publics, Tunis*, 756 p.
- Sciuto, F., Rosso, A., Sanfilippo, R., Maniscalco, R., 2015. New faunistic data on the Pleistocene environmental evolution of the south-western edge of the Hyblean Plateau (SE Sicily). *Carnets de Géologie* 15, 41–57.
- Stevenson, A.C., Battarbee, R.W., 1991. Palaeoecological and documentary records of recent environmental change in Garaet El Ichkeul: A seasonally saline Lake in NW Tunisia. *Biological conservation* 58, 275–295.
- Thompson, W.G., Spiegelman, M.W., Goldstein, S.L., Speed, R.C., 2003. An open-system model for U-Series age determinations of fossil corals. *Earth and Planetary Science Letters* 210, 365–381.
- Vermeesch, P., 2018. IsoplotR: a free and open tool-box for géochronology. *Géosci Front* 9, 1479–1493.
- Zaara Ben Mosbah, C., Hajji, I., Ben Hmida, S., Chaabani, F., Temani, R., Condomines, M., Martin, C., 2017. Évolution Paléo-environnementale et Quaternaire de la Lagune de Tunis (Golfe de Tunis, Tunisie). *Quaternaire* 28, 491–503.
- Zaara Ben Mosbah, C., 2012. Etude De L'évolution et de la dynamique de la Sebkhia de l'Ariana : Approche géochimique et sédimentologique. *Thèse de Doctorat en Sciences Géologiques, Université de Tunis El Manar, Faculté des Sciences de Tunis, Tunisie*, 211 p. (inédit).
- Zaara Ben Mosbah, C., Ben Ismail Latrache, K., Gueddari, M., Reyss, J.-L., 2010. Evolution biosédimentaire du dépôt Quaternaire de la Lagune de l'Ariana, Tunisie (une zone humide du Maghreb Nord). *Quaternaire* 21, 281–292.
- Zaibi, C., 2010. Paléo-environnements, forages et événements extrêmes associés, à l'emplacement de la côte Sud de la Skhira au cours de l'Holocène : Apport des Ostracodes et des foraminifères. *Thèse de Doctorat. Faculté des Sciences de Sfax, Tunisie*, 280 p.
- Zerbini, S., Plag, H.P., Baker, T., Backer, M., Billiris, H., Burki, B., Kahle, H.G., Marson, I., Pezzoli, L., Richter, B., Romagnoli, C., Sztobryn, M., Tomasi, P., Tsimplis, M., Veis, G., Verrone, G., 1996. Sea level in the Mediterranean: A first step towards separating crustal movements and absolute sea-level variations. *Global and Planetary Change* 14, 1–48.