



Muséum national d'Histoire naturelle



**International Master in
Quaternary and Prehistory**

**Dynamiques de la végétation et des occupations humaines
en milieu semi-aride durant la période romaine et jusqu'au
début du Moyen-Âge (74 BCE – 732 CE) : étude
palynologique de la sebkha Kalbia (Tunisie centrale)**

BRUNEAU Margot

Tuteurs :

LEBRETON Vincent, Professeur MNHN UMR 7194 CNRS

JAOUADI Sahbi, Attaché temporaire d'enseignement et de recherche MNHN UMR 7194 CNRS

Année académique 2018/2019



**Università
degli Studi
di Ferrara**



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI



REMERCIEMENTS

Mes remerciements vont tout d'abord à mes encadrants de mémoire de Master 2, *Vincent Lebreton* et *Sahbi Jaouadi*. Je les remercie pour leur bienveillance et leurs conseils. Ils ont dirigé ce mémoire et ont su faire preuve de patience. Je les remercie pour m'avoir transmis leur savoir en palynologie et en d'autres domaines.

Ce mémoire a bénéficié du soutien financier de la fondation ENGIE, que je remercie également.

Mostafa, technicien engagé sur ce projet, était toujours disponible pour m'aider. Il a pris de son temps pour m'initier aux protocoles d'extraction chimique des grains de pollen.

Je tiens à remercier *Nathalie Combourieu-Nebout* et *Yannick Miras* pour leur précieuse aide pour l'identification des grains de pollen et des spores. Ils ont eu la gentillesse de s'intéresser et de s'impliquer dans le bon déroulement du mémoire.

Dans l'ensemble, je remercie l'équipe au complet pour leur accueil, leur amabilité, leur partage, et leur discussion. Ils ont su me mettre à l'aise et cela m'a permis de vivre cette expérience dans de bonnes conditions.

Ma gratitude va aussi à *Anne-Marie Sémah*, qui est toujours là pour m'encourager et m'orienter avec bienveillance dans mes choix.

Je remercie *Francesc Burjachs* et l'équipe d'archéobotanie de l'Institut de Paleoeologia Humana i Evolució social (IPHES), pour m'avoir accueilli au sein de leur laboratoire.

Enfin, je remercie les doctorants de l'IPH et mes camarades de Master, pour leurs conseils, leur soutien et les moments de détente partagés. Je remercie mes amies pour m'avoir supporté (dans toutes les définitions que ce verbe peut avoir).

Le sujet du présent mémoire s'inscrit dans le Master Quaternaire et Préhistoire avec l'acquisition de la méthode palynologique, et il est aussi en lien avec ma précédente formation de Licence en archéologie à Sorbonne-Université, faculté de Lettres.

Sommaire

INTRODUCTION	1
CHAPITRE I. CADRE NATUREL ET ARCHÉOLOGIQUE DE LA TUNISIE CENTRALE	3
<u>I.1. Géographie physique</u>	3
I.1.1. Relief	3
I.1.2. Réseau hydrologique et précipitations	3
I.1.3. La sebkha Kalbia	4
<u>I.2. Climat et végétation</u>	5
I.2.1. Zones bioclimatiques	5
I.2.2. Formations végétales	6
I.2.2.1. Les basses steppes.....	7
I.2.2.2. Les hautes steppes.....	7
I.2.2.3. Les formations forestières.....	7
<u>I.3. Végétation locale de la sebkha Kalbia</u>	7
<u>I.4. Cadre historique et archéologique</u>	10
CHAPITRE II. MATÉRIELS ET MÉTHODES	13
<u>II.1. La carotte SK10-C1 de la sebkha Kalbia</u>	13
II.1.1. Géochronologie des sédiments de la sebkha Kalbia	14
II.1.2. Niveaux de la carotte SK10-C1 étudiés pour la palynologie	15
<u>II.2. Méthode d'analyse pollinique</u>	16
II.2.1. Préparation des échantillons	16
II.2.2. Outils à l'identification du matériel pollinique	16

II.2.3. Comptage, pourcentage et richesse pollinique.....	16
II.2.4. Diagramme pollinique.....	17
II.2.5. Morphologie pollinique.....	17
II.2.5.1. <i>Quercus</i>	17
II.2.5.2. Caryophyllaceae et le type <i>Herniaria/ Paronychia</i>	18
II.2.5.3. Poaceae, type <i>Cerealia</i> et type <i>Glyceria</i>	19
CHAPITRE III. RÉSULTATS	19
<u>III.1. Datation</u>	19
III.1.1. Dater les remplissages sédimentaires des sebkhas.....	19
III.1.2. Dates disponibles et nouvelles datations de la sebkha Kalbia.....	20
<u>III.2. Spectres polliniques</u>	23
III.2.1. Relation végétation – spectre pollinique.....	23
III.2.2. Spectre pollinique de surface.....	25
III.2.3. Description du diagramme pollinique détaillé.....	26
CHAPITRE IV. DISCUSSION	31
<u>IV.1. Concentration, taphonomie et dispersion pollinique</u>	31
IV.1.1. Concentration pollinique.....	31
IV.1.2. Conservation du pollen dans la carotte SK10-C1.....	32
IV.1.3. Dispersion et production polliniques : le cas de <i>Pinus</i> et de <i>Vitis</i>	33
<u>IV.2. Changements climatiques en Tunisie centrale durant la période romaine</u>	34
IV.2.1. Période humide romaine en Tunisie centrale.....	34
IV.2.2. Émergence de l'aridité.....	37
<u>IV.3. Relation Homme-végétation</u>	38
IV.3.1. Impact anthropique sur le couvert végétal.....	38
IV.3.2. Changement des systèmes d'exploitation ou abandon des terres.....	40

CHAPITRE V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES	41
BIBLIOGRAPHIE	44
LISTE DES FIGURES	51
LISTE DES TABLEAUX	53
ANNEXE	54

INTRODUCTION

À l'occasion du Prix de la Fondation d'entreprise ENGIE « Talents de la recherche au Musée de l'Homme » une bourse de recherche a été remise à Vincent Lebreton et Sahbi Jaouadi (UMR 7194 Histoire Naturelle de l'Homme Préhistorique, Département Homme et environnement MNHN) pour le projet « RÉSiliences climatiques et territoriales des SocIetés dans les régions semi-arides et arides de la Tunisie depuis le Néolithique » (RÉSIST). Ce projet a pour objectif d'appréhender la résilience des populations et des écosystèmes dans les régions semi-arides et arides de la Tunisie. Le terme « résilience » signifie la capacité de résistance face à un choc plus ou moins important. Dans le cadre d'une résilience climatique il s'agit d'étudier la capacité des environnements et du couvert végétal à résister au stress d'un changement climatique. En ce qui concerne la résilience territoriale, elle se caractérise par la capacité des populations à résister aux dégradations et aux changements environnementaux. Ces conditions particulières peuvent conduire à un effort d'adaptation marqué par d'importantes innovations techniques. *A contrario* elles peuvent mener à un abandon total des régions sous stress climatique. Ainsi, l'approche de la résilience des populations et des écosystèmes passe à travers l'identification des changements climatiques et environnementaux survenus au cours de l'Holocène et la caractérisation des changements paysagers et sociétaux associés.

Ce mémoire s'inscrit donc dans le projet RÉSIST et vise à étudier les changements du couvert végétal et des occupations territoriales dans les régions semi-arides et arides de la Tunisie durant la période romaine et jusqu'au début du Moyen-Âge (74 BCE - 732 CE). La fin de l'Antiquité est marquée par une crise érosive majeure dans les régions semi-arides et arides tunisiennes dont les causes restent encore à déterminer (Slim *et al.* 2010). Ainsi, le choix de recentrer le sujet sur cette période permettra d'attester la présence d'une crise érosive et d'en comprendre les agents. Les objectifs seront de caractériser les environnements passés et de comprendre les dynamiques de végétation. Ces observations permettront de séparer la part respective de la variabilité climatique et de l'impact anthropique à l'origine des changements du couvert végétal. Il s'agira d'examiner si les processus érosifs peuvent être liés aux processus anthropiques. Il sera également question d'identifier si les changements environnementaux ont eu un impact sur les sociétés antiques et médiévales et donc si des corrélations existent entre les crises des sociétés et les crises climatiques. Il faudra ainsi examiner si la mise en place de parcelles agricoles dans les régions semi-arides et arides suivie de leur abandon résultent de causes socio-économiques, politiques ou de changements climatiques.

Le potentiel des sebkhas en tant qu'archives paléoécologiques dans les milieux arides a été démontré (Schulz *et al.* 2002 ; Lakhdar *et al.* 2006 ; Mulazzani *et al.* 2008 ; Jaouadi *et al.* 2010 ; Lebreton *et al.* 2014 ; Jaouadi *et al.* 2016 ; Jaouadi et Lebreton 2018). Ainsi pour répondre aux objectifs, des analyses palynologiques seront menées sur la carotte SK10-C1 de la sebkha Kalbia en Tunisie centrale. Il s'agira d'étudier la séquence sédimentaire holocène de la sebkha Kalbia qui se trouve à 30 km du littoral et à 25 km au nord-ouest de Kairouan (Fig. 1). Des datations AMS ^{14}C ont été réalisées sur la carotte SK10-C1 et de nouvelles seront effectuées pour affiner la chronologie. Les dynamiques géomorphologiques et hydrologiques de la sebkha ont été étudiées (Karray 1995 ; Ben Haj Farhat *et al.* 2011 ; Boujelben *et al.* 2017) et une thèse sur l'étude socio-hydrologique de la sebkha est en cours (Amal Sebai, Université de Carthage, Université de Montpellier). Les alentours de la sebkha sont riches en sites archéologiques (M'Timet *et al.* 1992 ; Zoughlami *et al.* 1998). Ainsi, l'analyse palynologique sera confrontée aux sources archéologiques et textuelles.

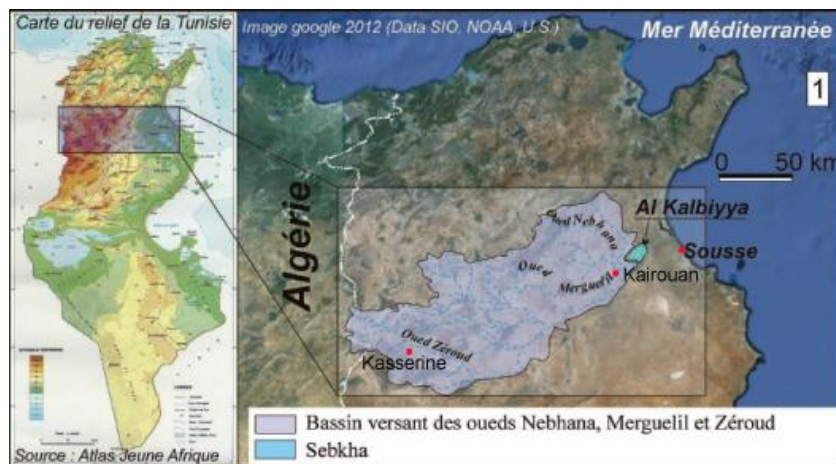
Ce mémoire se scinde en quatre chapitres. Un premier chapitre sera consacré à la présentation du cadre naturel et archéologique de la Tunisie centrale et de la sebkha Kalbia. Le matériel d'étude et les méthodes palynologiques seront présentés dans le second chapitre. Le troisième chapitre présentera les résultats des datations ^{14}C et des comptages après l'observation des lames polliniques. Enfin, le quatrième chapitre discutera la conservation et la concentration pollinique ainsi que les spectres polliniques qui seront confrontés aux données historiques et archéologiques de la Tunisie centrale.

CHAPITRE I. CADRE NATUREL ET ARCHÉOLOGIQUE DE LA TUNISIE CENTRALE

I.1. Géographie physique

I.1.1. Relief

Les reliefs de la Tunisie centrale sont dominés par la Dorsale tunisienne qui traverse le pays avec une orientation sud-ouest/nord-est. Elle culmine à 1544 m à l'ouest (Jbel Chambi), et diminue progressivement vers le Cap Bon. La Dorsale constitue une limite pluviométrique entre les régions forestières au nord et les steppes de la Tunisie centrale. Le versant méridional de la Dorsale tunisienne se situe dans le bassin versant de la sebkha Kalbia (Fig. 1).



I.1.2. Réseau hydrologique et précipitations

La Tunisie centrale se situe entre deux extrêmes pluviométriques. Le nord du pays se caractérise par des précipitations annuelles largement supérieures à 400 mm, tandis que le sud ne reçoit que 200-300 mm de précipitation par an. Les réseaux hydrographiques divisent la Tunisie en deux domaines : le Tell (au nord de la Dorsale) et la Tunisie centrale et méridionale (Slim *et al.* 2010).

La Tunisie centrale se distingue par de faibles précipitations annuelles, entre 200 et 400 mm par an, mais une forte exposition aux pluies intenses et sporadiques (Slim *et al.* 2010). Cela,

combiné aux faibles reliefs, entraîne des débordements et des inondations. Ce régime de précipitations irrégulier ne permet pas la mise en place d'un réseau hydrographique hiérarchisé en Tunisie centrale. Il n'y a ni fleuve, ni rivière mais des oueds coulant par intermittence. La faible pluviométrie, l'intense évaporation des eaux, leur salinité, l'épuisement rapide des stocks et l'irrégularité du débit engendrent des difficultés d'exploitation de l'eau et des parcelles (Hénia *et al.* 2008).

I.1.3. La sebkha Kalbia

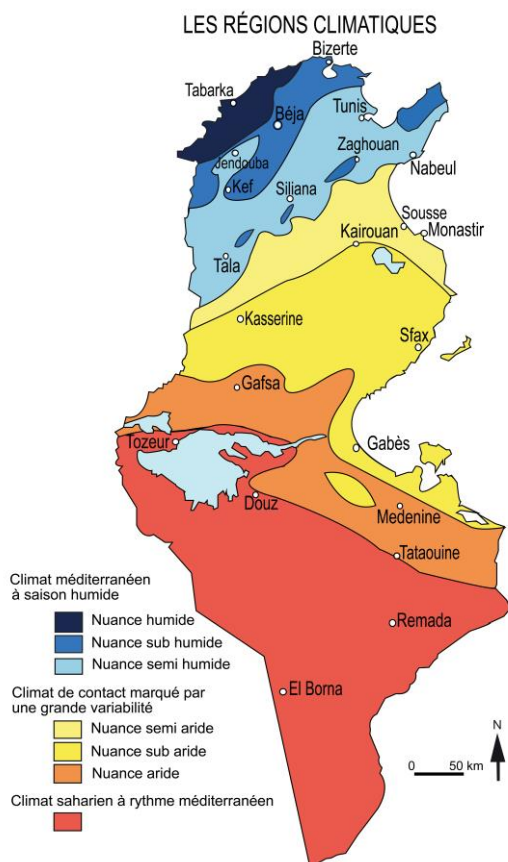
Une sebkha est une dépression à fond plat, généralement inondable où les sols salés limitent la végétation (Boujelben *et al.* 2017). Elle peut être continentale ou paralytique et se développe dans des zones proches des nappes phréatiques. Les sebkhas sont des lacs saisonniers et des zones humides naturelles d'importance en Tunisie centrale et méridionale. Elles permettent de stocker les eaux, de réduire les risques d'inondation, d'épurer les eaux usées, d'accueillir la faune et la flore et ont dès lors une importance économique.

La sebkha Kalbia est une dépression semi-endoréique (relation nulle ou indirecte à la mer) située dans le domaine bioclimatique semi-aride en Tunisie centrale. Elle loge dans une dépression mio-plio-quadernaire d'origine tectonique et est installée sur le flanc oriental de plis effondrés de la structure Draâ Souatir (Amari et Bédir 1989). Elle est limitée par le monoclinale de Draâ Souatir au nord-ouest et au sud-est et par le monoclinale de Draâ Lakhmas à l'est. La sebkha Kalbia a été déclarée réserve naturelle en 1993 (arrêté du Ministre de l'Agriculture du 18 décembre 1993). Elle est essentiellement alimentée par les oueds Zéroud, Merguellil et Nebhana à l'ouest et au sud-ouest (Fig. 1). Dans l'angle nord-est, l'oued Manfas El sod sert d'exutoire pour évacuer les trop-pleins vers la sebkha Halq al Minjil et le golfe d'Hammamet lors d'épisodes de grandes pluies (Fig. 1) (Amari et Bédir 1989 ; Boujelben *et al.* 2017). Sa superficie totale est de 102 km² soit 10.200 ha et son volume a subi diverses réductions au cours du temps. Les pertes hydriques de Kalbia sont liées à l'évaporation, à l'infiltration et aux débordements lors des épisodes de crues et de pluies intenses (Karray 1995). La sebkha Kalbia reçoit les eaux qui s'évaporent rapidement et laissent des couches de sédiment et de sel (Ben Haj Farhat *et al.* 2011). Les crues peuvent également infliger à la crête est de la sebkha une érosion de la digue séparant Kalbia et l'oued Manfas El sod. La plus grande crue eu lieu en automne 1969, les dernières crues datant de septembre 1995 et de septembre 1997 (Ben Haj Farhat *et al.* 2011).

La sebkha Kalbia se constitue de trois milieux, résultats de trois conditions hydriques. Au centre, la sebkha se compose d'une croûte saline sans végétation. Le chott, se situant autour de la sebkha, est une zone silteuse à halophyte. Elle s'étend au sud et sa plus faible teneur en sel permet le développement d'un couvert végétal. Enfin, les tamaris et les zones de cultures se développent sur l'extérieur (Karray 1995). La sebkha Kalbia se compose d'un sol salé et d'un horizon superficiel salin. Les sols sont dits halomorphes. Les alentours sont dominés par la présence de sols marneux-sableux, de grès calcaires et des roches meubles telles que les sables, les argiles et les éboulis. Des sols isohumiques subtropicaux bruns associés à des sols en croûte ou à encroûtement gypseux sont notés. Des sols calcimorphes et des régosols sont présents (d'après les cartes pédologiques de la Tunisie de 1973).

I.2. Climat et végétation

I.2.1. Zones bioclimatiques



La Tunisie centrale est marquée par une grande variabilité bioclimatique. Elle se divise en trois nuances (Fig. 2). Du versant sud-ouest de la Dorsale jusqu'à Kairouan, la nuance est dite semi-aride. De Kairouan jusqu'à Gafsa et au Golfe de Gabès, le climat est de nuance sub-aride. Et enfin, du Golfe de Gabès et de Gafsa jusqu'à Tataouine et au Chott-el Jérid elle se définit comme aride (Hénia *et al.* 2008).

Figure 2 : Régions climatiques de la Tunisie (Margot Bruneau, d'après Hénia *et al.* 2008)

Le bassin versant de la sebkha Kalbia connaît des variations dans ses précipitations. Les trois grandes villes de Sousse, Kairouan, et Kasserine se distinguent par leurs précipitations annuelles et leurs températures (Fig. 3). Selon le système de Köppen et Geiger, Sousse et Kairouan appartiennent au climat chaud semi-aride (BSh) et Kasserine, à une altitude plus élevée, appartient au climat froid semi-aride (BSk). Les saisons sont contrastées avec des apports hydriques importants et des températures douces en saison hivernale, et à l'inverse une sécheresse et des températures plus élevées en saison estivale (Fig. 3). Ainsi, les saisons estivales sont caractérisées par une évaporation maximale au cours de laquelle la sebkha Kalbia est à sec.

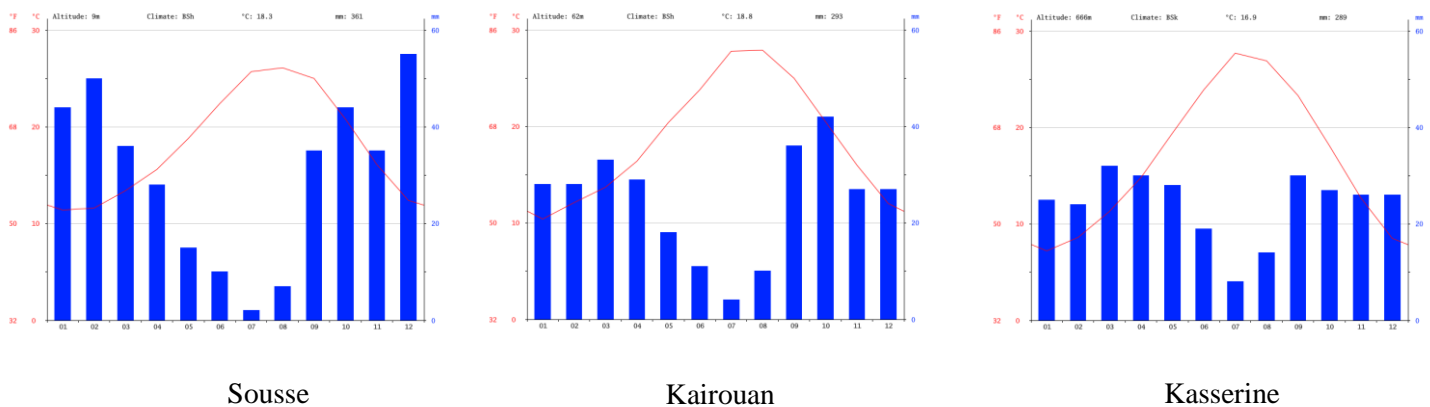
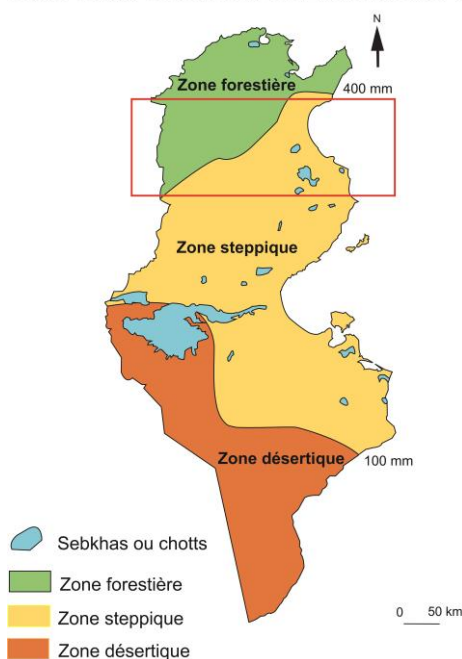


Figure 3 : Diagrammes ombro-thermiques de Sousse, Kairouan et Kasserine (Climate-data.org)

I.2.2. Formations végétales

CARTE SYNTHÉTIQUE DE LA VÉGÉTATION TUNISIENNE



La Tunisie présente au nord un couvert végétal fermé dominé par des arbres, et des arbustes xérophytes et feuillus. À l'inverse, la région sud tunisienne se compose de milieux ouverts à steppes ou pseudo-steppes désertiques (Hénia *et al.* 2008). La Tunisie centrale présente des formations végétales distribuées selon l'altitude avec les basses steppes, les hautes steppes et les formations forestières (Fig. 4) (Hénia *et al.* 2008).

Figure 4 : Grands domaines biogéographiques de la Tunisie, zone d'étude en encadré rouge (Margot Bruneau, d'après Hénia *et al.* 2008)

I.2.2.1. Les basses steppes

Les plus basses steppes, vers l'est, sont caractérisées par la présence de (Fig. 5) :

- terrains agricoles avec des restes de steppes à armoise blanche (*Artemisia herba alba*), armoise champêtre (*Artemisia campestris*), lavande (*Lavandula*) et jujubier (*Ziziphus*)
- terrains agricoles avec des restes de steppes crassulescentes halophiles
- paysages entièrement steppiques à armoise blanche (*Artemisia herba alba*), armoise champêtre (*Artemisia campestris*) et alfa (*Stipa tenacissima*)
- pseudo-steppes phréatophiles avec nitraire (*Nitraria*) et tamaris (*Tamarix*)
- steppes gypsophiles à sparte (*Lygeum spartum*)
- steppes crassulescentes halophiles en bordure de sebkha

I.2.2.2. Les hautes steppes

La végétation est plus herbacée, et composée dans les sommets des hautes steppes de forêts de pin d'Alep (*Pinus halepensis*), suivie en aval de genévrier de Phénicie (*Juniperus phoenicea*) ainsi qu'un sous-bois de romarin (*Rosmarinus officinalis*) et d'alfa (*Stipa tenacissima*) (Fig. 5) (Hénia *et al.* 2008).

I.2.2.3. Les formations forestières

Les formations forestières se développent par rapport aux transitions latitudinales et altitudinales. Elles se trouvent donc sur les reliefs de la Dorsale. En dessous de 1000 m, les forêts se composent de pin d'Alep (*Pinus halepensis*), de chêne vert (*Quercus ilex*). Le genévrier de Phénicie (*Juniperus phoenicea*) se développe avec le pin d'Alep, et le genévrier oxycèdre (*Juniperus oxycedrus*) se développe avec le pin d'Alep (*Pinus halepensis*) et le chêne vert (*Quercus ilex*) (Fig. 5) (Ministère des Affaires Locales et de l'Environnement *et al.* 2018).

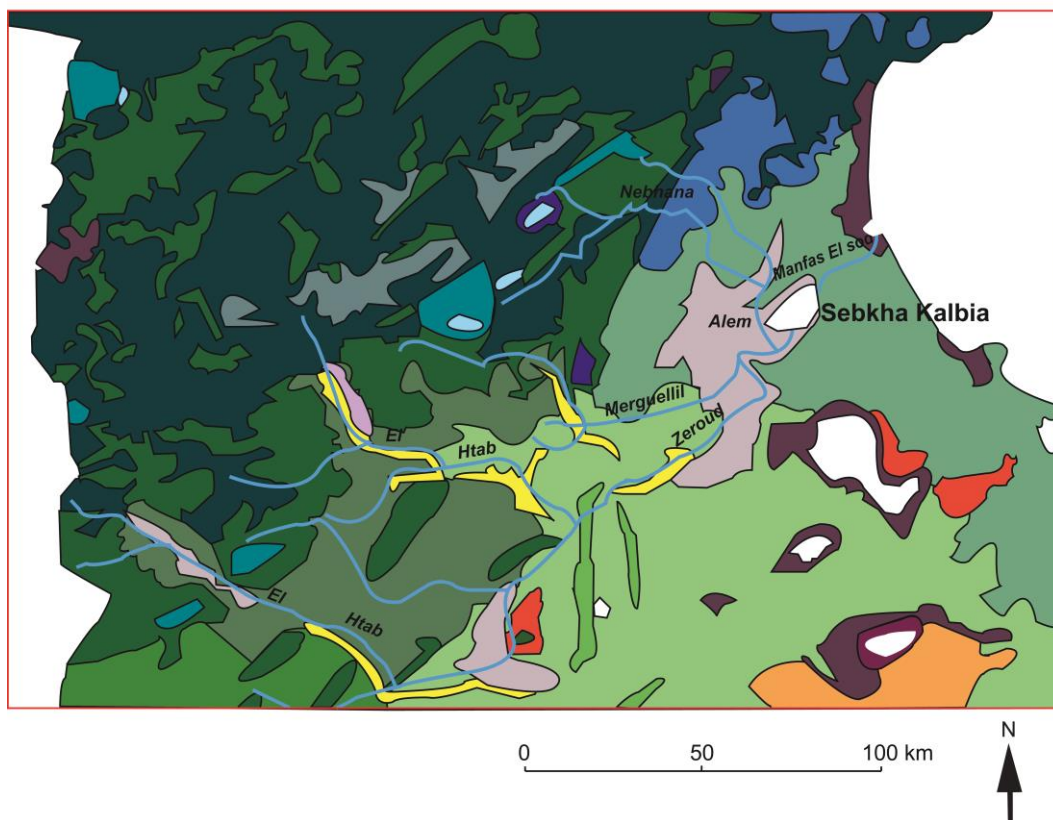
I.3. Végétation locale de la sebkha Kalbia

Actuellement, les alentours de la sebkha Kalbia se compose d'une clairière forestière. En saison pluvieuse la végétation varie et est caractérisée par la présence des jujubiers sauvages (*Ziziphus lotus*), d'*Hedysarum carnosum* ; de plantes halophytes telles que les salicornes (*Salicornia*), les arbustes marins (*Sueda fruticosa*), les salicornes vivaces (*Arthrocnemum*

glaucum), les pourpiers de mer (*Atriplex halimus*), les arroches glauques (*Atriplex glauca*), les tamaris (*Tamarix aphylla*), les massettes (*Typha*), ainsi que les roseaux (*Phragmites*) (Ben Haj Farhat *et al.* 2011). A *contrario*, les saisons sèches sont caractérisées par la disparition progressive de la végétation. Les taxons aquatiques, développés le long des oueds, peuvent coloniser la sebkha. Ainsi, sont aussi présents les chlorophycées *Spirogyra porticalis* (algues), l'althénie filiforme (*Althenia filiformis*), le jonc (*Juncus*), le cotule pied-de-corbeau (*Cotula coronopifolia*), l'inule fausse criste (*Inula crithmoides*), la betterave à gros fruits (*Beta macrocarpa*), le scirpe maritime (*Scirpus maritimus*) et enfin le scirpe des marais (*Eleocharis palustris*) (Ben Haj Farhat *et al.* 2011).

Des taxons ont également été introduits tels que les pins d'Alep (*Pinus halepensis*), les gommiers de Camaldoli (*Eucalyptus camaldulensis*), les yates à sommets plats (*Eucalyptus occidentalis*), les gonos (*Eucalyptus gomphocephala*), les cyprès communs (*Cupressus sempervirens*), les flammes australiennes (*Brachychiton acerifolius*), les acacias saligna (*Acacia cyanophylla*), les acacias cyclopes (*Acacia cyclopes*) et les figuiers de barbarie (*Opuntia ficus-indica*) (Ben Haj Farhat *et al.* 2011).

CARTE DE LA VÉGÉTATION LOCALE ET RÉGIONALE DE LA SEBKHA KALBIA



LÉGENDE



Figure 5 : Associations végétales du bassin versant de la sebkha Kalbia (Margot Bruneau, d'après Hénia *et al.* 2008)

I.4. Cadre historique et archéologique

La Tunisie a été peuplée lors des périodes préhistoriques et historiques. Vers le XII^{ème} siècle BCE, les Phéniciens s'installent en Tunisie. Ils fondent plusieurs cités portuaires dont Utique, vers 1101 BCE, puis Carthage, en 814 BCE (Fig. 6). La politique d'expansion carthaginoise en Méditerranée génère de multiples confrontations avec les Grecs, qui prirent l'ascendant. Au milieu du III^{ème} siècle BCE, débuta la première des trois guerres puniques (263-241 BCE, 218-201 BCE, et 149-146 BCE) entre les Romains et les Carthaginois. Elles s'achevèrent en 146 BCE avec la chute de Carthage (Slim *et al.* 2010).

Carthage devint une province romaine. La Tunisie est divisée entre les territoires romains, au nord et sur le littoral tunisien et entre les territoires du royaume numide au sud et dans les terres tunisiennes. La bataille de Thapsus en 46 BCE (Fig. 6), qui opposa les armées romaines et les armées de Pompée, permit à Rome d'annexer les territoires numides et de fonder l'*Africa Nova* (Slim *et al.* 2010).

En 27 BCE, Octave fut baptisé *Princeps Civitatis* et prit le nom d'Auguste. L'Afrique du Nord, devint une province romaine et l'expansion romaine dans le sud du pays donna lieu à des révoltes et des conflits avec les Berbères. Cette expansion permit la valorisation et l'extension des centuriations (cadastre économique et législatif pour ordonner la mise en culture des sols). Auguste, positionna dans les hautes steppes sa 3^{ème} légion pour surveiller les tribus berbères. Les *castra hiberna*, camps légionnaires, d'*Ammaedara* (30 CE) et de *Theveste* (75 CE) furent fondées et englobent des temples, des basiliques, des nécropoles, et des aqueducs. Elles avaient pour vocation d'assurer la défense des territoires romains face à l'expansion numide. Les cités de *Cillium* et de *Sufetula* furent fondées par Vespasien (dont la dynastie des Flaviens régna entre 69 et 96 CE) et *Zama* et *Hadrumetum* furent élevées au rang de colonies romaines sous Trajan (98-117 CE) (Fig. 6). Le commerce de la Tunisie romaine était principalement tourné vers l'agriculture céréalière, l'oléiculture et la viticulture, comme en témoignent les restes archéologiques en Tunisie centrale (structures agricoles, céramiques et amphores) (Slim *et al.* 2010).

Le III^{ème} siècle est marqué par l'essor du christianisme et de nombreux conflits religieux en Tunisie. Des instabilités sociales et économiques sont également à déplorer. La peste sévit et l'économie périclité en raison des crises monétaires répétées et de la hausse des prix (Slim *et*

al. 2010). Entre la fin du III^{ème} siècle et le début du IV^{ème} siècle, Dioclétien divise l'Afrique proconsulaire en trois provinces : la Tripolitaine (la Libye), la Byzacène (le Centre et le Sud tunisien), et l'Afrique proconsulaire (le Nord de la Tunisie). Au IV^{ème} siècle l'empire romain est divisé en deux avec l'empire romain d'Orient et l'empire romain d'Occident (qui s'acheva en 476 CE).

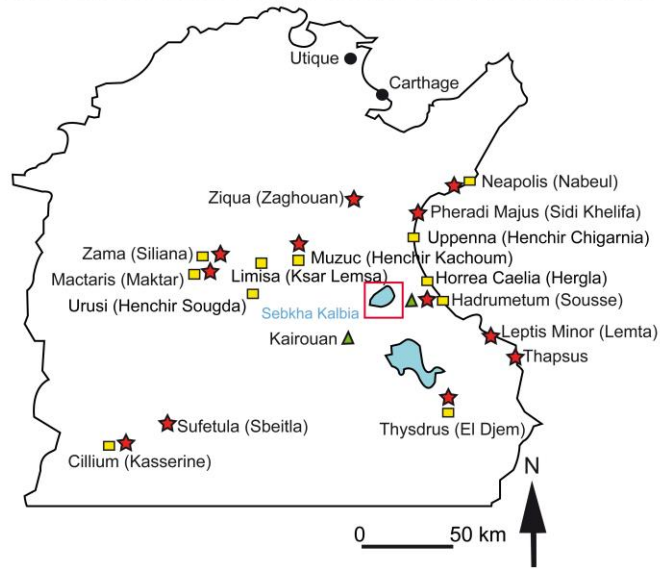
Le V^{ème} siècle voit la progression des conquêtes vandales en Afrique (429 CE). Genséric, chef des Vandales, s'empare de Carthage en 439 CE. Les répressions subies par les chrétiens s'accroissent jusqu'à l'arrivée au pouvoir d'Hildéric (523-530 CE) qui tente de réhabiliter la religion. Cependant, l'offensive des tribus berbères amena l'empire vandale à sa perte. Ainsi, le début du VI^{ème} siècle se caractérise par le retrait de l'empire vandale dans le Nord de la Tunisie et l'occupation des tribus berbères dans les hautes steppes. Ces positionnements géographiques amenèrent à des conflits violents dans les steppes tunisiennes (Slim *et al.* 2010).

La culture gréco-romaine est en déclin. Justinien, empereur byzantin, décide, en 533 CE, de reconquérir la province d'Afrique et tente de réunifier l'empire romain. L'insécurité de cette époque amena à la construction de forteresses (Fig. 6). La région proconsulaire, au nord, reste toujours abondante et fertile alors que la Byzacène, au sud, est abandonnée. Le pays est affaibli par ses conflits politiques et religieux, et ne peut contenir les répressions et les invasions (Slim *et al.* 2010).

Ainsi au VII^{ème} siècle, l'empire musulman profitant de ces instabilités pilla le pays. En 647 CE, les conquérants Arabes arrivent dans le sud du pays. Ils fondèrent en 670 CE la ville de Kairouan. Elle apparaît comme un point de poste pour les Arabes et pour la religion islamique (Despois 1930). Ils donnèrent l'impulsion aux invasions musulmanes jusqu'en 701 CE, date à laquelle l'Afriqiya devint une province du califat omeyyade de Damas (Slim *et al.* 2010).

En Tunisie centrale, de nombreux sites archéologiques témoignent de ces présences (Fig. 6). Un descriptif des vestiges antiques autour de la sebkha Kalbia est disponible en Annexe 1.

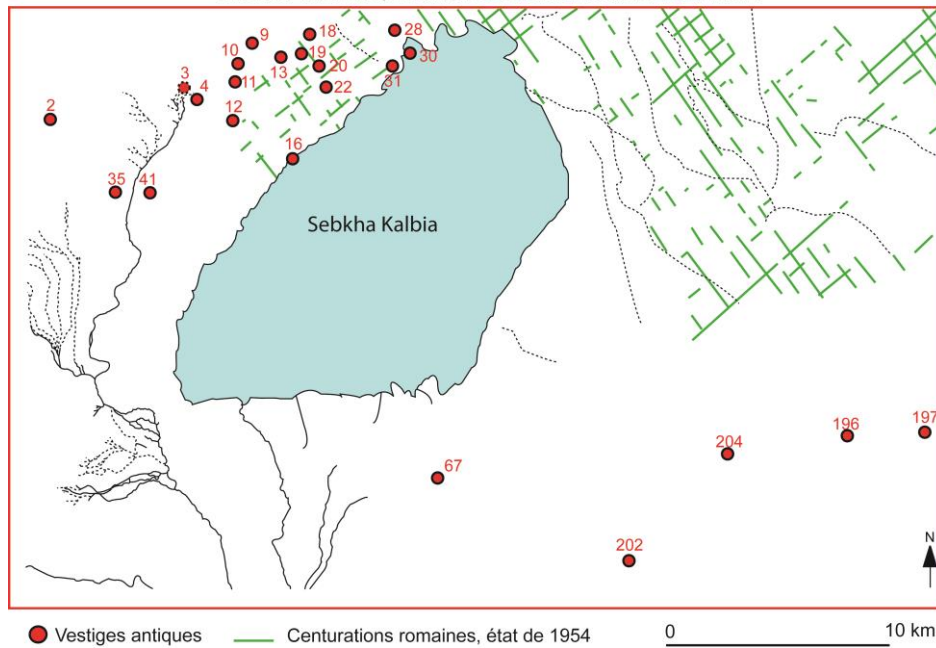
CARTE DES SITES ARCHÉOLOGIQUES
DE LA TUNISIE CENTRALE ET DU BASSIN DE LA SEBKHA KALBIA



- Sites archéologiques phéniciens
- ★ Sites archéologiques antiques
- Sites archéologiques byzantins (forteresses)
- ▲ Sites islamiques

A

VESTIGES ANTIQUES AUTOUR DE LA SEBKHA KALBIA



- Vestiges antiques
- Centurations romaines, état de 1954

B

Figure 6 : A : Sites archéologiques régionaux, locaux B : et autour de la sebkha Kalbia (Margot Bruneau, d'après l'atlas archéologique de la Tunisie ; d'après Dagdoug 2017).

CHAPITRE II. MATÉRIELS ET MÉTHODES

II.1. La carotte SK10-C1 de la sebkha Kalbia

Pour l'étude palynologique de la sebkha Kalbia la carotte SK10-C1 située à 1 km de la bordure nord-est de la sebkha a été prélevée à l'aide d'un carottier Technidrill (Fig. 7). La carotte SK10-C1 est longue de 31,47 m avec un diamètre de 116 mm (Boujelben *et al.* 2017).



Figure 7 : Prélèvement de la carotte SK10-C1 avec le carottier Technidrill dans la sebkha Kalbia (référence inconnue)

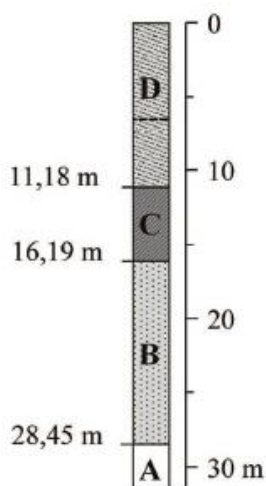


Figure 8 : Unités stratigraphiques de la carotte SK10-C1 de la sebkha Kalbia (A) argiles limoneuses compactes avec nodules et concrétions calcaires (B) limons, sables et argiles compacts avec horizons d'oxyde de fer et de gypse et amas calcaires (C) limons argileux et sables limoneux à limnées et *Cerastoderma glaucum* (D) argiles et limons, souvent oxydés avec lits discontinus de gypse et un niveau à limnées (profondeur 6,40 – 6,45 m, épaisseur 5 cm) (Boujelben *et al.* 2017)

D'un point de vue lithologique la carotte est subdivisée en 4 unités sédimentologiques (Fig. 8). Dans l'unité A, de la base du carottage jusqu'à 28,45 m de profondeur le sédiment argilo-limoneux se compose de nodules et de concrétions calcaires. L'unité B, entre 28,45 m et 16,19 m de profondeur, se présente sous la forme de dépôts compacts et hétérogènes avec des alternances de limons sableux-argileux, de sables fins et d'argiles limoneuses. La présence d'horizons fins d'oxydes de fer et de gypse ainsi que d'amas de calcaires est également attestée. Entre 16,19 m et 11,18 m l'unité C se compose d'un remplissage limono-argileux, sableux et limoneux entrecoupé de niveaux à limnées et à *Cerastoderma glaucum*, l'ensemble témoignant de l'alternance de faciès lacustre, lacustre-palustre et palustre-sebkha (Boujelben *et al.* 2017). Les *Cerastoderma glaucum* sont des bivalves tolérants aux conditions euryhalines et eurythermiques. Pour finir l'unité D, de 11,18 m jusqu'à la surface, se constitue d'une fine sédimentation d'argile et de limons, généralement oxydés, ainsi que des lits discontinus de gypse (Boujelben *et al.* 2017).

II.1.1. Géochronologie des sédiments de la sebkha Kalbia

Les restes de *Cerastoderma glaucum* entre 11,4 et 13,8 m et des bulks sédimentaires ont été datés (Boujelben *et al.* 2017). Des datations supplémentaires sur restes botaniques et micro-charbons ont également été réalisées (Montalti 2018). Toutes les datations sont disponibles (Tab. 1). Pour compléter, une datation sur des graines de *Ruppia maritima* est disponible (échantillon 160 A) et de nouvelles datations sont actuellement en cours (Tab. 1). Le taux de sédimentation a été calculé et le rythme d'accumulation entre 6971 cal. BP et 5596 cal. BP est de 0,7mm/an tandis que celui entre 5596 cal. BP à 4970 cal. BP est de 2 mm/an (Boujelben *et al.* 2017).

Échantillon	Laboratoire et nom d'échantillon	Matériel daté	Profondeur (en m)	Âge ¹⁴ C conventionnel
SK C1 – 1,01	Beta Analytic Beta - 290401	Sédiments (4,9 g)	1,01	5490 ± 40
KB 445-449	Poznan Poz - 102684	Micro-charbons (0,1 mg)	4,45-4,49	1290 ± 40
SK-C1 – 6,00	Beta Analytic – Beta - 290402	Sédiments (3 g)	6	6060 ± 40
KB 700-702	Poznan Poz - 102685	Restes botaniques (0,01 mg)	7	2460 ± 480
160 A	Beta Analytic Beta - 525327	Graines de <i>Ruppia maritima</i> (4 mg)	9	2110 ± 30
KB 1020-1022	Poznan Poz - 102682	Micro-charbons (0,05 mg)	10,2	3850 ± 100
SK C1- Shell 1	Beta Analytic Beta - 290407	<i>Cerastoderma glaucum</i>	11,4	4770 ± 40
SK C1 – 11,4	Beta Analytic Beta - 290403	Sédiments (4,9 g)	11,4	5010 ± 40
SKB 1150-1052	Poznan Poz-102681	Micro-charbons (0,01 mg)	11,5	4540 ± 560
SK C1 -Shell 2	Beta Analytic Beta - 290408	<i>Cerastoderma glaucum</i>	12,75	5290 ± 40
SK C1 – 13,8	Beta Analytic Beta - 290404	Sédiments (3,4 g)	13,8	7140 ± 50
SK C1- Shell 3	Beta Analytic Beta - 290409	<i>Cerastoderma glaucum</i>	13,8	6530 ± 40
SK C1 - Bois	Artemis Artemis-Lyon14985	Bois	14,25	7000 ± 30
SK C1 – 20,9	Beta Analytic Beta - 290405	Sédiments (7,8 g)	20,9	9750 ± 50
SK C1 – 28,8	Beta Analytic Beta - 290406	Sédiments (10 g)	28,8	7540 ± 40

Tableau 1 : Datations radiocarbone de la sebkha Kalbia (Margot Bruneau, d'après les résultats de Boujelben *et al.* 2017 ; Montalti 2018)

II.1.2. Niveaux de la carotte SK10-C1 étudiés pour la palynologie

Pour cette étude, 28 échantillons provenant de l'unité stratigraphique D (profondeur de 11,18 m jusqu'à la surface) de la carotte SK10-C1 de la sebkha Kalbia ont été sélectionnés car au vu du modèle d'âge, ils traversent la période romaine, l'Antiquité tardive et le début du Moyen-Âge. Ils sont datés entre 2024 cal. BP et 1218 cal. BP (74 BCE à 732 CE) (Tab. 2). Un échantillon de surface, P1, sera également observé.

Échantillon	Profondeur (sous 0, en cm)	Âge (cal. BP)	Âge (BCE/CE)
SK10-C1-P76	445	1218	732
SK10-C1-P77	455	1267	683
SK10-C1-P78	460	1294	656
SK10-C1-P79	465	1321	629
SK10-C1-P80	470	1348	602
SK10-C1-P81	475	1375	575
SK10-C1-P82	480	1402	548
SK10-C1-P83	485	1429	521
SK10-C1-P84	490	1456	494
SK10-C1-P85	495	1483	467
SK10-C1-P86	500	1510	440
SK10-C1-P87	510	1564	386
SK10-C1-P88	515	1591	359
SK10-C1-P89	520	1618	332
SK10-C1-P90	525	1645	305
SK10-C1-P91	530	1672	278
SK10-C1-P92	535	1699	251
SK10-C1-P93	540	1727	223
SK10-C1-P94	545	1754	196
SK10-C1-P95	550	1781	169
SK10-C1-P96	555	1808	142
SK10-C1-P97	560	1835	115
SK10-C1-P98	565	1862	88
SK10-C1-P99	570	1889	61
SK10-C1-P100	575	1916	34
SK10-C1-P101	580	1943	7
SK10-C1-P102	585	1970	-20
SK10-C1-P104	595	2024	-74

Tableau 2 : Les 28 échantillons étudiés avec âges et profondeurs (Margot Bruneau)

II.2. Méthode d'analyse pollinique

II.2.1. Préparation des échantillons

Pour réaliser les lames polliniques de l'étude, environ 3gr par échantillon ont été traités par des bains successifs d'acide fluorhydrique (HF), d'acide chlorhydrique (HCl), et de potasse (KOH). Le Chlorure de Zinc ($ZnCl_2$), de densité 2, est ensuite utilisé pour éliminer les éléments minéraux et organiques résiduels.

Une pastille de contaminant végétal contenant 20 848 spores de *Lycopodium* est ajoutée aux échantillons. Le culot est conservé dans du glycérol à 10 % et 50 μ l sont montés entre lame et lamelle. Les lames sont fermées à l'histolaque. Une version détaillée du protocole de préparation des échantillons est disponible en annexe (Annexe 2).

II.2.2. Outils à l'identification du matériel pollinique

Les grains de pollen, gamétophytes mâles des plantes à graines, se composent d'un noyau et d'une membrane composée d'une intine en cellulose et d'une exine en sporopollénine (biopolymère). Les grains de pollen ont des apertures de nombres et de formes variables (pores, sillons, colpores). Les ornements sur l'exine et les apertures du grain de pollen vont permettre aux palynologues de le déterminer (Erdtman *et al.* 1992 ; Punt *et al.* 2007). La L.O analyse, méthode d'observation du pollen, permet d'observer les différents niveaux de l'exine (Reille 1990).

L'identification et la détermination des taxons sont réalisées au microscope optique AXIO Scope A1. à l'aide du grossissement x40 pour la lecture des lames polliniques et x100 pour la détermination des grains de pollen. Des ouvrages de référence sur les morphologies polliniques des taxons tunisiens ont également été utilisés (Reille 1992, 1995, 1998 ; Harley *et al.* 2000 ; Beug 2004). Les collections de référence du laboratoire de palynologie du département Homme et Environnement du Muséum national d'Histoire naturelle (MNHN) et de l'Institut de Paleoecologia Humana i Evolució social (IPHES) ont également été consultées.

II.2.3. Comptage, pourcentage et richesse pollinique

Pour chaque échantillon observé, un minimum de 300 grains de pollen a été compté afin que les spectres polliniques reflètent la composition de la végétation locale et régionale. Un

minimum de 18 taxons, avec au moins 100 grains en plus du taxon dominant, ont été comptés pour tous les échantillons étudiés.

Les pourcentages des taxons polliniques sont obtenus par le rapport entre la somme des grains de pollen du taxon sur la somme pollinique de base (AP *Arboreal Pollen* et NAP *Non Arboreal Pollen*). Les pourcentages des grains de pollen indéterminables ont été calculés par rapport à la somme totale (grains de pollen identifiés ou non-identifiés).

La richesse pollinique, c'est à dire la concentration du matériel pollinique, est obtenue par l'ajout d'un contaminant (*Lycopodium*) en quantité connue. Elle se calcule par une règle de trois sur la somme de base et s'exprime en nombre de grains par gramme de sédiments traités.

Le calcul de la richesse permet d'apprécier la validité d'un spectre pollinique. Les résultats obtenus varient selon la nature lithologique du sédiment, la vitesse de sédimentation et la productivité pollinique des taxons. Ils permettent ainsi de recentrer les interprétations.

II.2.4. Diagramme pollinique

Les données des comptages sont présentées sous la forme d'un diagramme pollinique. Ce diagramme se lit du bas vers le haut et permet de mettre en évidence les dynamiques de végétation. Le diagramme illustre la succession des spectres polliniques des taxons ligneux et herbacés. Ils sont disposés par regroupement écologique, et rangés par ordre alphabétique de famille, de genre puis d'espèce. Les taxons ligneux et herbacés ont été séparés et un bloc central permet de suivre le ratio AP/NAP.

II.2.5. Morphologie pollinique

Les trois types polliniques renvoyant à 3 espèces de *Quercus* (*Quercus* type *ilex*, *Quercus* type *pedunculata* et *Quercus* type *suber*), les Caryophyllaceae avec le type *Herniaria/Paronychia* ainsi que les Poaceae avec le type *Glyceria* et le type *Cerealia* ont été identifiés. Les caractères morphologiques retenus pour identifier ces taxons polliniques sont présentés.

II.2.5.1. *Quercus*

- *Quercus* type *ilex*

Pollen tricolpé ou tricolporoïdé. Pollen petit (*ca.* 20 μm) Constriction des sillons. Marge des sillons variables. Exine tectée et scabré. (Carrión *et al.* 2000).

- *Quercus* type *pedunculata*

Pollen tricolpé ou tricolporoïdé. Pollen moyen à grand (*ca.* 35 μm). Sillons droits. Marge des sillons peu épaisse. Exine tectée et scabré. Distribution éparse du tectum (Carrión *et al.* 2000).

- *Quercus* type *suber*

Pollen tricolpé ou tricolporoïdé. Pollen grand (*ca.* 40 μm). Sillons droits. Marge des sillons épaisses. Densité des sculptures moyennes. Exine tectée et scabré. Distribution régulière du tectum (Carrión *et al.* 2000).

II.2.5.2. Caryophyllaceae et le type *Herniaria/ Paronychia*

- Caryophyllaceae

Pollen périporé (quelques grains de pollen tricolpés). Pollen de forme sphéroïde à ellipsoïdale de 10 μm à 60 μm (Erdtman *et al.* 1992). Entre 8 et 20 pores. Pores annelés. Pollen tecté et perforé. Exine échinulée ou micro-échinulée (Faegri et Iversen 1989 ; Kubitzki *et al.* 1993).

- Type *Herniaria/ Paronychia*

Pollen périporé. Pollen sphéroïdale à sub-polyhédrique. Pollen petit (*ca.* 10 μm - 25 μm). Entre 4 et 8 pores. Grands pores non annelés. Pores avec des marges irrégulières. Exine mince (< 0,5 μm) tectée et scabré ou psilée. Columelles moins distincts (Moore et Webb 1978 ; Faegri et Iversen 1989 ; Punt et Hoen 1995) (Fig. 9).

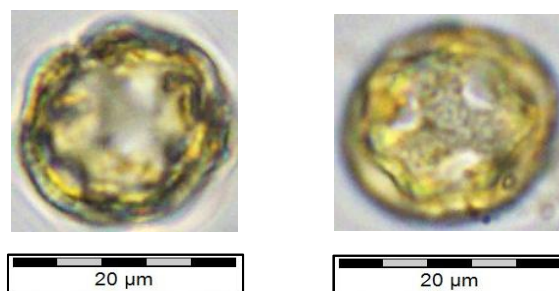


Figure 9 : Photographies d'un grain de pollen identifié comme type *Herniaria/Paronychia* (Margot Bruneau)

II.2.5.3. Poaceae, type *Cerealia* et type *Glyceria*

- Poaceae

Pollen monoporé. Pollen sphéroïde. Pollen de taille variable ($< 40 \mu\text{m}$). Pore non annelé (Tweddle *et al.* 2005).

- Type *Cerealia*

Pollen monoporé. Pollen sphéroïde. Pollen de grande taille (*ca.* $\geq 40 \mu\text{m}$). Pore annelé $> 12 \mu\text{m}$ (Tweddle *et al.* 2005).

- Type *Glyceria*

Pollen monoporé. Pollen sphéroïde. Pollen de taille variable ($< 40 \mu\text{m}$). Pore annelé $< 12 \mu\text{m}$ (Fig. 10) (Tweddle *et al.* 2005).

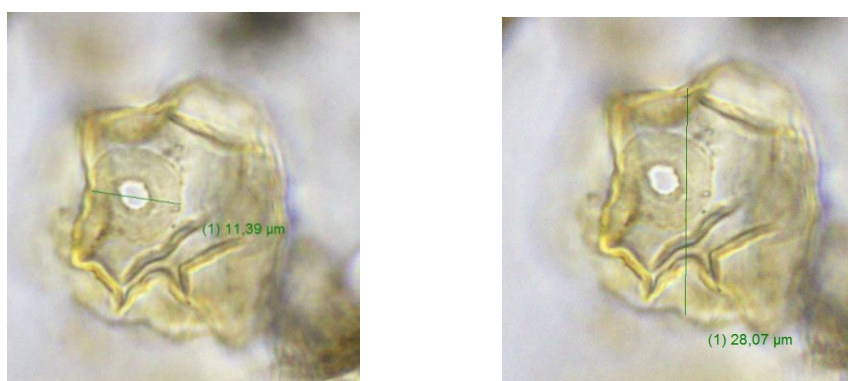


Figure 10 : Photographies d'un grain de pollen identifié comme type *Glyceria* (Margot Bruneau)

CHAPITRE III. RÉSULTATS

III.1. Datation

III.1.1. Dater les remplissages sédimentaires des sebkhas.

L'âge des milieux palustres et lacustres peut être obtenu par l'étude limnologique des couches sédimentaires en comptant les couches annuelles et les varves. Or cette méthode ne peut être appliquée aux sebkhas où les dépôts ne sont pas laminés. Ainsi, l'utilisation du ^{14}C (AMS) est nécessaire dans ce type de milieu. Toutefois, les restes organiques sont rares. Les sédiments vont être tamisés pour récolter au tri à la loupe binoculaire les restes organiques de dimensions inférieures à $500 \mu\text{m}$. Selon la nature des restes organiques, un poids minimum est

requis. Des indications sur les poids minimums pour datation AMS ^{14}C (Accelerator Mass Spectrometry) des charophytes, des graines, des charbons et des bois sont données (Tab. 3).

Matériel datable au ^{14}C	Poids minimum (en mg)
Charophytes	3-100
Graines	3-100
Bois	3-100
Charbon	2-100

Tableau 3 : Poids minimum des échantillons pour datation AMS ^{14}C (Margot Bruneau, d'après Beta Analytic)

III.1.2. Dates disponibles et nouvelles datations de la sebkha Kalbia

Un modèle âge/ profondeur préliminaire a été réalisé sur Clam et se construit grâce aux datations suivantes (Tab. 4).

Échantillon	Laboratoire et nom d'échantillon	Matériel daté	Profondeur (en m)	Âge ^{14}C (cal. BP à 2σ)
SK C1 – 1,01	Beta Analytic Beta - 290401	Sédiments (4,9 g)	1,01	6303 ± 93
KB 445-449	Poznan Poz - 102684	Micro-charbons (0,1 mg)	4,45-4,49	1194 ± 103
SK-C1 – 6,00	Beta Analytic – Beta - 290402	Sédiments (3 g)	6	6966 ± 174
KB 700-702	Poznan Poz - 102685	Restes botaniques (0,01 mg)	7	2558 ± 1135
160 A	Beta Analytic Beta - 525327	Graines de <i>Ruppia maritima</i> (4 mg)	9	2074 ± 78
KB 1020- 1022	Poznan Poz - 102682	Micro-charbons (0,05 mg)	10,2	4251 ± 270
SK C1- Shell 1	Beta Analytic Beta - 290407	<i>Cerastoderma glaucum</i>	11,4	5461 ± 130
SK C1 – 11,4	Beta Analytic Beta - 290403	Sédiments (4,9 g)	11,4	5773 ± 199
SKB 1150- 1052	Poznan Poz-102681	Micro-charbons (0,01 mg)	11,5	5144 ± 1306
SK C1 -Shell 2	Beta Analytic Beta - 290408	<i>Cerastoderma glaucum</i>	12,75	6065 ± 121
SK C1 – 13,8	Beta Analytic Beta - 290404	Sédiments (3,4 g)	13,8	7952 ± 76
SK C1- Shell 3	Beta Analytic Beta - 290409	<i>Cerastoderma glaucum</i>	13,8	7444 ± 113
SK C1 - Bois	Artemis Artemis-Lyon14985	Bois	14,25	7844 ± 87

Tableau 4 : Dates utilisées pour la réalisation modèle âge/profondeur. Les datations en rouges ne sont pas considérées dans le modèle âge/profondeur (Margot Bruneau)

Les datations sur bulks sédimentaires n'ont pas été intégrées au modèle âge/profondeur (Fig. 11). Au vu des datations réalisées sur coquilles et sur micro-charbon, les dates obtenues sur sédiments sont trop divergentes. Ces différences de dates peuvent s'expliquer par la nature même du sédiment daté qui peut être composé de matières organiques contemporaines du sédiment mais aussi de remaniement plus anciens ou plus récents qui biaisent les datations.

Les datations de Montalti (2018) pour élaborer le modèle âge/profondeur préliminaire sont réalisées sur des restes botaniques et du bois (2 dates) ainsi que sur micro-charbons (2 dates) (Fig. 11). Pour commencer, aucune indication sur la nature même des restes botaniques n'est fournie. En effet, la nature du reste botanique daté n'est pas connue. La marge d'erreur de la datation, 2558 ± 1135 cal. BP, pourrait s'expliquer par la datation de graines de *Ruppia maritima* ou de *Zannichellia palustris*, soumises à l'effet réservoir, ou encore par l'échantillonnage trop petit (0,01 mg). Les échantillons de micro-charbons SKB 1150-1052 sont également soumis à une grande marge d'erreur (5144 ± 1306 cal. BP). Ce phénomène peut également s'expliquer par la masse trop faible de l'échantillon (0,01 mg) ou par la datation de micro-charbons de plantes aquatiques soumise à l'effet réservoir. Les datations sur coquilles sont quant à elles utilisables car leur effet réservoir est connu pour la Méditerranée (390 ± 85 yr BP) (Siani *et al.* 2000).

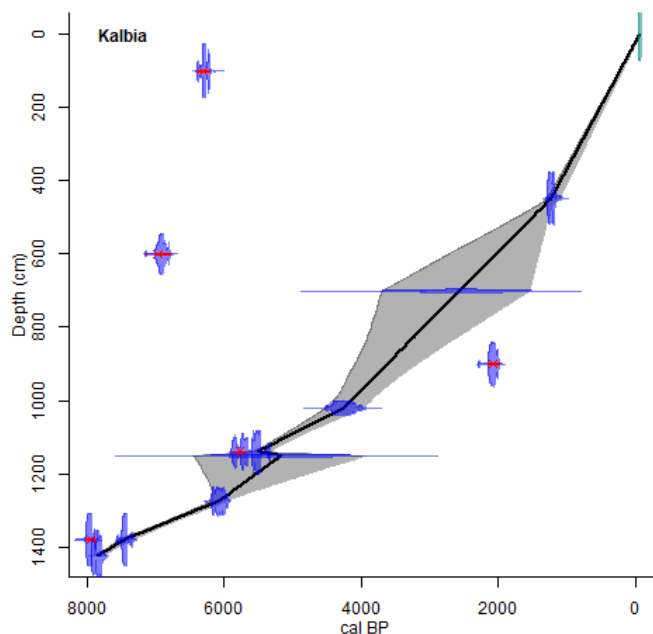


Figure 11 : Modèle âge/profondeur des datations du tableau 4 (III.1.2.). Les datations en rouges sont des « outliers » qui ne sont pas considérés dans le modèle âge/ profondeur (Sahbi Jaouadi)

Pour compléter et affiner les datations de la période relative aux échantillons étudiés, 11 échantillons ont été sélectionnés et tamisés à 150 µm pour extraire des micro-restes organiques datables. Seulement trois niveaux ont été sélectionnés. Les matières organiques des échantillons P160, P135 et P92 ont été envoyés au laboratoire Beta Analytic pour datation AMS ¹⁴C et sont actuellement en cours (Tab. 5). Elles permettront de compléter le modèle âge/profondeur préliminaire. Ces datations ont été élaborées dans le cadre de mon Master et font partie intégrante des questions relatives à la datation des sebkhas.

Échantillon	Profondeur (en m)	Matériel daté	Poids (en mg)
P92	5,35	Charophytes	0,5
P135	7,50	Charophytes	0,9
P160A	9,00	<i>Ruppia maritima</i>	4
P160B	9,00	Charophytes	2

Tableau 5 : Profondeur, matériel daté et le poids des échantillons P92, P135, P160 (Margot Bruneau)

Les charophytes sont un groupe de macrophytes non-vasculaires vivant entièrement submergés dans les eaux douces et les eaux saumâtres (Soulié-Märsche 2008). Ils se composent d'une enveloppe calcifiée, gyrogonite, avec à l'intérieur un œuf, oospore. Ils apparaissent assez souvent dans les couches Pléistocène et Holocène des sebkhas non végétalisées (Soulié-Märsche 2008). La datation ¹⁴C des charophytes connaît un problème. Les éléments aquatiques prennent leur source en carbone de l'atmosphère et des eaux profondes. La teneur en carbone de ces deux environnements n'est pas la même. Ainsi les éléments marins présentent un âge plus au moins plus ancien que les éléments terrestres qu'il faut pouvoir calibrer. C'est l'effet réservoir (Björck et Wohlfarth 2002). Les graines de *Ruppia maritima*, connaissent également ce phénomène. Ces plantes se développent dans des eaux hautement salées (Birks *et al.* 2001).

Des datations ont déjà été réalisées sur les *Ruppia maritima*, les charophytes ainsi que sur des restes organiques n'étant pas soumis à l'effet réservoir (tels que les charbons) pour corriger leurs datations (Pentecost *et al.* 2006 ; Hatté *et al.* 2013 ; Zhou *et al.* 2014).

Pour la sebkha Kalbia, deux dates sur deux matériaux différents sont réalisées pour l'échantillon P160 afin d'évaluer et de comparer l'effet réservoir des *Ruppia maritima* et des charophytes. Pour l'échantillon P160 A, sur graine de *Ruppia maritima*, la date de 2074 ± 78 cal. BP (204 – 46 BCE) a été obtenue. Les résultats de l'échantillon 160 B, sur charophytes permettront d'évaluer les effets réservoirs sur deux matériaux différents provenant d'un même

niveau. La date de l'échantillon 160 A n'est pour l'heure pas considérée et est écartée de la réalisation du modèle d'âge au vu de son âge trop récent (Fig. 11).

Des charophytes et des micro-charbons provenant d'une séquence sédimentaire en contexte de sebkha à Kasserine ont été envoyés pour obtenir deux datations. Les résultats permettront de comparer ces deux dates pour calibrer l'effet réservoir des charophytes. Ce calibrage pourra être appliqué sur les échantillons P92, P135 et P160 B pour corriger leurs effets réservoirs.

III.2. Spectres polliniques

III.2.1. Relation végétation – spectre pollinique

Les observations des 28 lames de la carotte SK10-C1 ont permis d'identifier 57 taxons polliniques. La diversité des spectres polliniques varie entre 18 et 30 taxons par spectre. Les données brutes des comptages et des planches des taxons polliniques les plus importants sont observables en annexe (Annexe 3 et Annexe 4). Le diagramme complet est disponible en Annexe 5.

Les arbres du groupe écologique de la forêt méditerranéenne et du groupe écologique des taxons méditerranéens, sont principalement représentés par *Pinus*, *Olea*, *Quercus* type *ilex* et *Pistacia* (Fig. 13). Ces taxons représentent la végétation régionale et locale du bassin versant de la sebkha. Les forêts de pins d'Alep (*Pinus halepensis*) et les forêts de chênes verts, (*Quercus ilex*), colonisent la Dorsale (Pottier-Alapetite 1979). Des formations mixtes de pins d'Alep et de chênes verts peuvent exister (Hénia *et al* 2008). Ces taxons semblent apparaître dans les spectres polliniques par des apports anémophiles (vents) et hydrogames (oueds). *Pistacia* et *Olea*, constituent des formations végétales sur les hautes steppes et les zones transitoires avec les basses steppes. *Olea europaea* se rencontre dans une grande partie de la Tunisie (Pottier-Alapetite 1981). *Pistacia lentiscus*, *Pistacia terebinthus* et *Pistacia atlantica* sont attestés sur la Dorsale et dans la région de la Tunisie centrale. Ce sont des taxons représentant la végétation régionale du bassin versant de la sebkha Kalbia.

Des taxons polliniques, divisés en trois groupes, ont été enregistrés à de faibles pourcentages. Un premier groupe est composé de taxons d'apports lointains. Les taxons sont transportés par la circulation atmosphérique des régions tempérées du nord ou de l'Europe vers le bassin versant de la Kalbia (*Acer*, *Betula*, *Carpinus* type *orientalis*, *Corylus*, *Quercus* type

suber, *Fraxinus* type *ornus*, *Salix*, *Tilia* et *Ulmus*) (Fig. 13). Un second groupe se compose de *Ceratonia*, taxon régional à faible production et dispersion pollinique (Fig. 13). Enfin le troisième groupe se compose de taxons locaux à faible (*Rhus*) et grande dispersion (*Phillyrea*) (Fig. 13).

Les spectres polliniques sont dominés par les herbacées (Fig. 13). Les Amaranthaceae dominant dans tous les échantillons (Annexe 5). Ce sont des indicateurs de l'environnement salin local de la sebkha. Leur présence à de hauts pourcentages dans les spectres polliniques est donc naturelle. Les Amaranthaceae occupent toute la région de la Tunisie centrale. Quelques espèces sont renseignées aux alentours de la sebkha Kalbia. Pottier-Alapetite (1979) fait mention de *Beta macrocarpa*, présent au « lac kelbia » (Pottier-Alapetite 1979, p. 44) et d'*Atriplex rosea* au « sud du lac kelbia » (Pottier-Alapetite 1979, p. 53).

Les taxons steppiques, *Artemisia*, *Plantago*, *Plantago* type *lanceolata* et Poaceae sont développés dans les spectres (Fig. 13). L'armoise blanche (*Artemisia herba alba*) et l'armoise champêtre, (*Artemisia campestris*) sont présentes dans les basses et hautes steppes de la Tunisie centrale. Elles peuvent être accompagnées par l'alfa (*Stipa tenacissima*) et par le genévrier (*Juniperus*). En Tunisie, de la zone bioclimatique subhumide à l'aride inférieur, le genévrier de Phénicie (*Juniperus phoenicea*) est présent sur les massifs montagneux (Chaieb et Boukhris 1998).

Les Poaceae sont des plantes steppiques des basses et hautes steppes. Néanmoins certaines espèces telles que *Koeleria pubescens* et *Stipa capensis* peuvent se comporter comme plantes rudérales (Chaieb et Boukhris 1998).

Les plantains, *Plantago*, sont des espèces végétales répandues en Tunisie centrale. Ce sont des herbacées steppiques présentes sur les terrains arides mais également sur les sols sableux humides (Pottier-Alapetite 1981). Le type *Plantago lanceolata* est décrit comme une espèce « cosmopolite » (Pottier-Alapetite 1981, p. 880). Ce taxon est souvent utilisé comme indicateur anthropique. En effet, il peut se développer dans les steppes pâturées. Son ambivalence écologique amène à reconsidérer cette interprétation. Ainsi, pour cette étude, les *Plantago* type *lanceolata* des spectres polliniques ne sont pas considérés comme témoins d'anthropisation.

Les Brassicaceae sont observables dans les spectres polliniques et restent stables tout le long de la séquence (Fig. 13). Cette famille se développe dans les steppes sableuses de la

Tunisie centrale et sur les sols rocaillieux de la Dorsale (Pottier-Alapetite 1979). Cependant, des espèces cultivées telles que les *Brassica oleracea* (le chou), les *Brassica napus* (le navet), et rudérales telles que les *Brassica tournefortii* (le chou de Tournefort) existent (Pottier-Alapetite 1979 ; Chaieb et Boukhris 1998).

D'autres taxons herbacés ont été observés à faible fréquence dans les spectres (Fig. 13) :

- Les taxons xérophytes steppiques *Centaurea*, *Capparis*, Caryophyllaceae, *Helianthemum*, *Ephedra* type *fragilis*, et type *Centaurium*.
- Les taxons ubiquistes Apiaceae, Asteroideae, Cichorioideae, *Heliotropium*, type *Herniaria*, Crassulaceae, type *Scabiosa*, Ericaceae, Euphorbiaceae, Fabaceae, Geraniaceae, type *Asphodelus*, Malvaceae, Rosaceae, Saxifragaceae, Scrofulariaceae, Thymellaeaceae et Valerianaceae.

Les taxons de ripisylve *Alnus* et *Tamarix* ainsi que les taxons aquatiques *Thalictrum* et Cyperaceae sont également peu représentés sur les spectres polliniques (Fig. 13). Ils colonisent les berges des oueds, les bassins du Nord tunisien et de la Tunisie centrale (Cuénod *et al.* 1954). Les Ranunculaceae ont également été observés à faible fréquence (Fig. 13).

III.2.2. Spectre pollinique de surface

Un échantillon de surface, P1, a été analysé pour caractériser la relation pollen-végétation actuelle (Fig. 12). Les taxons arborés sont représentés par *Pinus*, *Quercus* type *ilex*, *Quercus* type *pedunculata* et *Olea*. Ils correspondent à 15% du spectre pollinique. Au sein des

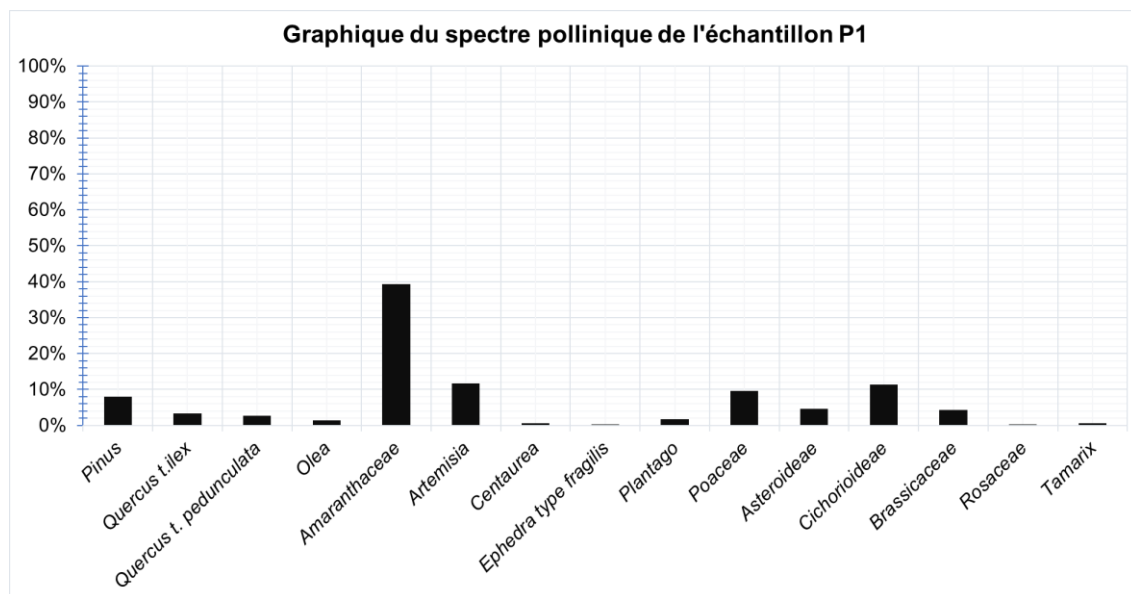


Figure 12 : Graphique du spectre pollinique de l'échantillon de surface P1 (Margot Bruneau)

herbacés un taxon domine : *Amaranthaceae*. Il est présent à 39% et est suivi par trois autres taxons : *Artemisia* (12%), *Cichorioideae* (11%) et *Poaceae* (10%)

L'analyse de l'échantillon de surface P1 permet de dresser l'image d'un paysage très ouvert et steppique. La végétation locale, représentée par les *Poaceae* et *Artemisia*, peut indiquer la présence de steppes à armoises et à graminées. La présence des *Amaranthaceae* (39%) semble être liée à la forte salinité du milieu. Les taxons arborés *Pinus*, *Quercus type ilex* et *Quercus type pedunculata* indiquent la présence de forêt sur les reliefs de la Dorsale. Le spectre de surface, et par extension le carottage réalisé dans la sebkha, enregistre donc bien les taxons polliniques majeurs des différentes formations végétales régionales et locales du bassin versant de la sebkha Kalbia.

III.2.3. Description du diagramme pollinique détaillé

Les *Amaranthaceae* sont surreprésentés dans les spectres polliniques, ce qui s'explique par la nature même du milieu. Inféodés aux sebkhas, les *Amaranthaceae* ne peuvent avoir de valeur interprétative dans les spectres polliniques. Ils sont alors retirés des spectres et du diagramme pour permettre une meilleure lisibilité des autres taxons et *a fortiori* des zones de végétation. Deux grandes zones polliniques ont été distinguées au vu des variations de *Pinus*, *Olea*, *Artemisia*, *Plantago*, des *Asteroideae* ainsi que des *Cichorioideae*. Au sein de la zone inférieure plusieurs sous-zones ont été identifiées (Fig. 13).

Zone 1 :

Une première grande zone de la base du spectre pollinique, datée entre 2024 cal. BP (74 BCE) et 1575 cal. BP (375 CE), se caractérise par la présence élevée et saccadée d'*Artemisia*. Le rapport AP/NAP penche en faveur des NAP avec une régression progressive des AP. Cette première zone a été découpée en sous-zone en fonction des dynamiques de la végétation.

Sous-zone 1a :

La sous-zone 1a, de 2024 cal. BP à 1889 cal. BP (74 BCE à 61 CE) se caractérise par un recul global des AP. *Pinus*, *Pistacia*, et *Phillyrea* régressent progressivement. *Olea* connaît une régression rapide de 22% à 10% vers 1970 cal. BP (20 BCE) avant une légère reprise (15%) vers 1889 cal. BP (61 CE). À l'inverse *Quercus type ilex*, reste stable et connaît une augmentation progressive vers 1970 cal. BP (20 BCE) avec un pic de représentation vers 1916

cal. BP (34 CE). Les Cupressaceae et les *Quercus* type *pedunculata* sont stables dans des taux inférieurs à 3%.

Dans cette sous-zone 1a, la dynamique des herbacés se caractérise par de fortes et rapides variations à la hausse d'*Artemisia*. *Plantago*, les Poaceae, les Asteroideae, et les Cichorioideae sont bien représentés. Les Poaceae connaissent une première régression vers 1970 cal. BP (20 BCE) suivie d'une reconquête. Les Poaceae, *Plantago*, les Asteroideae, les Cichorioideae et les Brassicaceae sont marqués par une baisse de leurs taux au sommet de la sous-zone. Les taxons type *Herniaria/ Paronychia*, Ericaceae et Cyperaceae connaissent une baisse progressive de leurs représentations.

Sous-zone 1b :

Dans la sous-zone 1b, de 1889 cal. BP à 1781 cal. BP (de 61 à 169 AD), *Quercus* type *ilex* et *Olea* subissent des infléchissements. *Quercus* type *ilex* régresse doucement vers 1781 cal. BP (169 CE) où il est inférieur à 5%. *Olea* connaît une régression plus rapide de 15% à 3% vers 1835 cal. BP (115 CE) suivie par une augmentation. *Pinus* subit une dynamique inverse avec une augmentation rapide de 11% vers 1835 cal. BP (115 CE) et une légère régression. *Pistacia* et *Quercus* type *pedunculata* restent stables (entre 4% et 2%).

La sous-zone 1b enregistre de fortes et rapides variations d'*Artemisia* qui reste cependant dans des valeurs élevées. *Plantago* augmente progressivement (8%) vers 1808 cal. BP (142 CE). *Centaurea* augmente légèrement. Les Poaceae (16%) et les Cichorioideae (14%) sont bien représentés vers 1889 cal. BP (61 CE). Les Poaceae subissent une légère régression (10%) vers 1781 cal. BP (169 CE) tandis que les Cichorioideae augmentent progressivement (19%) vers 1808 cal. BP (142 CE). Les Asteroideae et les Apiaceae sont stables. Les Cyperaceae sont présents (2%) vers 1808 cal. BP (142 CE).

Sous-zone 1c :

La sous-zone 1c, de 1781 cal. BP à 1575 cal. BP (169 - 375 CE) est marquée par la stabilisation de *Quercus* type *pedunculata* et une régression de *Pinus* (2%). *Quercus* type *ilex* augmente (12%) vers 1754 cal. BP (196 CE) puis baisse progressivement avant de revenir à des valeurs stables. *Olea* se stabilise à des taux plutôt élevés (15%) puis régresse progressivement vers 1591 cal. BP (359 CE). *Pistacia* augmente (5%) vers 1754 cal. BP (196 CE) puis régresse et se stabilise. *Vitis* apparaît vers 1618 cal. BP et 1591 cal. BP (332 - 359 CE) (mais dans des taux <1%).

Les variations d'*Artemisia* sont toujours présentes et semblent moins prononcées vers 1645 cal. BP (305 CE). Les Poaceae régressent légèrement (6%) puis subissent une augmentation (13%) vers 1591 cal. BP (359 CE). *Plantago* reste stable et connaît une augmentation (11%) vers 1645 cal. BP (305 CE) avant de revenir à des valeurs stables (5%). *Centaurea* augmente vers 1645 cal. BP (305 CE).

Les Asteroideae restent stables. Les Cichorioideae augmentent progressivement (21%) vers 1645 cal. BP (305 CE) avant de régresser vers 1618 cal. BP (332 CE). Les Brassicaceae restent stables. Le type *Herniaria/Paronychia* est présent et connaît une augmentation rapide de 4% vers 1727 cal. BP (223 CE). Les Cyperaceae et les Ericaceae restent présents à de faible pourcentage ($\leq 1\%$).

Zone 2 :

La seconde grande zone du diagramme pollinique s'étend de 1575 cal. BP à 1218 cal. BP (375 - 732 CE). Les NAP restent dominants et les AP se stabilisent (ca. 30%).

Les taxons arborés sont marqués par une stabilisation de *Quercus* type *pedunculata*, et de *Pistacia*. Les Cupressaceae subissent des épisodes d'augmentation (2%). *Quercus* type *ilex* augmente progressivement et passe de 3% à 17% vers 1321 cal. BP (629 AD). La fin de la séquence se caractérise par une régression des *Quercus* type *ilex*. *Pinus* augmente fortement (21%) vers 1510 cal. BP (440 CE) et subit une baisse (5%) vers 1321 cal. BP (629 CE). Il remonte peu à peu jusqu'à la fin de la séquence. *Olea* régresse progressivement (4%) et se stabilise vers 1510 cal. BP (440 CE).

Artemisia se stabilise autour de 10% et subit un infléchissement (6%) vers 1429 cal. BP (521 CE). La fin de la séquence est marquée par une augmentation rapide (16%). Les Poaceae connaissent de grandes variations et passent de 5% à 14% de 1429 cal. BP (521 CE) à 1321 cal. BP (629 CE). Ils déclinent à la fin de la séquence. *Centaurea* et les Caryophyllaceae sont présents et atteignent un pic de représentation de 3% vers 1483 cal. BP (467 CE). *Plantago* connaît une augmentation de ses valeurs. Vers 1456 cal. BP (494 CE) il subit une régression rapide (1%) pour être $< 1\%$ à la fin de la séquence. *Plantago* type *lanceolata*, peu présent dans la zone 1, apparaît plus fréquemment ($\leq 1\%$) dans la zone 2.

Les Cichorioideae sont marqués par une augmentation de leur représentation. Vers 1375 cal. BP (575 CE) jusqu'à la fin de la séquence, ils sont soumis à de grandes variabilités. Ils passent ainsi de 34% à 18% vers 1321 cal. BP (629 CE) et de 26% à 10% vers 1267 cal. BP (683 CE). Les Asteroideae subissent une légère augmentation jusqu'à 1510 cal. BP (440 CE)

et restent stables. Les Brassicaceae, les Apiaceae et les Ericaceae restent stables. Les Cyperaceae sont présents ($\leq 2\%$) excepté de 1429 cal. BP à 1348 cal. BP (521 - 602 CE).

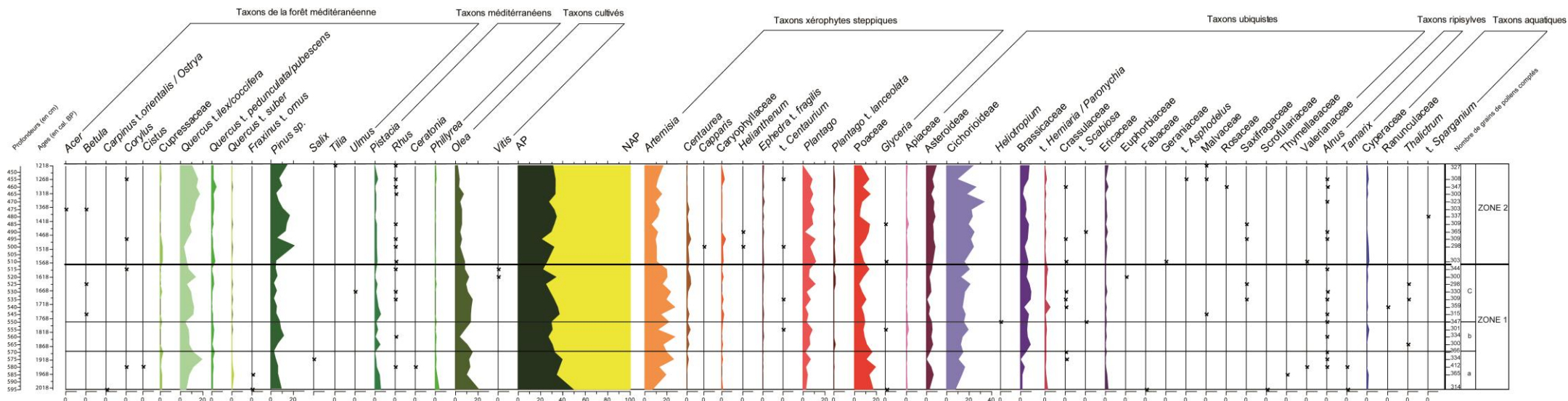


Figure 13 : Diagramme détaillé des échantillons de P104 à P76 de la carotte SK10-C1 de la sebkha Kalbia (Margot Bruneau)

CHAPITRE IV. DISCUSSION

IV.1. Concentration, taphonomie et dispersion pollinique

IV.1.1. Concentration pollinique

Les concentrations polliniques des échantillons ont été calculées (Annexe 6). Les concentrations polliniques sont variables comme le montrent les échantillons P77, P92, P98 et les échantillons P76, P80, P86, P93 (Tab. 6). Les valeurs des concentrations polliniques témoignent que les sebkhas sont des bons réceptacles de la pluie pollinique.

Échantillon	Nombre de grains par g de sédiment	Profondeur (en m)	État de conservation
SK10-C1-P76	9670	445	transparent, déchiré
SK10-C1-P77	33552	455	transparent, déchiré
SK10-C1-P80	8523	470	bonne conservation
SK10-C1-P86	5856	500	bonne conservation
SK10-C1-P92	32575	535	assez bonne conservation (quelques grain de pollen transparents, déchirés)
SK10-C1-P93	1462	540	transparent, déchiré
SK10-C1-P98	32762	565	bonne conservation

Tableau 6 : Concentrations et états de conservation des grains de pollen des échantillons P76, P77, P80, P86, P92, P93, P98 de la carotte SK10-C1 de la sebkha Kalbia (Margot Bruneau)

L'analyse du spectre de surface permet d'apprécier la végétation régionale et locale actuelle du bassin versant de la sebkha Kalbia. Sa mise en relation avec les échantillons étudiés permet d'observer des ressemblances dans la composition des spectres polliniques. Ces résultats réaffirment le potentiel des sebkhas en tant qu'archive du matériel pollinique.

Cependant, les grains de pollen observés dans les lames ont des états de conservation différents. Les niveaux avec les grains les moins bien conservés, et donc difficiles à identifier, ne semblent cependant pas montrer d'aberrations dans la composition des spectres polliniques. En effet, pour les échantillons de la sebkha Kalbia les pourcentages d'indéterminables n'excèdent pas les 7% (Tab. 7).

Échantillon	Indéterminable (fréquence)	Indéterminable (pourcentage)
SK10-C1-P76	0	0%
SK10-C1-P77	11	4%
SK10-C1-P78	0	0%
SK10-C1-P79	19	6%
SK10-C1-P80	0	0%
SK10-C1-P81	0	0%
SK10-C1-P82	0	0%
SK10-C1-P83	0	0%
SK10-C1-P84	0	0%
SK10-C1-P85	13	4%
SK10-C1-P86	0	0%
SK10-C1-P87	18	6%
SK10-C1-P88	0	0%
SK10-C1-P89	20	7%
SK10-C1-P90	0	0%
SK10-C1-P91	0	0%
SK10-C1-P92	0	0%
SK10-C1-P93	0	0%
SK10-C1-P94	6	2%
SK10-C1-P95	0	0%
SK10-C1-P96	5	2%
SK10-C1-P97	0	0%
SK10-C1-P98	11	4%
SK10-C1-P99	0	0%
SK10-C1-P100	4	1%
SK10-C1-P101	0	0%
SK10-C1-P102	0	0%
SK10-C1-P104	5	2%

Tableau 7 : Échantillons avec les fréquences et les pourcentages de grains de pollen indéterminables (Margot Bruneau)

IV.1.2. Conservation du pollen dans la carotte SK10-C1

De structures et de compositions différentes (teneur en sporopollénine), les grains de pollen se conservent de manière différentielle en réponse aux dégradations externes (Havinga 1967 ; Hall 1981). Cushing (1967) a déterminé six classes de détérioration pollinique : corrodé, dégradé, froissé et exine amincie, froissé mais exine normale, cassé, et bien préservé. Dans les échantillons, les grains de pollen d'Amaranthaceae, *Artemisia*, de Cichorioideae, *Olea*, et *Pinus*, même dégradés, restent tout de même identifiables. À l'inverse, les Poaceae sont moins bien conservés. Ainsi, en reprenant le classement de Cushing (1967), la majorité des grains de pollen observés étaient corrodés, froissés (pliés) et avaient une exine amincie.

Ces altérations polliniques ont rendu l'identification taxonomique difficile pour certains taxons. Ainsi, les Poaceae se présentaient sous un aspect transparent et plié rendant difficile

l'observation du pore. Les plis des grains de Poaceae amènent également à des difficultés dans la discrimination des taxons de Poaceae, type *Glyceria* et type *Cerealia* puisqu'ils ne facilitent pas les prises de mesures nécessaires à l'identification précise.

Ces détériorations polliniques peuvent être expliquées par l'action de facteurs externes (attaques microbiennes, oxydation, fortes températures) (Havinga 1967). Des études ont permis de montrer le lien entre la détérioration des grains de pollen et le sédiment d'enfouissement (Cushing 1967 ; Hall 1981). En effet, les grains détériorés semblent plus courants dans les argiles (Cushing 1967) or la séquence D de la carotte SK10-C1 d'où proviennent les échantillons se compose d'argile et de limons généralement oxydés (Boujelben *et al.* 2017). Des recherches ont mis en évidence la fragilité du pollen face aux variations d'humidité (Duhoux 1982 ; Holloway 1989 ; Campbell 1991). Les grains de pollen seraient moins bien conservés dans les régions arides sous pressions hydriques (alternances humide/aride). Les conditions bioclimatiques de la Tunisie centrale, caractérisée par une aridité, un déficit des précipitations et l'évaporation des plans d'eau en saison estivale, présentent une cyclicité de ce type avec des épisodes humides et des sécheresses répétées. Ces cyclicités peuvent être plus au moins fortes au cours du temps et peuvent expliquer la mauvaise conservation des grains de pollen de certains spectres polliniques.

IV.1.3. Dispersion et production polliniques : le cas de *Pinus* et de *Vitis*

La présence d'une espèce au sein du spectre pollinique dépend de sa production et de sa dispersion. Les pins sont des arbres anémophiles. La morphologie de leur grain de pollen, avec des ballonnets, leur permet une meilleure dispersion dans l'air. La Tunisie centrale, reçoit en hiver des vents du nord-ouest et du sud-ouest pouvant aller à une vitesse de 11- 5 mm/s (Hénia *et al.* 2008). Les grains de *Pinus* présents dans le bassin versant de la sebkha Kalbia sont donc apportés de la Dorsale et du Nord de la Tunisie. Ils témoignent de la végétation régionale. Leur forte production, leur facilité de dispersion et leur résistance, sont à prendre en compte dans l'interprétation des résultats.

À l'inverse les grains de *Vitis* n'ont été retrouvés que dans deux échantillons (P88 et P89) inférieurs à 1%. Ce taxon a un intérêt dans l'interprétation des impacts anthropiques sur le couvert végétal même si sa présence est limitée. L'importance qui lui est accordée repose aussi sur sa dispersion pollinique. Les grains de *Vitis* pollinisent et se dispersent peu (Planchais 1972). Ils sont par conséquent témoins de la végétation locale de la sebkha Kalbia.

IV.2. Changements climatiques en Tunisie centrale durant la période romaine

La région aride de la Tunisie centrale est soumise à des pressions hydriques. Ces conditions bioclimatiques se caractérisent par une alternance de périodes humides et arides, et par une cyclicité entre les précipitations et les sécheresses. En Afrique, ces alternances se traduisent par la Période Humide Africaine et par sa fin avec un retour progressif de l'aridité. Les paramètres globaux et régionaux semblent jouer un rôle dans les événements climatiques rapides et les cyclicités entre humidité/aridité. Les données palynologiques de la sebkha Kalbia permettent d'apprécier ces phénomènes. Les spectres polliniques permettent de distinguer deux phases d'alternance : la zone 1 qui se caractérise par une période humide et la zone 2 qui semble plus aride.

IV.2.1. Période humide romaine en Tunisie centrale

L'interprétation climatique des spectres polliniques se base sur la distinction de deux regroupements écologiques. Les oliviers sauvages se développent naturellement lorsque les précipitations sont d'environ 400 mm. *Olea* est également un marqueur anthropique qui dès lors, au moyen d'infrastructures agricoles, peut se développer sous des précipitations inférieures à 400 mm. *Olea* et *Quercus* (*Quercus* type *ilex*, *Quercus* type *pedunculata* et *Quercus* type *suber*) sont des taxons plus demandeur en humidité. L'observation des dynamiques qu'ils entretiennent avec les taxons plus xérophytes (*Pinus*, *Juniperus*, *Rhus*, *Pistacia* ainsi que les herbacées) permet de mettre en évidence des variations dans le régime des précipitations.

La sous-zone 1a (Fig. 13) est dominée par une forêt de pins d'Alep (*Pinus halepensis*) et une augmentation progressive du chêne vert (*Quercus* type *ilex*). Le chêne vert est présent dans les zones humides à semi-arides (Quézel et Médail 2003). *Olea* régresse face au *Pistacia*. Dans les hautes et basses steppes, *Pistacia* supporte des précipitations *ca.* 200 mm. (Lebreton *et al.* 2014). L'augmentation de *Pistacia* au détriment d'*Olea*, suggère une variation des précipitations de *ca.* 400 m à *ca.* 200 mm. A *contrario* la progression de *Quercus* type *ilex* au détriment de *Pinus* suppose des précipitations plus élevées. Le climat devient moins humide sur les hautes et basses steppes mais plus sur la Dorsale.

Vers le sommet de la zone 1a (Fig. 13), le matorral laisse place à une brousse thermophile composée d'olivier, de lentisque et de caroubier. Ce groupement écologique pré-forestier se développe dans les variantes chaudes et tempérées des bioclimats semi-arides et sub-humides. La brousse peut se composer d'*Olea europaea*, *Ceratonia siliqua*, *Pistacia lentiscus*, *Myrtus communis* auquel peut se joindre *Rhus tripartita* (Quézel et Médail 2003). La flore thermo-méditerranéenne colonise la Dorsale. *Quercus* type *ilex* et *Pinus* se développent sur les hauteurs de la Dorsale. Le retour d'*Olea* au détriment de *Pistacia*, ainsi que la hausse des valeurs de *Quercus* type *ilex* au détriment de *Pinus* semblent indiquer un changement des précipitations et un environnement plus humide (précipitations ca. 400 mm). Le rapport *Olea/Pistacia* s'observe également dans la zone pollinique 1b avec l'important déclin d'*Olea*. Sur les basses steppes, les steppes à armoises (*Artemisia arborescens*, *Artemisia campestris*, *Artemisia herba alba*) et à graminées dominant (Pottier-Alapetite 1981).

Dans la zone pollinique 1c (Fig. 13), le chêne vert, témoin d'humidité, est présent sur la Dorsale et remplace le pin (*Pinus halepensis*). *Pistacia* est présent vers 1754 cal. BP (196 CE). A *contrario* des spectres inférieurs, *Olea*, plus demandeur en humidité, réapparaît et se stabilise au même moment. Cette phase est contemporaine de la présence du taxon anthropique *Vitis*. La Dorsale et les steppes subissent de légères régressions de leurs précipitations, notamment vers 1754 cal. BP (196 CE), qui affectent l'expansion du chêne vert mais qui ne modifient pas le développement de l'olivier. Les armoises (*Artemisia campestris*, *Artemisia herba alba*) et les graminées (*Stipa tenacissima*) sont les plantes majeures qui se développent avec l'oléiculture (Lebreton *et al.* 2014). L'ensemble de cette zone pollinique 1 pourrait témoigner d'un climat plus humide que l'actuel (Fig. 13).

Une période plus humide a également été enregistrée par le pollen à la sebkha Boujmel, dans le sud de la Tunisie, entre 2 cal. BP et 1,5 cal. BP (Jaouadi *et al.* 2016). La sebkha Mhabeul, dans la région sud-est de la Tunisie, enregistre une stabilité hydraulique entre 1,7 cal. BP et 1,4 cal. BP (Marquer *et al.* 2008). Les enregistrements fluviaux antiques du plateau de Medjerda (région septentrionale de la Tunisie) ont mis en évidence la présence d'une phase de stabilisation de la végétation et des dynamiques fluviales vers 1,7 cal. BP (Faust *et al.* 2004). Stevenson *et al.* (1993), font mention au lac Ichkeul de conditions climatiques plus humides vers 1,9 cal. BP. Cette période, appelée Période Humide Romaine (*Roman Humid Period - RHP*) a été enregistrée sur tout le pourtour méditerranéen même si les résultats ne permettent pas d'identifier une image uniforme de ce phénomène (Nieto-Moreno *et al.* 2011 ; Lirer *et al.* 2014 ; Goudeau *et al.* 2015).

Lirer *et al.* (2014) et Margaritelli *et al.* (2016) ont identifié dans la mer Tyrrhénienne, trois évènements climatiques plus humides au sein de la période romaine (Roman I, Roman II, et Roman III). L'Oscillation Nord-Atlantique (NAO), l'Oscillation El Nino australe (ENSO), et l'Oscillation Atlantique Multi-décennale (AMO) influenceraient les variations climatiques en Méditerranée (Margaritelli *et al.* 2016).

L'Holocène se caractérise par des variabilités rapides du climat causées par des évènements rapides d'aridité, de refroidissement des pôles et de changements dans les circulations atmosphériques. L'Oscillation Nord-Atlantique (North Atlantic Oscillation - NAO) négative apporte des précipitations dans le bassin méditerranéen, à l'inverse l'oscillation positive se caractérise par un climat plus sec (Fig. 14) (Nieto-Moreno *et al.* 2011). Ces dernières fluctuent au cours du temps (Margaritelli *et al.* 2016). Les oscillations climatiques de la période humide romaine peuvent traduire ces phénomènes.

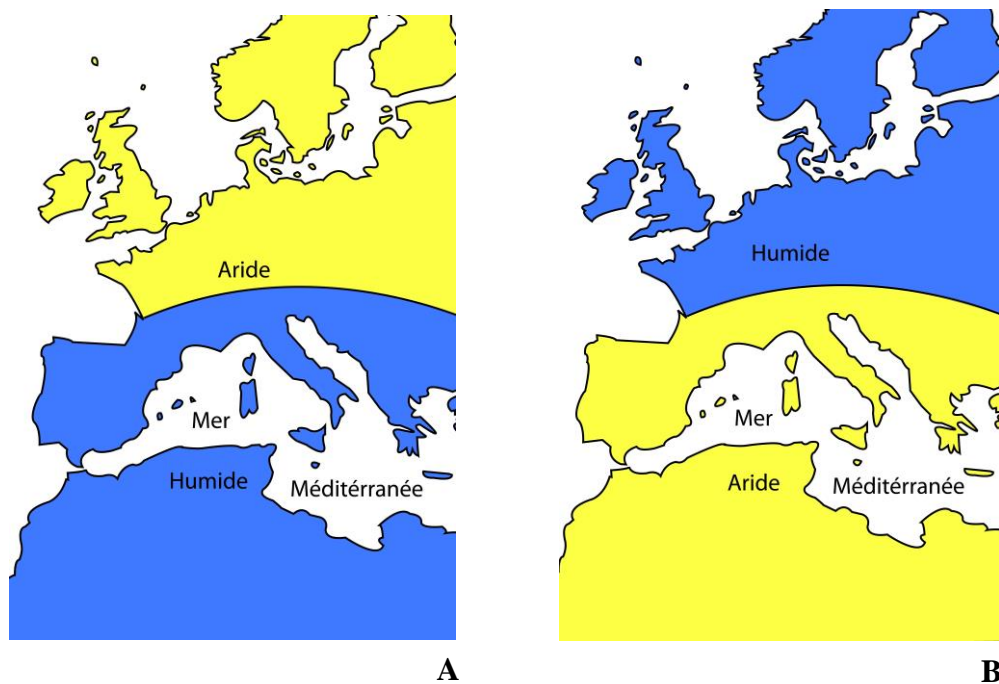


Figure 14 : Oscillation Nord-Atlantique **A** : négative **B** : et positive (Margot Bruneau)

Des éléments locaux (reliefs, contraste terre-mer, vents) et régionaux peuvent également influencer sur le climat de la Méditerranée (Brayshaw *et al.* 2011). Les modélisations de Brayshaw *et al.* (2011) permettent de mettre en évidence, dans le bassin méditerranéen, des contrastes dans les précipitations entre l'ouest et le nord-est de la Méditerranée (près de la Turquie). Il semble qu'un contraste entre les pressions atmosphériques à l'ouest et à l'est du bassin méditerranéen joue sur les précipitations hivernales de ces deux régions.

IV.2.2. Émergence de l'aridité

Dans la partie supérieure du diagramme (zone pollinique 2), la régression du chêne vert (*Quercus* type *ilex*) vers 1564 cal. BP (386 CE) permet à des espèces concurrentes de coloniser la Dorsale (Fig. 13). Les forêts sempervirentes de chênes pédonculés (*Quercus* type *pedunculata*), de genévriers rouges (*Juniperus phoenicea*), genévriers oxycèdres (*Juniperus oxycedrus*) et de pins d'Alep (*Pinus halepensis*) remplacent les forêts sclérophylles de chênes verts (*Quercus* type *ilex*). Les chênes pédonculés ont besoin de précipitation annuelle de *ca.* 700 mm à *ca.* 1000 mm (Quézel et Médail 2003). Le climat semble donc plus humide sur la Dorsale entre 1564 cal. BP et 1456 cal. BP (386 – 494 CE). Ultérieurement, les chênes verts vont reconquérir la Dorsale et concurrencer le développement des pins, des chênes pédonculés et des genévriers, certainement à la faveur d'une nouvelle baisse des précipitations. *Olea* et *Pistacia* régressent et se stabilisent sur les basses et hautes steppes. Les basses steppes à graminées avec *Plantago* augmentent au détriment des steppes à armoises.

Ces variations peuvent apparaître contradictoire, mais il est envisageable que l'humidité soit persistante sur les reliefs de la Dorsale alors que les steppes subissent une aridité marquée. Dans son ensemble, la zone 2 témoignerait du passage vers un climat plus aride à fortes saisonnalités (aridité et fortes précipitations). Les fluctuations climatiques sont caractérisées par un changement des températures, des précipitations et donc de l'évapotranspiration. En Afrique, l'augmentation des crues et des précipitations coïncide avec la présence d'un climat aride. La fin de l'Antiquité est marquée par l'alternance de phases aride/ humide et par une crise érosive. Ce phénomène de régression des chênes verts en faveur des chênes pédonculés, des pins et des genévriers, plus demandeur et tolérant aux précipitations, pourrait en être l'attestation.

À la sebkha Mhabeul, des évènements de crues ont été observés après 1,4 cal. BP (Marquer *et al.* 2008). Dans la séquence de la sebkha Boujmel un retour à des conditions plus arides est observable entre 1,4 cal. BP et 1,1 cal. BP (Jaouadi *et al.* 2016).

La fin de la séquence enregistre une baisse des chênes verts et une hausse des pins (Fig. 13). En ce qui concerne les herbacées, les steppes à graminées et *Plantago* laissent la place aux steppes à armoises. La sebkha Boujmel est aussi caractérisée par une hausse d'*Artemisia* vers 1,1 cal. BP (Jaouadi *et al.* 2016). Ces régressions et remplacements écologiques semblent indiquer un changement du régime des précipitations.

IV.3. Relation Homme-végétation

IV.3.1. Impact anthropique sur le couvert végétal

Les spectres polliniques de la sebkha Kalbia permettent de discuter de l'impact anthropique sur le couvert végétal de la Tunisie centrale pendant l'Antiquité et le début du Moyen-Âge. Vers 1781 cal. BP (169 CE) et 1564 cal. BP (386 CE), les taxons anthropiques *Olea* et *Vitis* sont présents. *Olea* est attesté avant 1781 cal. BP (169 CE) mais l'augmentation de sa présence pourrait indiquer sa mise en culture et son exploitation à des fins agricoles.

L'extension d'*Olea* entre 1781 cal. BP et 1699 cal. BP (169 - 251 CE) est partiellement corrélable avec l'extension de l'oléiculture durant la *Pax Romana* datée du I^{er} au II^{ème} siècle (29 BCE - 180 CE). La présence d'*Olea* et *Vitis* dans les spectres polliniques réaffirme l'importance, déjà soulignée par les restes archéologiques et les sources textuelles, de l'huile et du vin dans l'économie romaine. Des traces de centuriations ont été observées aux alentours de la sebkha Kalbia et attestent de l'occupation agricole romaine (Fig. 6).

Cette expansion agricole suit des législations territoriales qui permirent l'extension des terrains agricoles en Byzacène. Une inscription retrouvée à Henchir-Mettich (près de *Theveste*) atteste de l'élaboration sous Trajan (qui régna de 98 à 117 BCE), et de sa mise en fonction sous Vespasien (dont la dynastie des Flaviens régna entre 69 et 96 CE), de la loi *lex Manciana* (Hilali 2013). Elle permit à ceux qui habitaient en dehors de la région impériale du *Fundus Villae Magnae Variane* d'exploiter des terrains dits incultivables, *subseciva* (montagnes, steppes et semi-désert) et de garder deux tiers des récoltes (Hilali 2013). La *lex Hadriana*, datée du II^{ème} siècle et connue grâce à une inscription retrouvée à Ain-el-Djemala (près de *Thugga*), permit aux fermiers de développer la culture du vin, de l'olive et d'arbres fruitiers. L'exploitation agricole s'étend sur les terrains inoccupés des *conductores* (des concessionnaires). Cette loi permit au paysan de ne pas payer de dîme durant les 5 à 10 premières années d'exploitation (Hilali 2013).

Par ailleurs, les provinces romaines d'Afrique devaient fournir une dîme en blé, en huile et/ou en vin à Rome. Le développement agraire s'explique par la forte demande du pouvoir central romain et par l'expansion démographique au cours des I^{er} - II^{ème} siècle. Des textes attestent de l'investissement et de la mise en culture de l'olivier et de la vigne en Tunisie centrale. Des poèmes anonymes datés du milieu du II^{ème} siècle font mention de *T. Flavius*

Secundus, personnalité publique et prêtre à la tête d'une famille aristocrate à *Cillium* (*CIL*, VIII, 212,213). Ils font l'éloge de sa personne et le remercient pour la construction d'un mausolée dédié à sa *gens* (famille) près de *Cillium* (Fig. 6) (Stone 1998). Les poèmes mentionnent également que *T. Flavius Secundus* développa la viticulture dans les hautes steppes tunisiennes de *Cillium* (Stone 1998 ; Hilali 2013).

L'extension des parcelles et de l'économie du vin et de l'huile amena à la construction de bâtiments nécessaires à leur élaboration et leur stockage. Une importante concentration de sites archéologiques est ainsi attestée dans le vaste bassin versant de la sebkha Kalbia (Fig. 6) (Hitchner *et al.* 1990). Au Jbel Chambi et au Jbel Semmama, près de *Cillium*, des plateaux de broyage, des pressoirs, et des huileries accompagnées de bâtiments de stockage (de la matière première ou de l'huile) attestent d'une activité intense d'oléiculture durant l'Antiquité (site de Henchir Torbkhana et Henchir el Begar). Le *Saltus Beguensis*, fondé en 138 CE sur le Jbel Semmama englobe un marché et l'une des plus grandes huileries de la Tunisie.

En ce qui concerne les ateliers viticoles, aucune installation n'a été attestée. Dans les récits des historiens antiques, le blé et l'huile sont décrits comme ayant une place prépondérante dans l'économie romaine. Le vin est peu mentionné or il semble qu'il fût cultivé bien avant l'arrivée des romains en Tunisie. En effet, Strabon mentionne la présence de la vigne sous les Carthaginois (Strabon, XVII, 20). Des témoignages numismatiques, datés de la période préromaine et représentant des grappes de raisin, nous permet d'apprécier la place de cette culture dans les sociétés (Lequément 1980). La culture de la vigne semble s'intensifier au II^{ème} siècle. La *lex Manciana* et la *lex Hadriana* mentionnent la mise en place de parcelles viticoles, même dans les régions peu propices à la viticulture (Lequément 1980). La vigne est encore mentionnée dans des textes datés du III^{ème} siècle, IV^{ème} siècle et du V^{ème} siècle. *Vitis* est présent en faible quantité dans nos spectres polliniques. La vigne est donc présente mais les enregistrements ne permettent pas de jauger son importance dans l'économie romaine. L'absence de preuves archéologiques d'ateliers viticoles peut s'expliquer par le fait que ces ateliers n'ont pas encore été mis au jour ou alors qu'ils n'ont pas été reconnus comme tels. L'hypothèse de l'utilisation d'ateliers communs à la fabrication d'huile et de vins est également envisageable.

Les amphores, utiles au transport des denrées, certifient également la présence de la viticulture et de l'oléiculture entre 1781 cal. BP et 1564 cal. BP (169 – 386 CE). Sur le site archéologique de *Cillium*, des restes d'amphores approximativement datés entre le III^{ème} – VI^{ème}

siècle ont été retrouvés (Fig. 6) (Hitchner *et al.* 1990). Ce sont des amphores africaines classiques rouges à engobe de formes variables. Les variabilités morphologiques retrouvées sur les sites archéologiques ont conduit à des études typologiques et à l'identification d'ateliers d'amphores sur le littoral tunisien (Bonifay *et al.* 2010 ; Capelli et Bonifay 2014). Ainsi des ateliers ont été identifiés à *Salakta* (non loin de *Thysdrus*), *Leptis minor*, *Hadrumentum* et à *Neapolis* (Fig. 6). Ils sont en activité entre le II^{ème} – VII^{ème} siècle (Bonifay *et al.* 2010 ; Capelli et Bonifay 2014). La majorité des amphores retrouvées au port romain d'Ostie, entre le II^{ème} – III^{ème} siècle, proviennent d'ateliers de Tunisie centrale (Sidi Marzouk et Sidi Saad à l'ouest de Kairouan) (Bonifay 2003).

Entre 1781 cal. BP (169 CE) et 1564 cal. BP (386 CE) le couvert végétal se compose également d'une forêt de chêne (*Quercus* type *ilex*, *Quercus* type *pedunculata*) et de pins (*Pinus*) sur les versants et la Dorsale ainsi que d'une steppe à armoises (*Artemisia*) et à graminées (Poaceae). La végétation arborée semble stable bien que l'action humaine soit démontrée. Cette stabilité peut s'expliquer par l'utilisation de pratiques agraires, telles que les terrasses, les systèmes d'irrigation, et les barrages, en respect avec les conditions naturelles du paysage steppique (Faust *et al.* 2004). Des ouvrages hydrauliques, pour la captation, l'adduction, et le stockage des eaux ont été retrouvés à 12 km au sud de Kairouan (Fig. 6) (Jaouadi 2013). À *Cillium* des terrasses ainsi que des bassins de drainages ont été observés (Fig. 6) (Hitchner *et al.* 1990). Des aqueducs sont également présents à *Ziqua* et à *Sufetula*. Les systèmes hydrauliques sont présents sur toute la région centrale tunisienne.

Mensching et Ibrahim (1975) ainsi que Ballais (1995) émettent l'hypothèse que l'Homme et l'extension des terres cultivées auraient provoqué le retrait des terres arables et de la végétation au Sahel et dans les hautes steppes. Cependant, la mise en place de culture sédentaire et d'une régulation des apports hydriques dans le bassin versant est corrélable avec la stabilisation des sols et du couvert végétal arboré. L'utilisation de systèmes hydrauliques devait permettre de limiter et de contrôler l'apport en eau des exploitations agricoles. Le contrôle des apports hydriques a dû créer un équilibre dans la végétation et limiter l'érosion des sols (Ballais 1995).

IV.3.2. Changement des systèmes d'exploitation ou abandon des terres

Dans la partie supérieure du diagramme pollinique (zone 2) *Vitis* n'est plus présent et *Olea* régresse et se stabilise. La fin de l'empire romain (date officielle de 476 CE) est marquée par de nombreux changements qui ont pu considérablement déstabiliser l'économie agricole

(Slim *et al.* 2010). Entre 1510 cal. BP et 1218 cal. BP (440 - 732 CE), les oliviers restent stables alors que les chênes (*Quercus type ilex*, *Quercus type pedunculata*) et les pins (*Pinus sp.*) recolonisent le milieu. Les invasions vandales, l'occupation byzantine ainsi que l'occupation musulmane ne semblent pas modifier le couvert végétal. L'économie des populations post-romaines était tournée vers l'agriculture de l'olivier et du blé. Les tablettes d'Albertini, datées de la fin du V^{ème} siècle, témoignent des ventes d'oliveraies. Des huileries vandales ont également été mises au jour (comme à *Sufetula*). Ainsi une baisse dans la représentation d'*Olea* au sein de la partie supérieure du diagramme pollinique n'exprime pas forcément la fin de son exploitation mais peut être une moindre production en lien avec une demande moins oppressive, due aux changements des législations agricoles et à l'avancée du semi-nomadisme et du nomadisme (Rouvillois-Brigol 1985).

Slim *et al.* (2010) décrivent les occupations vandales comme des razzias qui auraient causé de nombreuses destructions en Tunisie centrale. L'insécurité et la mise en place d'un climat plus sec auraient conduit à un exode des populations sous l'empire byzantin (533 – 647 CE), et donc à l'abandon des terres du bassin versant de la sebkha Kalbia (Slim *et al.* 2010). L'aridification du climat est contemporaine de l'âge sombre, connu pour ses crises démographiques et économiques (*ca.* 550 – *ca.* 860 CE).

Ainsi, l'abandon des ouvrages hydrauliques agricoles par le changement d'occupation du territoire ou par une chute démographique aurait pu causer une érosion des sols et un déversement incontrôlé ou un manque des eaux dans le bassin versant de la sebkha Kalbia. Les dégradations de la végétation semblent s'observer lors de l'abandon des systèmes hydrauliques.

CHAPITRE V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les résultats obtenus permettent d'apprécier l'impact climatique et anthropique sur le couvert végétal. Les changements climatiques semblent avoir été les facteurs principaux des changements environnementaux entre 2024 cal. BP – 1781 cal. BP (74 BCE – 169 CE). L'impact anthropique sur la végétation est décelable entre 1781 cal. BP – 1575 cal. BP (169 – 375 CE) mais limité et probablement associé à l'implantation et la stabilisation des parcelles oléicoles et viticoles romains en Tunisie centrale. À cette époque, l'influence climatique sur la végétation se traduit par l'augmentation et la régression des chênes, des pins et des pistachiers. La combinaison des processus climatiques, avec de faibles variations des précipitations, et

anthropiques, par l'irrigation des parcelles, a pu limiter l'érosion des sols (Ballais 1995). Ultérieurement, cet équilibre aurait été rompu par l'abandon des terrains agricoles romains et par des saisons plus contrastées. Ballais (1995) suggère que l'expansion des cultures aurait fragilisé l'équilibre des sols dès lors plus exposés à l'augmentation des précipitations ou à des événements de crues favorisant leur érosion. À ce titre, une crise environnementale et érosive pourrait être observée à la fin de l'Antiquité (vers 440 CE).

L'abandon des terres, à la fin de l'Antiquité et au début du Moyen-Âge peut ainsi s'expliquer par la mise en place d'un climat plus contrasté (aride) et a *fortiori* d'un couvert végétal plus instable. Ce changement climatique pourrait avoir joué un rôle dans les instabilités et les changements des sociétés au début du Moyen-Âge. La mise en place d'un environnement plus aride (combiné à des événements historiques d'invasions successives, et des instabilités politiques) à la fin de l'Antiquité aurait mené à une crise agricole, qui elle-même aurait engendré des modifications d'exploitation territoriale. Ainsi, sous pressions climatiques, le sédentarisme aurait pu laisser place au nomadisme ou semi-nomadisme. Cependant, les changements climatiques n'induisent pas forcément un changement des sociétés. À l'inverse, les changements d'exploitation territoriale ne sont pas nécessairement impactant sur le couvert végétal.

Pour apporter plus d'information sur les rôles qu'ont pu jouer l'Homme et le climat sur le couvert végétal des régions semi-arides et arides de la Tunisie, il faudrait continuer à développer des analyses pluridisciplinaires dans les bassins et les oueds Tunisiens. Les datations en sebkha sont aussi à améliorer pour pouvoir enregistrer les événements climatiques et anthropiques au sein d'une chronologie fiable.

Il serait également pertinent d'étudier les microfossiles non-polliniques. Lors de l'observation des échantillons, de nombreuses spores ont été observées et parfois déterminées (tels que *Glomus*, *Pseudoschyzea*, *Sporomiella*). Une analyse plus approfondie de ces microfossiles non-polliniques apporterait des informations supplémentaires sur l'impact anthropique, climatique et sur l'érosion des sols à la fin de l'Antiquité.

Les données archéologiques recueillies sont le fruit de prospections. Des campagnes de fouille sur les vestiges romains et médiévaux seraient donc nécessaires pour actualiser et enrichir nos connaissances sur les modes de vie et les pratiques agraires de ces civilisations. Ces fouilles permettraient également de dater avec plus de précision les bâtiments agricoles et les amphores. Il serait également intéressant de faire la part entre les ateliers oléicoles et

viticoles et de réévaluer la place de la viticulture dans l'économie romaine en Afrique du Nord. Cette réévaluation peut aussi passer par une étude approfondie des amphores avec des analyses physico-chimiques qui apporteraient des données supplémentaires sur l'utilisation des amphores (transport de l'huile ou du vin).

BIBLIOGRAPHIE

- Amari A., Bedir M. 1989. Les bassins quaternaires du Sahel central de la Tunisie. Genèse et évolution des sebkhas en contexte décrochant compressif et distensif. *Geodynamique* 4, 49-65.
- Ballais J.-L. 1995. Conquêtes et dégradation du milieu au Maghreb oriental pendant l'Antiquité et le Moyen Age. In: Van der Leeuw S. (éds). *L'Homme et la dégradation de l'environnement*. Éditions APDCA, Sophia Antipolis, 331 – 344.
- Ben Haj Farhat K., Rejeb H., Moussa M., Gonzalez-Villaescusa R. 2011. Analyse de la dynamique paysagère et géomédiation d'une zone fragilisée sise au Sahel Tunisien « Sebkhât el Kalbia ». *Revue des régions arides* 26, 117-146.
- Beug H.-J. 2004. *Leitfaden der Pollenbestimmung: für Mitteleuropa und angrenzende Gebiete*. Pfeil Dr. Friedrich, München, 542 p.
- Birks H.H., Peglar S.M., Boomer I., Flower R.J., Ramdani M., Appleby P.G., Bjune A.E., Patrick S.T., Kraiem M.M., Fathi A.A., Abdelzaher H.M.A. 2001. Palaeolimnological responses of nine North African lakes in the CASSARINA Project to recent environmental changes and human impact detected by plan macrofossil pollen, and faunal analyses. *Aquatic Ecology* 35, 405 – 430.
- Björck S., Wohlfarth B. 2002. 14C Chronostratigraphic techniques in Pleistocene limnology. In: Last M.W., Smol J.P. (éds). *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments Volume 1: Basin Analysis, Coring, and Chronological Techniques*. Kluwer Academic Publisher, New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow, 205 – 245.
- Bonifay M. 2003. La céramique africaine, un indice du développement économique ?. *An Tard* 11, 113 – 128.
- Bonifay M., Capelli C., Drine A., Ghalia T. 2010. Les productions d'amphores romaines sur le littoral Tunisien : archéologie et archéométrie. *Rei cretaria faviorvm acta* 41, 1 – 9.
- Boujelben A., Lebreton V., Karray M.R. 2017. Dynamique lacustre Holocène dans la sebkha al Kalbiyya (Tunisie centre orientale). *Revue de l'Association française pour l'étude du Quaternaire* 28, 239 - 245.

- Brayshaw D.J., Rambeau C.M.C., Smith S.J. 2011. Changes in Mediterranean climate during the Holocene: Insight from global and regional climate modelling. *The Holocene* 21, 15 – 31.
- Campbell I.D. 1991. Experimental mechanical destruction of pollen grains. *Palynology* 15, 29 – 33.
- Capelli C., Bonifay M. 2014. Archéométrie et archéologie des céramiques africaines : une approche pluridisciplinaire, 2. Nouvelles données sur la céramique culinaire et les amphores. In: Poulou-Papadimitriou N., Nodarou E., Kilikoglou V. (éds). *LRCW4 Late Roman Coarse Wares, Cooking Wares and Amphorae in the Mediterranean, Archaeology and archaeometry The Mediterranean: a market without frontiers*. BAR International Series 2616, Oxford, 235 – 253.
- Carrión J.S., Parra I., Navarro C., Munuera M. 2000. Past distribution and ecology of the cork oak (*Quercus suber*) in the Iberian Peninsula: a pollen-analytical approach. *Biodiversity research* 6, 29 – 44.
- Chaieb M., Boukhris M. 1998. *Flore succincte et illustrée des zones arides et sahariennes de Tunisie*. L'Or du Temps, Tunis, 290 p.
- Cuénod A., Pottier-Alapetite G., Labbe E. 1954. *Flore analytique et synoptique de la Tunisie : cryptogames vasculaires, gymnospermes et monocotylédones*. Imprimerie S.E.F.A.N, Tunis, 287 p.
- Cushing E.J. 1967. Evidence for differential pollen preservation in late Quaternary sediments in Minnesota. *Review of Palaeobotany and Palynology* 4, 87 – 101.
- Dagdoug H. 2017. *Évolution morphologique des paysages à travers les enregistrements du cadastre antique dans l'arrière-pays du golfe de Hammamet*. Thèse en géographie option : géomorphologie. Faculté des sciences humaines sociales de Tunis.
- Despois J. 1930. Kairouan : Origine et évolution d'une ancienne capitale musulmane. *Annales de Géographie* 218, 159 – 177.
- Duhoux E. 1982. Mechanism of exine rupture in hydrated taxoid type of pollen. *Grana* 21, 1 – 7.

- Erdtman G., Arremo Y., Praglowski J., Nilsson S. 1992. *Erdtman's Handbook of palynology*. Munksgaard, Copenhagen, 580 p.
- Faegri K., Iversen J. 1989. *Textbook of pollen analysis 4th*. John Wiley & Sons, Chichester, 328 p.
- Faust D., Zielhofer C., Escudera R.B., Diaz del Olmo F. 2004. High-resolution fluvial record of late Holocene geomorphic change in northern Tunisia: climatic or human impact ?. *Quaternary Science Reviews* 23, 1757 – 1775.
- Goudeau M.-L.S., Reichert G. -J., Wit J. -C., De Nooijer L.J., Grauel A. -L., Bernasconi S.M., De Lange G.J. 2015. Seasonality variations in the Central Mediterranean during climate change events in the Late Holocene. *Palaeography, Palaeoclimatology, Palaeocology* 418, 304 – 318.
- Hall S.A. 1981. Deteriorated pollen grains and the interpretation of Quaternary pollen diagrams. *Review of Palaeobotany and Palynology* 32, 193 – 206.
- Harley M.M., Morton C.M., Blackmore S. 2000. *Pollen and Spores: Morphology and Biology*. The Royal Botanic Gardens, Kew, 530 p.
- Hatté C., Bréhet J.G., Jacob J., Argant J., Macaire J.J. 2013. Refining the Sarlieve palaeolake (France) Neolithic chronology by combining several radiocarbon approaches. *Radiocarbon* 55, 979 – 992.
- Havinga A.J. 1967. Palynology and pollen preservation. *Review of Palaeobotany and Palynology* 2, 81 – 98.
- Hénia L., Naceur Omrane M., Hillawi Z. 2008. *Atlas de l'eau en Tunisie*. Faculté des sciences humaines et sociale de Tunis, Tunis, 186 p.
- Hilali A. 2013. Rome and Agriculture in Africa Proconsularis: Land and Hydraulic Development. *Revue belge de philologie et d'histoire* 91, 113 – 125.
- Hitchner B.R., Ellis S., Graham A., Mattingly D., Neuru L. 1990. The Kasserine Archaeological Survey. 1987 [Institut national d'archéologie et d'art de Tunisie University of Virginia, USA]. *Antiquités africaines* 26, 231 – 259.
- Holloway R.G. 1989. Experimental mechanical pollen degradation and its application to Quaternary age deposits. *The Texas Journal of Science* 41, 131 – 145.

- Jaouadi S. 2013. L'occupation du sol au sud de la ville de Kairouan durant l'Antiquité : Données de la feuille Pavillier (071) au 1/50000. *Revue Tunisienne d'Archéologie* 1, 93 – 122.
- Jaouadi S., Lebreton V. 2018. Pollen-Base Landscape Reconstruction and Land-Use History Since 6000 BC along the Margins of the Southern Tunisian Desert. In: Mercuri A., Andrea A., Fornaciari R., Hohn A. (éds.). *Plants and People in the African*. Edition Springer Nature, Suisse, 548 – 572.
- Jaouadi S., Lebreton V., Bout-Roumazeilles V., Siani G., Lakhdar R., Boussoffara R., Dezileau L., Kallel N., Mannai-Teyech B., Combourieu-Nebout N. 2016. Environmental changes, climate and anthropogenic impact in southern-eastern Tunisia during the last 8 kyr, *Clim.past* 12, 1339-1359.
- Jaouadi S., Lebreton V., Mulazzani S., Boussoffara R., Mannai-Teyech B. 2010 Analyses polliniques en contexte anthropisé : le cas du site holocène SHM-1 (Hergla, Tunisie centrale). *Annali dell'Università di Ferrara Mus.Sci. Nat* 6, 25 – 32.
- Karray R. 1995. Sebket El Kelbia (Tunisie orientale) : Dynamique récente et changements actuels 1892-1992. In : Boujarra A., Ktita H., Mzoughi N. (éds.). *La Tunisie orientale : Actes des Journées Géographiques de Sousse 16, 17, 18 avril 1993*. La faculté des Lettres de Sousse, Sousse, 232 p.
- Kubitzki K., Rohwer J., Bittrich V. 1993. *The Families and Genera of Vascular Plants, Volume II Flowering Plants, Dicotyledons Magnoliid, Hamamelid and Caryophyllid Families*. Springer – Verlag, Berlin, Heidelberg, 663 p.
- Lakhdar R., Soussi M., Ben Ismail M.H., M'Rabet A. 2006. Mediterranean Holocene restricted coastal lagoon under arid climate: case of the sedimentary record of Sabkha Boujmel (SE Tunisia). *Paleogeography, Paleoclimatology, Palaeoecology* 241, 177 – 191.
- Lebreton V., Jaouadi S., Mulazzani S., Boujelben A. 2014. Early oleiculture or native wild *Olea* in eastern Maghreb: New pollen data from the sebkha lagoon Halk el Menjel (Hergla, Central Tunisia). *Environmental Archaeology* 20, 265 - 273.
- Lequément R. 1980. Le vin africain à l'époque impériale. *Antiquités africaines* 16, 185 – 193.

- Lirer F., Sprovieri M., Vallefuoco M., Ferraro L., Pelosi N., Giordano L., Capotondi L. 2014. Planktonic foraminifera as bio-indicators for monitoring the climatic changes that have occurred over the past 2000 years in the southeastern Tyrrhenian Sea. *Integr. Zool* 9, 542 – 554.
- M'Timet A., Gragueb A., Harbi-riahi M., Camps G., Zoughlami J. 1992. *Atlas Préhistorique de Tunisie, 9. Sousse*. Collection de l'Ecole Française de Rome 81, Rome, 56 p.
- Margaritelli G., Vallefuoco M., Di Rita F., Capotondi L., Bellucci L.G., Insinga D.D., Petrosino P., Bonomo S., Cacho I., Cascella A., Ferraro L., Florindo F., Lubritto C., Lurcock P.C., Magri D., Pelosi N., Rettori R., Lirer F. 2016. Marine response to climate changes during the last five millennia in the central Mediterranean Sea. *Global and Planetary Change* 142, 53 – 72.
- Marquer L., Pomel S., Abichou A., Schulz E., Kaniewski D., Van Campo E. 2008. Late Holocene high resolution palaeoclimatic reconstruction inferred from Sebkhah Mhabeul, southeast Tunisia. *Quaternary Res* 70, 240 – 250.
- Mensching H., Ibrahim F.N. 1975. Problems of desertification in the northern Saharan boundary zone: the steppe region of the Maghrib and the Sahelian zone. *Cambridge Meeting on Desertification*, International Geographical Union, Working Group on Desertification.
- Ministère des Affaires Locales et de l'Environnement., Fonds pour l'environnement mondial., Au service des peuples et des nations. 2018. *Sixième rapport national sur la Biodiversité*. Tunis, 119 p.
- Montalti M. 2018. *Analyse paléolimnologique et sédimentologique d'échantillons provenant d'un carottage dans la Sebkhah Al Kalbiyya (Tunisie centrale)*. Mémoire de Master 1 Archéologie, Sciences pour l'Archéologie. Université Lyon 2.
- Moore P.D., Webb J.A. 1978. *An Illustrated guide to Pollen Analysis*. Hodder and Stoughton, Londres, 181 p.
- Mulazzani S., Boussoffara R., Aouadi N., Azzara V., Belhouchet L., Boujelben A., Crema E., R., Curci A., Del Grande C., Maini E., Mannino M.A., Mazzanti C., Scaruffi S. 2008. Entre Sahara et Méditerranée. Le peuplement de sebkhet Halk el Menjel (Tunisie orientale) pendant l'Holocène (campagnes 2002-2005). *Africa* 21, 189-212.
- Nieto-Moreno V., Martinez-Ruiz F., Giralt S., Jiménez-Espejo F., Gallego-Torres D., Rodrigo-Gamiz M., Garcia-Orellana J., Ortega-Huertas M., De Lange G.J. 2011. Tracking climate

variability in the western Mediterranean during the Late Holocene: a multiproxy approach. *Climate of the Past* 7, 1395 – 1414.

Pentecost A., Andrews J.E., Dennis P.F., Marca-Bell A., Dennis S. 2006. Charophyte growth in small temperate water bodies: extreme isotopic disequilibrium and implications for the paleoecology of shallow marl lakes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 240, 389 – 404.

Planchais N. 1972. Apport de l'analyse pollinique à la connaissance de l'extension de la vigne au Quaternaire. *Naturalia Monspeliensa* 23, 211 – 223.

Pottier-Alapetite G. 1979. *Flore de la Tunisie : Angiosperme-Dicotyledone-Apetales-Dialypetales*. Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique et le Ministère de l'Agriculture, Tunis, 1190 p.

Pottier-Alapetite G. 1981. *Flore de la Tunisie : Angiospermes- Dicotyledones-Gamopetales*. Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique et le Ministère de l'Agriculture, Tunis, 651 p.

Punt W., Hoen P.P. 1995. The Northwest European Pollen Flora, 56 Caryophyllaceae. *Review of Palaeobotany and Palynology* 88, 83 – 272.

Punt W., Hoen P.P., Blackmore S., Nilsson S., Le Thomas A. 2007. Glossary of Pollen and spore terminology. *Review of Palaeobotany and Palynology* 143, 1-81.

Quézel P., Médail F. 2003. *Écologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen*. Éditions scientifiques et médicales Elsevier, Paris, 571 p.

Reille M. 1990. *Leçons de palynologie et d'analyse pollinique*. CNRS, Paris, 206 p.

Reille M. 1992. *Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord*. Laboratoire de Botanique historique et palynologie, CNRS, Marseille, 520 p.

Reille M. 1995. *Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord : supplément 1*. Laboratoire de Botanique historique et palynologie, CNRS, Marseille, 327 p.

Reille M. 1998. *Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord : supplément 2*. Laboratoire de Botanique historique et palynologie, CNRS, Marseille, 520 p.

- Rouvilleis-Brigol M. 1985. La steppisation en Tunisie depuis l'époque punique : Déterminisme humain ou climatique ?. *Bulletin archéologique du C.T.H.S* 19B, 215 – 224.
- Schulz E., Abichou E., Hachicha T., Pomel S., Salzmann., Zouari K. 2002. Sebkhas as ecological archives and the vegetation and landscape history of southern Tunisia during the last two millennia. *Journal of African Earth Sciences* 34, 223 – 229.
- Siani G., Paterne M., Arnold M., Bard E., Métivier B., Tisnerat N., Bassinot F. 2000. Radiocarbon reservoir ages in the Mediterranean Sea and Black Sea. *Radiocarbon* 42, 271 – 280.
- Slim H., Mahjoubi A., Belkhouja K., Ennabli A. 2010. *Histoire générale de la Tunisie 1 : L'antiquité*. Maisonneuve & Larose, Paris, 459 p.
- Soulié-Marsche I. 2008. Charophytes, indicators for low salinity phases in North African sebkhet. *Journal of African Earth Sciences* 51, 69 – 76.
- Stevenson A.C., Phethean S.J., Robinson J.E. 1993. The palaeosalinity and vegetational history of Garaet el Ichkeul, northwest Tunisia. *The Holocene* 3, 201 – 210.
- Stone D. 1998. Culture and Investment in the rural Landscape: the North African bonus Agricola. *Antiquités africaines* 34, 103 – 113.
- Strabon, 20 – 23 CE, *Géographie* XVII, 20.
- Tweddle J., Edwards K.J., Fieller N.R.J. 2005. Multivariate statistical and other approaches for the separation of cereal from wild Poaceae pollen using a large Holocene dataset. *Veget Hist Archaeobot* 14, 15 – 30.
- Zhou W., Cheng P., Jull A.J.T., Lu X., An Z., Wang H., Zhu Y., Wu Z. 2014. 14C Chronostratigraphy for Qinghai Lake in China. *Radiocarbon* 56, 143 – 155.
- Zoughlami J., Chenorkian R., Harbi-Riahi M. 1998. *Atlas préhistorique de la Tunisie, 11. Kairouan*. Collection de l'Ecole Française de Rome 81, Rome, 158 p.

LISTE DES FIGURES

- Figure 1 : Localisation de la sebkha Kalbia et détails de son bassin versant avec les principaux oueds Zéroud, Merguellil et Nebhana (modifiée d'après Boujelben *et al.* 2017)..... 3
- Figure 2 : Régions climatiques de la Tunisie (Margot Bruneau, d'après Hénia *et al.* 2008)..... 5
- Figure 3 : Diagrammes ombro-thermiques de Sousse, Kairouan et Kasserine (Climate-data.org) 6
- Figure 4 : Grands domaines biogéographiques de la Tunisie, zone d'étude en encadré rouge (Margot Bruneau, d'après Hénia *et al.* 2008)..... 6
- Figure 5 : Associations végétales du bassin versant de la sebkha Kalbia (Margot Bruneau, d'après Hénia *et al.* 2008) 9
- Figure 6 : **A** : Sites archéologiques régionaux, locaux **B** : et autour de la sebkha Kalbia (Margot Bruneau, d'après l'atlas archéologique de la Tunisie ; d'après Dagdoug 2017)..... 12
- Figure 7 : Prélèvement de la carotte SK10-C1 avec le carottier Technidrill dans la sebkha Kalbia (référence inconnue)..... 13
- Figure 8 : Unités stratigraphiques de la carotte SK10-C1 de la sebkha Kalbia (**A**) argiles limoneuses compactes avec nodules et concrétions calcaires (**B**) limons, sables et argiles compacts avec horizons d'oxyde de fer et de gypse et amas calcaires (**C**) limons argileux et sables limoneux à limnées et *Cerastoderma glaucum* (**D**) argiles et limons, souvent oxydés avec lits discontinus de gypse et un niveau à limnées (profondeur 6,40 – 6,45 m, épaisseur 5 cm) (Boujelben *et al.* 2017)..... 13
- Figure 9 : Photographies d'un grain de pollen identifié comme type *Herniaria/Paronychia* (Margot Bruneau)..... 18

Figure 10 : Photographies d'un grain de pollen identifié comme type <i>Glyceria</i> (Margot Bruneau).....	19
Figure 11 : Modèle âge/profondeur des datations du tableau 4. Les datations en rouges sont des « outliers » qui ne sont pas considérés dans le modèle âge/ profondeur (Sahbi Jaouadi).....	21
Figure 12 : Graphique du spectre pollinique de l'échantillon de surface P1 (Margot Bruneau)	25
Figure 13 : Diagramme détaillé des échantillons de P104 à P76 de la carotte SK10-C1 de la sebkha Kalbia (Margot Bruneau)	30
Figure 14 : Oscillation Nord-Atlantique A : négative B : et positive (Margot Bruneau)	36

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Datations radiocarbone de la sebkha Kalbia (Margot Bruneau d'après les résultats de Boujelben <i>et al.</i> 2017 ; Montalti 2018)	14
Tableau 2 : Les 28 échantillons étudiés avec âges et profondeurs (Margot Bruneau).....	15
Tableau 3 : Poids minimum des échantillons pour datation AMS ¹⁴ C (Margot Bruneau d'après Beta Analytic)	20
Tableau 4 : Dates utilisées pour la réalisation modèle âge/profondeur. Les datations en rouges ne sont pas considérées dans le modèle âge/profondeur (Margot Bruneau)	20
Tableau 5 : Profondeur, matériel daté et le poids des échantillons P92, P135, P160 (Margot Bruneau).....	22
Tableau 6 : Concentrations et états de conservation des grains de pollen des échantillons P76, P77, P80, P86, P92, P93, P98 de la carotte SK10-C1 de la sebkha Kalbia (Margot Bruneau)	31
Tableau 7 : Échantillons avec les fréquences et les pourcentages de grains de pollen indéterminables (Margot Bruneau)	32

ANNEXE

ANNEXE 1

Légende des vestiges antiques de la Figure 6 (B).

Les vestiges antiques de la rive gauche de la sebkha Kalbia sont renseignés par M. le lieutenant Montagnon, ceux de la rive droite sont renseignés par M. Gauckler, directeur des Antiquités de la Tunisie.

2. Henchir-el-Guenafid. Ruines romaines couvrant plusieurs hectares. Au Nord-est, à côté des ruines, grand dolmen, dont la table mesure 3 mètres de long.
3. Henchir-el-Aïoun-Fekarin. Ruines d'un groupe de maisons couvrant un petit espace avec plusieurs sources d'eau potable.
4. Douar-Zlass. Grand dolmen, dont la table mesure environ 2 mètres de long.
- 9, 10, 11. Ruines de maisons dont les murs sont rasés au niveau du sol. Clôtures formées de pierres.
12. Ruines de maisons : auges, blocs de marbre, colonnes.
13. Henchir-Draa-Ech-Chii. Ruines romaines s'étendant sur une longueur de près de 500 mètres. Blocs de marbre, tombeaux.
16. Henchir-el-Ahmed. Restes de maisons avec des traces de mosaïques.
18. Deux petits groupes de maisons romaines : dans le groupe du Sud, une double citerne.
19. Ruines de maisons avec des pierres taillées de grand appareil.
20. Henchir-el-Aoun. Restes de maisons, de colonnes et d'auges.
22. Henchir-el-Botal. Grands blocs taillés, fragments de fût de colonnes et de corniches.
28. Ruines romaines formant deux groupes séparés par un oued. Dans celui du nord-est, maison bien conservée, avec une mosaïque de 7 mètres de côté. Au sud-est il y a des tombeaux.
30. Henchir-el-Ferdjani. Restes d'une maison avec des traces de mosaïques.
31. Henchir-bou-Okkaz. Restes de maisons couvrant une surface de 400 mètres de côté. Blocs de marbre, colonnes, etc.
35. Deux grands dolmens longs de 2 à 3 mètres.
- 41- Henchir-el-Kouskoussi. Ruines romaines recouvrant plusieurs hectares.
67. Aïn-Gassa. Ruines d'une ferme romaine composée d'une dizaine de chambres. Traces d'une captation antique autour du bassin.
196. Bassin circulaire en ruine de 6 mètres de diamètre.

197. Henchir-Oued-Laya. Ruines d'une étendue de 5 hectares. Restes d'un fortin et de plusieurs bassins.

202. Ruines d'une étendue de 4 ou 5 hectares. Citerne romaine rectangulaire de 10 mètres sur 5 mètres, profonde de 3 mètres. Deux chapiteaux de travail grossier. Fragment de statue de femme en marbre blanc. Sarcophage.

204. Grand réservoir circulaire de 30 mètres de diamètre, muni de 24 contreforts intérieurs et de 24 contreforts extérieurs demi-circulaires. Profondeur : 3 mètres. Un citerneau de décantation circulaire, de 5 mètres de diamètre, y est accolé et un bassin rectangulaire de puisage, de 8 mètres sur 3 mètres, est opposé à ce dernier. Pas de traces d'habitation aux environs.

Notes : Les ruines romaines sont pour la plupart des restes d'exploitations agricoles, dont la densité témoigne de l'activité économique de cette région dans l'antiquité.

ANNEXE 2

Protocole de préparation des échantillons.

Les sédiments sont pesés pour ne garder que 3 grammes par échantillon.

1^{ère} étape

Il faut traiter les sédiments à l'acide chlorhydrique (HCl) à 38%. Cette opération va nécessiter l'emploi de matériel en Téflon (pots, tubes, agitateurs). La quantité d'acide utilisée dépend de la teneur en silice de l'échantillon. L'échantillon est laissé 4h dans l'acide qui a pour particularité de transformer la silice en élément soluble. Le surnageant est évacué et l'échantillon est rincé à l'eau distillée (H₂O).

2^{ème} étape

L'échantillon est ensuite soumis au traitement à l'acide fluorhydrique à 40% pour 12h. La réaction entre les deux, produits des fluorosilicates, qui seront éliminés par l'acide chlorhydrique à froid.

3^{ème} étape

L'acide chlorhydrique dilué à 18%, dans un bain-marie permet de les éliminer. Le mélange subit des centrifugations de 30 min à 3000 tours / min qui vont enlever le surnageant jaunâtre. Cette opération sera répétée jusqu'à ce que le surnageant soit clair.

4^{ème} étape

Le mélange est rincé à l'eau distillée et l'hydroxyde de potassium à 10 % à chaud est utilisée pour éliminer la plupart des matières organiques non-sporopolléniques.

Le traitement à l'hydroxyde de potassium suit le même processus que le traitement à l'acide chlorhydrique. Cette fois, le surnageant est noir et l'opération de centrifuge s'arrêtera jusqu'à ce qu'il devienne limpide. Les centrifugations durent 5 min à 3000 tours / min. Le tout est rincé à l'eau distillée et les culots sont transvasés dans des tubes coniques.

5^{ème} étape

Les tubes sont ensuite mis à l'envers, pendant 2 à 3 h, pour retirer l'eau des culots. Puis une liqueur dense de Chlorure de Zinc ($ZnCl_2$), de densité 2, est utilisée pour débarrasser l'échantillon des éléments minéraux ou organiques de densité supérieure à 2. La concentration en pollen et en spore devient donc plus importante. Si on souhaite obtenir moins d'éléments non-sporolliniques il est possible d'utiliser le Chlorure de Zinc ($ZnCl_2$) avec de l'eau distillée pour obtenir une substance de densité entre 1,8 et 1,9.

La solution est mélangée, agitée avec un agitateur et centrifugée pendant 5 min à 1000 tours / min. Le surnageant est retiré puis dilué avec de l'acide chlorhydrique à 25 %. Il est re-centrifugé une seconde fois à 3000 tours / min. Le culot est rincé à l'eau distillée puis laissé à sécher 2 à 3 h.

6^{ème} étape

Une pastille de contaminant végétal (*Lycopodium*) est ajoutée aux échantillons.

7^{ème} étape

Le culot est dilué avec du glycérol à 10 % pour pouvoir tourner le pollen, le voir sous ses différentes positions, et le conserver. Environ 50 μ l de préparation sont nécessaires pour monter une lame. Les lames sont fermées à l'histolaque.

ANNEXE 3 Données brutes des comptages des échantillons P104 à P76 de la carotte SK10-C1 de la sebkha Kalbia

Les taxons sont ordonnés par regroupement écologique et par ordre alphabétique de famille, genre et espèce (Margot Bruneau).

Échantillon	Profondeur (en cm)	Âge (cal. BP)	Âge (BCE/CE)	<i>Acer</i>	<i>Betula</i>	<i>Carpinus t. orientalis / Ostrya</i>	<i>Corylus</i>	Cupressaceae	<i>Quercus t.ilex/coccifera</i>
P76	445	1218	732	0	0	0	0	1	25
P77	455	1267	683	0	0	0	1	3	36
P78	460	1294	656	0	0	0	0	0	34
P79	465	1321	629	0	0	0	0	0	35
P80	470	1348	602	0	0	0	0	0	28
P81	475	1375	575	1	1	0	0	0	27
P82	480	1402	548	0	0	0	0	1	25
P83	485	1429	521	0	0	0	0	0	17
P84	490	1456	494	0	0	0	0	0	28
P85	495	1483	467	0	0	0	1	2	12
P86	500	1510	440	0	0	0	0	5	7
P87	510	1564	386	0	0	0	0	4	13
P88	515	1591	359	0	0	0	1	0	15
P89	520	1618	332	0	0	0	0	1	27
P90	525	1645	305	0	1	0	0	0	11
P91	530	1672	278	0	0	0	0	4	21
P92	535	1699	251	0	0	0	0	0	22
P93	540	1727	223	0	0	0	0	0	28
P94	545	1754	196	0	1	0	0	0	23
P95	550	1781	169	0	0	0	0	4	10
P96	555	1808	142	0	0	0	0	0	14
P97	560	1835	115	0	0	0	0	0	19
P98	565	1862	88	0	0	0	0	0	16
P99	570	1889	61	0	0	0	0	6	28
P100	575	1916	34	0	0	0	0	2	44
P101	580	1943	7	0	0	0	1	1	33
P102	585	1970	-20	0	0	0	0	4	18
P104	595	2024	-74	0	0	2	0	4	12

<i>Quercus t. pedunculata/pubescens</i>	<i>Quercus t. suber</i>	<i>Fraxinus t. ornus</i>	<i>Salix</i>	<i>Pinus sp.</i>	<i>Tilia</i>	<i>Ulmus</i>	<i>Pistacia</i>	<i>Rhus</i>	<i>Ceratonia</i>	<i>Phillyrea</i>	<i>Olea</i>	<i>Vitis</i>
4	0	0	0	34	1	0	0	1	0	1	5	0
4	0	0	0	17	0	0	6	1	0	2	8	0
10	1	0	0	24	0	0	0	1	0	0	7	0
3	0	0	0	10	0	0	2	2	0	0	15	0
4	0	0	0	14	0	0	2	0	0	0	9	0
4	0	0	0	22	0	0	2	0	0	0	12	0
3	0	0	0	42	0	0	0	0	0	1	14	0
3	1	0	0	28	0	0	3	1	0	0	11	0
0	0	0	0	37	0	0	4	0	0	0	12	0
2	0	0	0	10	0	0	3	1	0	0	11	0
2	1	0	0	50	0	0	4	1	0	0	10	0
7	0	0	0	10	0	0	4	2	0	1	18	0
0	0	0	0	8	0	0	2	1	0	0	17	1
3	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	24	1
4	1	0	0	5	0	0	4	0	0	2	18	0
1	0	0	0	12	0	1	2	1	0	0	25	0
1	1	0	0	5	0	0	4	1	0	0	32	0
0	0	0	0	13	0	0	7	0	0	0	34	0
2	1	0	0	9	0	0	10	0	0	0	27	0
3	0	0	0	18	0	0	2	0	0	3	32	0
4	1	0	0	17	0	0	5	0	0	0	16	0
4	0	0	0	29	0	0	1	2	0	2	9	0
1	0	0	0	13	0	0	9	0	0	1	21	0
6	0	0	0	7	0	0	0	0	0	1	38	0
2	0	0	1	10	0	0	2	0	0	2	28	0
5	1	0	0	18	0	0	5	1	1	1	38	0
2	3	2	0	14	0	0	9	0	0	4	22	0
2	0	1	0	22	0	0	12	0	0	8	48	0

AP	NAP	Amaranthaceae Chenopodiaceae	<i>Artemisia</i>	<i>Centaurea</i>	<i>Capparis</i>	Caryophyllaceae	<i>Helianthemum</i>	<i>Ephedra t. fragilis</i>	t. <i>Centaureum</i>	<i>Plantago</i>
72	255	93	39	1	0	0	0	3	0	0
78	230	79	27	0	0	6	0	1	1	20
77	270	107	25	1	0	0	0	2	0	16
67	233	98	31	1	0	1	0	0	0	19
57	266	115	20	1	0	1	0	3	0	13
69	234	90	28	5	0	1	0	0	0	22
86	251	89	29	1	0	1	0	3	0	20
64	245	110	12	3	0	0	0	0	0	18
81	284	86	33	4	0	0	1	3	0	4
42	267	117	18	7	0	7	0	1	0	22
80	218	60	26	2	1	2	1	1	1	16
59	244	86	23	4	0	4	0	2	0	26
45	299	143	40	2	0	0	0	1	0	12
68	232	101	40	6	0	3	0	2	0	11
46	252	113	30	7	0	0	0	1	0	21
67	263	105	53	2	0	0	0	1	0	7
66	243	100	40	1	0	3	0	0	1	15
82	277	123	64	1	0	0	0	1	0	5
73	242	118	29	4	0	4	0	2	0	10
72	275	115	51	1	0	2	0	1	0	8
57	244	111	22	6	0	1	0	1	1	16
66	268	89	67	1	0	0	0	3	0	15
61	239	102	33	4	0	2	0		0	13
86	280	119	49	0	0	0	0	2	0	6
91	243	107	60	4	0	2	0	0	0	16
105	307	127	36	1	0	0	0	1	0	7
78	287	144	43	0	0	0	0	0	0	10
111	203	84	16	0	0	2	0	0	0	6

<i>Plantago t. lanceolata</i>	Poaceae	<i>Glyceria</i>	<i>Cistus</i>	Apiaceae	Asteroideae	Cichorioideae	<i>Heliotropium</i>	Brassicaceae	<i>t. Herniaria / Paronychia</i>	Crassulaceae
0	15	0	0	2	21	55	0	18	0	0
2	31	0	0	1	12	22	0	16	4	0
2	18	0	0	1	16	63	0	8	0	1
1	30	0	0	0	8	36	0	4	2	0
0	15	0	0	1	14	70	0	10	0	0
2	12	0	0	1	13	47	0	11	0	0
0	12	0	0	1	20	57	0	11	2	0
2	28	1	0	4	11	39	0	15	0	0
0	36	0	0	0	17	69	0	19	3	0
2	20	0	0	1	12	41	0	12	1	1
1	12	0	0	2	19	57	0	9	0	0
3	19	2	0	2	12	34	0	15	2	2
0	27	0	0	2	10	41	0	13	5	0
3	16	0	0	2	5	25	0	10	3	0
3	8	0	0	0	7	39	0	15	3	0
0	16	0	0	1	10	37	0	21	2	2
0	23	0	0	1	1	32	0	19	1	1
0	15	0	0	0	8	34	0	8	11	2
0	17	0	0	2	4	33	0	15	1	0
0	23	0	0	2	11	36	1	15	3	0
0	15	1	0	4	10	37	0	11	3	0
0	23	0	0	1	10	35	0	16	2	0
3	23	0	0	2	11	25	0	18	2	0
0	40	0	0	0	8	36	0	12	2	2
0	24	0	0	0	0	24	0	0	2	3
2	55	0	1	1	12	46	0	11	1	0
0	30	0	0	1	14	30	0	4	2	0
0	40	4	0	2	6	18	0	4	6	0

<i>Scabiosa</i>	Ericaceae	Euphorbiaceae	Fabaceae	Geraniaceae	t. <i>Asphodelus</i>	Malvaceae	Thymelaeaceae	Valerianaceae	<i>Alnus</i>	<i>Tamarix</i>
0	6	0	0	0	0	1	0	0	0	0
0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0
0	6	0	0	0	0	0	0	0	2	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	6	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	3	0	0	0	0	0	0	0	2	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0
2	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	2	0	0	0	0	0	0	2	1	1
0	4	0	0	0	0	0	2	0	0	0
0	6	0	3	0	0	0	0	0	0	2

Cyperaceae	Ranunculaceae	<i>Thalictrum</i>	t. <i>Sparganium</i>	Nombre total (AP + NAP)
1	0	0	0	327
4	0	0	0	308
1	0	0	0	347
2	0	0	0	300
0	0	0	0	323
0	0	0	0	303
0	0	0	1	337
0	0	0	0	309
1	0	0	0	365
2	0	0	0	309
4	0	0	0	298
5	0	0	0	303
1	0	0	0	344
2	0	0	0	300
1	0	2	0	298
1	0	0	0	330
1	0	2	0	309
2	1	0	0	359
0	0	0	0	315
0	0	0	0	347
4	0	0	0	301
3	0	0	0	334
0	0	1	0	300
0	0	0	0	366
0	0	0	0	334
0	0	0	0	412
3	0	0	0	365
2	0	0	0	314

ANNEXE 4

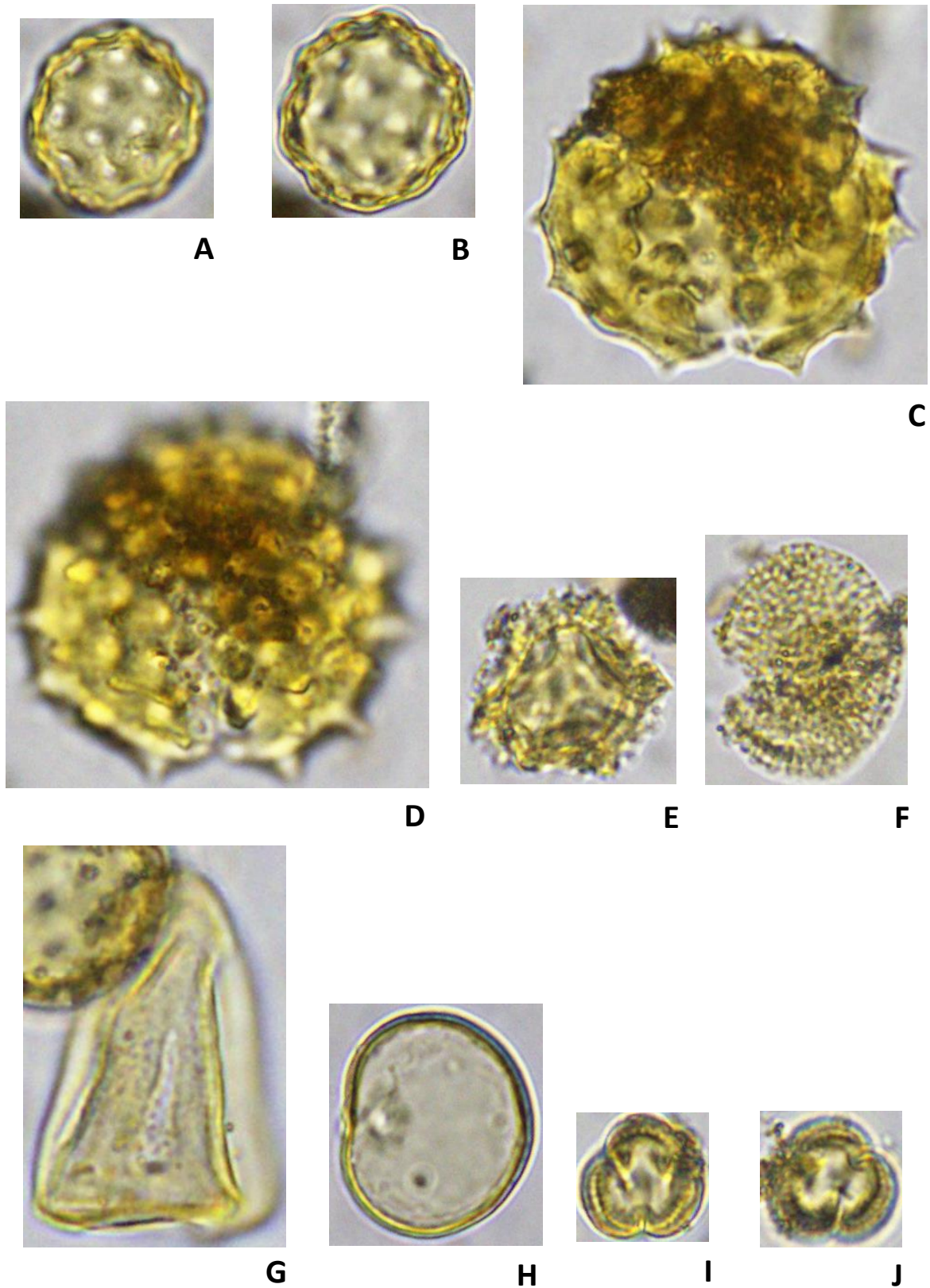
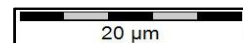


Planche 1. Grains de pollen de la carotte SK10-C1. (A,B) Amaranthaceae. (C,D) Asteroideae. (E) Cichorioideae. (F) Brassicaceae en vue équatoriale. (G) Cyperaceae. (H) Poaceae. (I, J) *Artemisia* en vue polaire (Margot Bruneau).



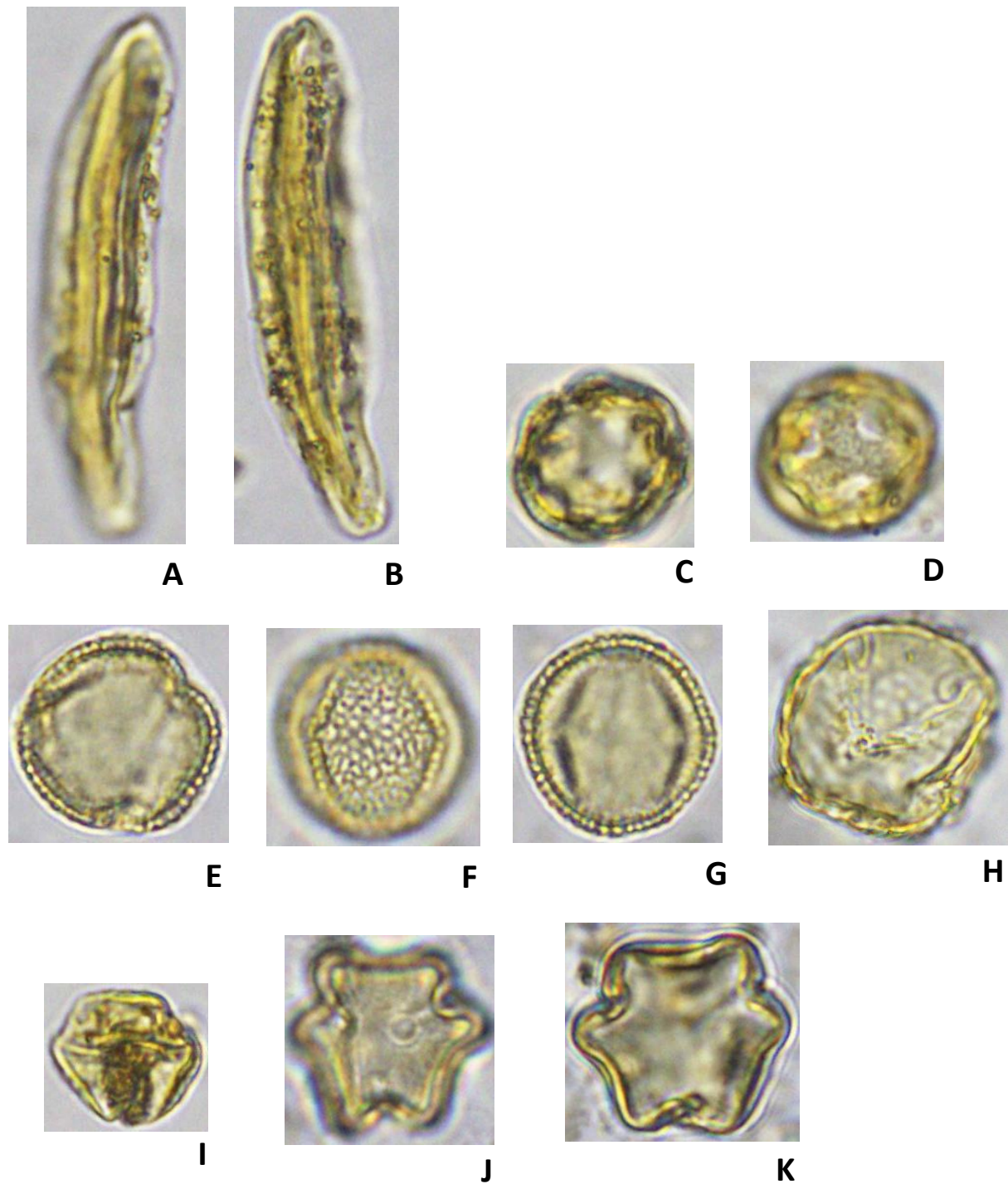
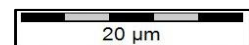
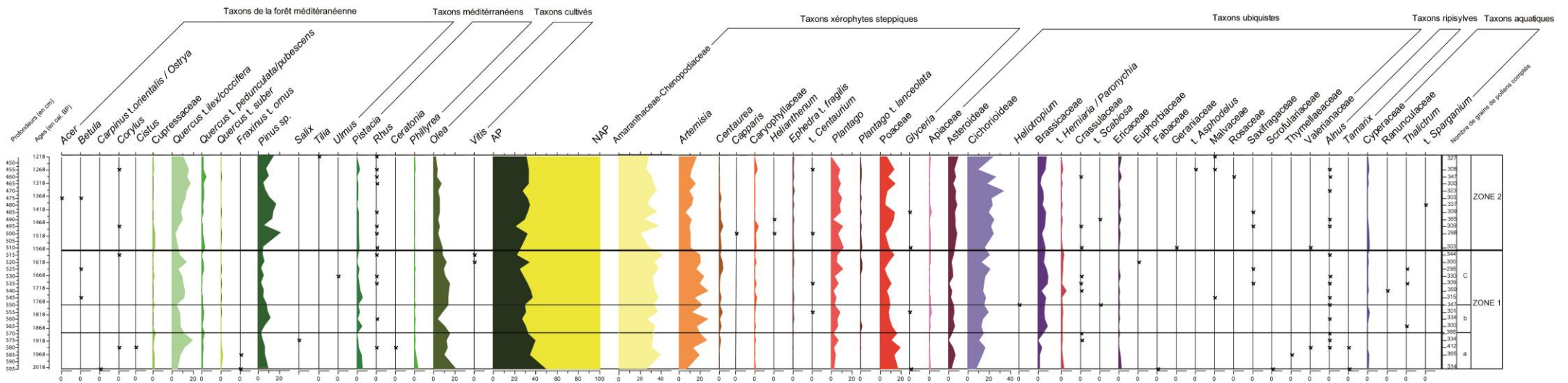


Planche 2. Grains de pollen de la carotte SK10-C1. (A, B) *Ephedra* type *fragilis*. (C,D) type *Herniaria/ Paronychia*. (E) *Olea* en vue polaire. (F,G) *Olea* en vue équatoriale. (H) *Plantago*. (I) *Quercus* type *ilex* en vue polaire. (J,K) *Vitis* en vue polaire (Margot Bruneau).



ANNEXE 5

Diagramme pollinique des échantillons P104 à P76 de la carotte SK10-C1 de la sebkha Kalbia (Margot Bruneau)



ANNEXE 6

**Tableau des concentrations polliniques des échantillons P104 à P76 de la carotte
SK10-C1 de la sebkha Kalbia (Margot Bruneau)**

Échantillon	Profondeur (en m)	Nombre de grains par g de sédiment
SK10-C1-P76	445	9670
SK10-C1-P77	455	33552
SK10-C1-P78	460	10305
SK10-C1-P79	465	19668
SK10-C1-P80	470	8523
SK10-C1-P81	475	24371
SK10-C1-P82	480	12362
SK10-C1-P83	485	22183
SK10-C1-P84	490	19972
SK10-C1-P85	495	18992
SK10-C1-P86	500	5856
SK10-C1-P87	510	25021
SK10-C1-P88	515	25924
SK10-C1-P89	520	21295
SK10-C1-P90	525	56346
SK10-C1-P91	530	26298
SK10-C1-P92	535	32575
SK10-C1-P93	540	1462
SK10-C1-P94	545	28665
SK10-C1-P95	550	18086
SK10-C1-P96	555	17287
SK10-C1-P97	560	25733
SK10-C1-P98	565	32792
SK10-C1-P99	570	21271
SK10-C1-P100	575	25905
SK10-C1-P101	580	21369
SK10-C1-P102	585	37054
SK10-C1-P104	595	12307

Résumé :

Le présent mémoire s'inscrit dans le projet RESIST et vise à étudier les dynamiques de la végétation et des occupations humaines durant la période romaine jusqu'au début du Moyen Âge dans la région aride de la Tunisie centrale. L'étude a pour enjeu d'identifier les changements du couvert végétal ainsi que des occupations humaines sous pression climatique et anthropique. Les périodes de la fin de l'Antiquité et le début du Moyen-Âge ont été étudiées car elles traversent des phases d'exploitations intensives, ainsi que des crises des sociétés dans une région soumise à de fortes instabilités climatiques. Le mémoire porte sur l'analyse palynologique de la carotte SK10-C1 de la sebkha Kalbia en Tunisie centrale. Les échantillons étudiés sont datés par ^{14}C AMS de 2024 cal. BP à 1218 cal. BP (74 BCE à 732 CE). À la sebkha Kalbia, les changements du couvert végétal sont d'abord modelés par une période plus humide. L'impact anthropique entre 1781 cal. BP et 1575 cal. BP (169 - 375 CE) est distinguable par l'implantation de l'oléiculture et de la viticulture. Le début du Moyen-Âge est marqué par un retrait ou par un changement des systèmes d'exploitation du territoire. La mise en place d'un climat plus aride avec des saisons plus contrastées est également plausible.

Abstract :

This thesis is conducting within the project RESIST. It aims to study the dynamics of vegetation and human occupations from the roman period to the beginning of Middle Ages in the arid region of central Tunisia. This study's goals are to identify changes in vegetation and in human occupations under climatic and anthropic stress. The periods from the late Antiquity and early Middle Ages have been studied because they went through phases of intense exploitation, as well as, corporate crises in a region subject to severe climatic instability. This thesis focuses on the palynological analysis of the SK10-C1 core of the sebkha Kalbia in central Tunisia. The samples studied were dated by ^{14}C AMS from 2024 cal. BP to 1218 cal. BP (74 BCE to 732 CE). At the sebkha Kalbia, changes in vegetation are first affected by a more humid period. The anthropic impact, between 1781 cal. BP to 1575 cal. BP (169 -375 CE), can be distinguished by implantation of olives and grapes cultures. The beginning of the Middle Ages was marked by the removal of populations or by change in territories operating systems. A climate more arid, with more contrasting seasons, is also possible.