

# Impact climatique et anthropique sur la végétation au sud de la Méditerranée centrale (détroit siculo-tunisien) au cours des 5 derniers millénaires

Emna GACEUR<sup>\*1,2</sup>, Stéphanie DESPRAT<sup>2</sup>, Imene ROUIS<sup>1</sup>, Néjib KALLEL<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire GEOGLOB, Faculté des Sciences de Sfax

<sup>2</sup> EPHE UMR 5805 EPOC Université de Bordeaux, CNRS, EPHE Allée Geoffroy St Hilaire

[gaceuramna@yahoo.com](mailto:gaceuramna@yahoo.com)

**Abstract**— Afin de fournir des analyses à haute résolution des changements de la végétation dans le passé, nous présentons ici une reconstruction à haute résolution de paléoclimat et de paléoenvironnement des derniers cinq millénaires à partir d'un enregistrement sédimentaire marin (Record 13-53) du Détroit Siculo-tunisien en utilisant le grain de pollen. Nos résultats mettent en évidence une tendance générale vers l'aridification au cours de l'Holocène supérieur. Nous avons ainsi pu identifier 3 événements de sécheresse centrés autour de 4.2 ka, 2.8 ka, et 1.3 ka BP alternant avec des phases plus humides qui coïncident avec certains événements climatiques rapides froids de l'Atlantique Nord (e.g. [1]). Ces événements se sont traduits au changement de végétation qui est lié à l'alternance entre l'expansion des forêts méditerranéennes et le développement de prairies sèches, indiquant le changement climatique d'un climat subhumide à un climat plus sec. De plus, l'effet anthropique, lié à la déforestation et à l'utilisation des terres, pourrait être un facteur supplémentaire expliquant le changement de végétation observé.

**Keywords**— Détroit Siculo-tunisien, holocène supérieur, paléoclimat, végétation, paléoenvironnement.

## I. INTRODUCTION

Pendant les dernières décennies, plusieurs études polliniques menées sur des archives continentales et marines dans la région méditerranéenne ont fourni des informations fructueuses sur les changements à long-terme des conditions paléoenvironnementales au cours de l'Holocène. Plusieurs auteurs ont démontré l'existence d'une variabilité millénaire de la végétation méditerranéenne tout au long de l'Holocène, en Méditerranée centrale (e.g. [2], [3] et [4]) et Méditerranée occidentale (e.g. [5] et [6]) liée principalement au changement de régime des précipitations hivernales. Cependant, la faible résolution des données reconstruites rend difficile la compréhension des interactions entre climat-environnement et sociétés humaines. Dans le sud de la Méditerranée, en l'absence d'impact anthropique, la température influence la composition de la forêt, mais l'humidité est globalement un facteur critique majeur pour le développement forestier (e.g. [7]). Etant donné qu'à l'heure actuelle dans le nord-est de la Tunisie les précipitations sont apportées principalement pendant l'hiver et l'automne (par ex. cf. carte dans e.g. [8]) et qu'à la fin de l'Holocène les précipitations estivales sont relativement faibles, une réduction de forêt est probablement associée à une diminution des précipitations hivernales. Par conséquent, les épisodes de réduction forestière enregistrés pourraient être associés à l'action de l'homme (déforestation, pâturage) mais aussi comme le suggère pour le sud de l'Italie (e.g. [9] et [10]), à une réponse à des événements climatiques arides. En effet, l'étude conjointe des données polliniques et des analyses géochimiques de la carotte Record 13-53 constitue une des premières études à très haute résolution temporelle pour comprendre les variations haute fréquence des conditions paléoenvironnementales en Tunisie septentrionale et l'impact des sociétés humaines sur le couvert végétal au cours de l'Holocène supérieur.

## II. MATÉRIELS ET MÉTHODES

### A. Zone d'étude

Le détroit Siculo-Tunisien, situé en méditerranée centrale, représente une zone clé pour comprendre la variabilité climatique holocène (e.g. [11]). Ce détroit est une zone vaste et dynamique qui relie les deux bassins majeurs de la mer Méditerranée, la Méditerranée occidentale et la Méditerranée orientale (e.g. [12]).

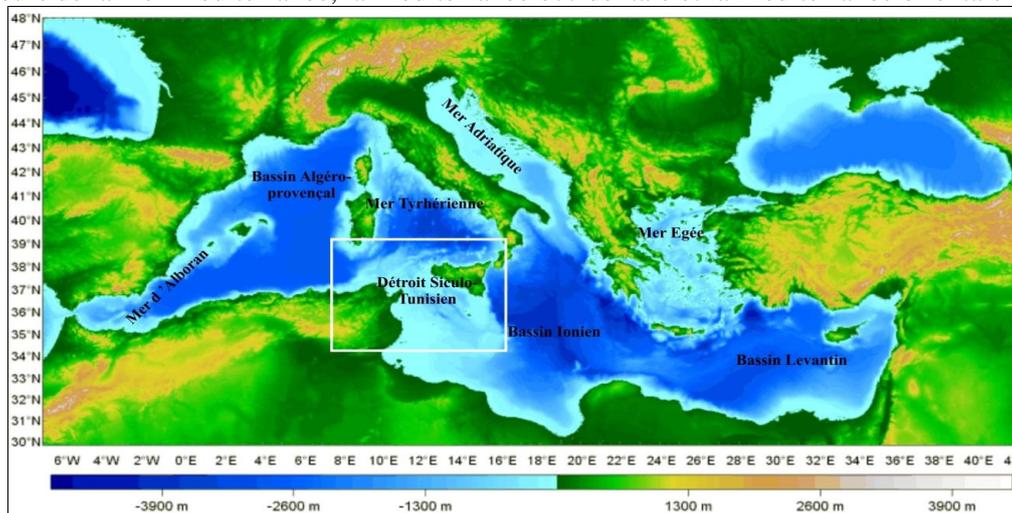


Fig 1: carte topographique et bathymétrique du bassin de la Méditerranée (carte produite avec Ocean Map) ([http://www-3.unipv.it/cibra/edu\\_Mediterraneo\\_uk.html](http://www-3.unipv.it/cibra/edu_Mediterraneo_uk.html)).

### B. Méthodologie

La carotte marine étudiée, Record 13-53, a été prélevée dans le détroit Siculo-Tunisien (Fig. 2). Elle se situe au large de l'île Pantelleria à la latitude  $36^{\circ}45' N$  et à la longitude  $12^{\circ}08' E$  avec une profondeur d'eau de 1113 m.

Le modèle d'âge ainsi établi a permis de calculer une vitesse de sédimentation moyenne le long de la carotte RECORD 13-53 d'environ 22 cm/1000 ans.

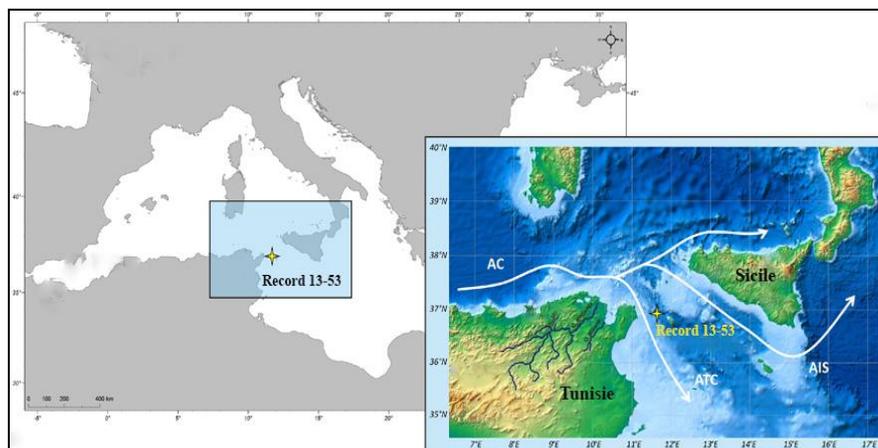


Fig 2: Localisation de la carotte marine Record 13-53 (google earth).

## III. RESULTATS

Les résultats de l'analyse polliniques de 100 premiers cm de la carotte Record 13-53, m'ont permis d'identifier 52 taxons polliniques (représentant 12 familles, 35 genres et 5 espèces). Les principaux taxons polliniques sont représentés sur le diagramme palynologique présenté ci-dessous (Fig. 3). Afin de quantifier le rapport pollen-végétation, nous avons réalisé l'analyse statistique: Cluster. Le cluster donne une dendrogram qui nous permet à délimiter les zones polliniques. Donc on a délimités 10 zones polliniques.

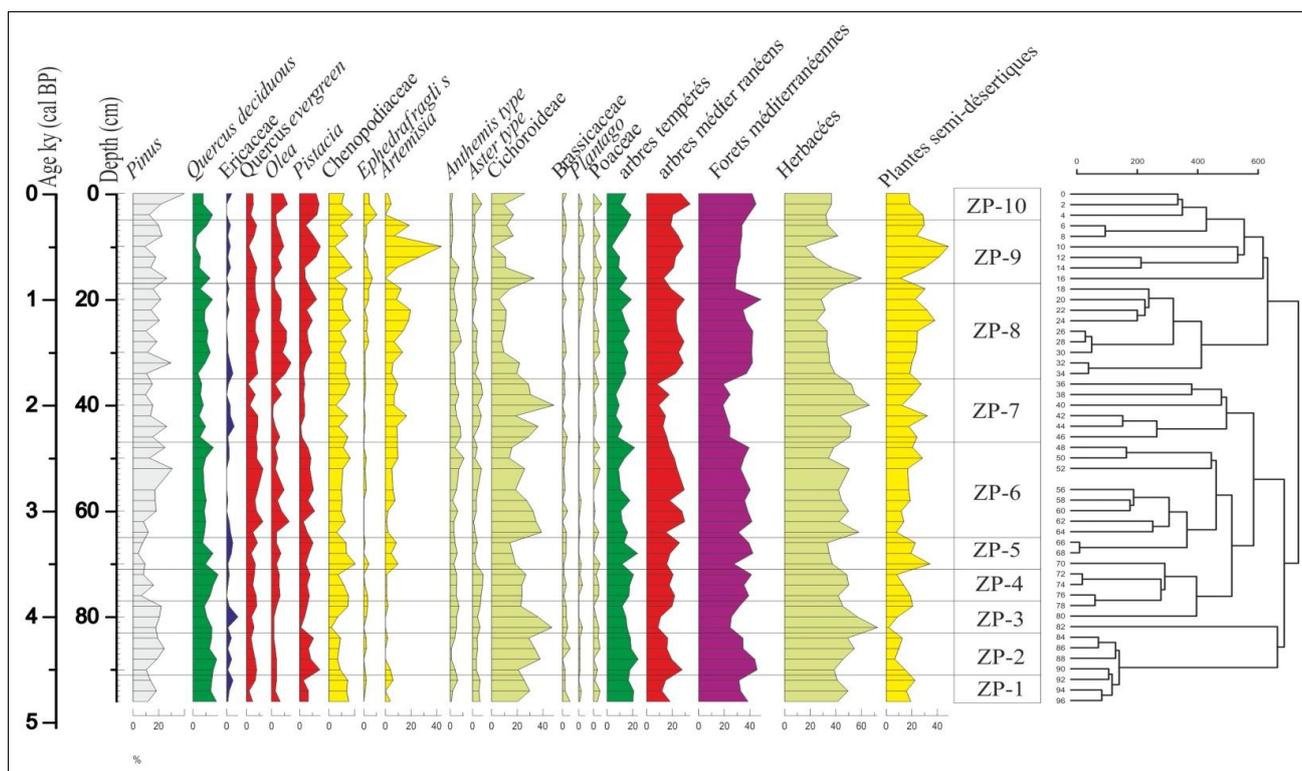


Fig 3: Diagramme pollinique synthétique de la carotte Record 13-53 en fonction de profondeur/âge. Les couleurs correspondent aux différents groupes écologiques : arbres tempérés (vert foncé), Taxons méditerranéens (rouge), Taxons semi-désertiques (jaune), Herbacées ubiquistes (vert clair), Ericacées (bleu foncé).

Cette analyse pollinique montre une alternance entre l'expansion des maquis méditerranéens et le développement de prairies sèches. Cette alternance permis d'identifier 7 épisodes au cours de derniers 4500 ans.

**Rec-7 (4500-4000 BP) :**

Un premier intervalle regroupe ZP-1 et 2 (Fig. 3) montrant la dominance des forêts méditerranéennes qui tend vers une réduction vers sa fin.

**Rec-6 (4000-3700 BP) :**

Cet intervalle, qui coïncide avec la 3<sup>ème</sup> zone pollinique, débute par une chute de la forêt méditerranéenne associée à une augmentation des pourcentages des herbacées.

**Rec-5 (3700-2500 BP) :**

Cette période regroupe 3 zones polliniques ZP-4, 5 et 6 (Fig. 3). La forêt méditerranéenne se développe à nouveau tandis que les taxons ubiquistes régressent. D'un autre côté et vers la deuxième moitié de cette zone, on note l'apparition des plantes semi-désertiques par des pics d'*Artemisia*. En outre, on note aussi une dominance des arbres méditerranéens surtout entre 3000 et 2800 ans BP. marquant le début de la deuxième phase forestière de notre enregistrement.

**Rec-4 (2500-2000 BP) :**

De nouveau, cet intervalle montre un déclin de la forêt méditerranéenne avec une recrudescence des prairies sèches.

**Rec-3 (2000-1350 BP):**

Elle coïncide avec la zone pollinique Rec-8 montrant une expansion de la forêt méditerranéenne.

**Rec-2 (1350-1150 BP) :**

Cet épisode coïncide avec la moitié de la zone pollinique Rec-9, qui est marquée par un accroissement des herbacées aux dépens d'un déclin de la forêt méditerranéenne.

**Rec-1 (1150-720 BP):**

Cet intervalle montre une recrudescence des arbres méditerranéens. Néanmoins, il est à remarquer que le début de cette période a été marqué par un pic d'*Artemisia* (40%).

#### IV. DISCUSSIONS

Les données polliniques de la carotte Record 13-53 présentent de changement important de la végétation de la Méditerranée centrale au cours de l'Holocène supérieur avec une alternance entre l'expansion des maquis méditerranéennes et le développement de prairies sèches. La présence de taxons méditerranéens, en particulier d'*Olea*, est notable dans la partie sommitale alors que la partie basale, les herbacées sont fortement représentées tout au long de la séquence marine et en particulier par Cichoroideae.

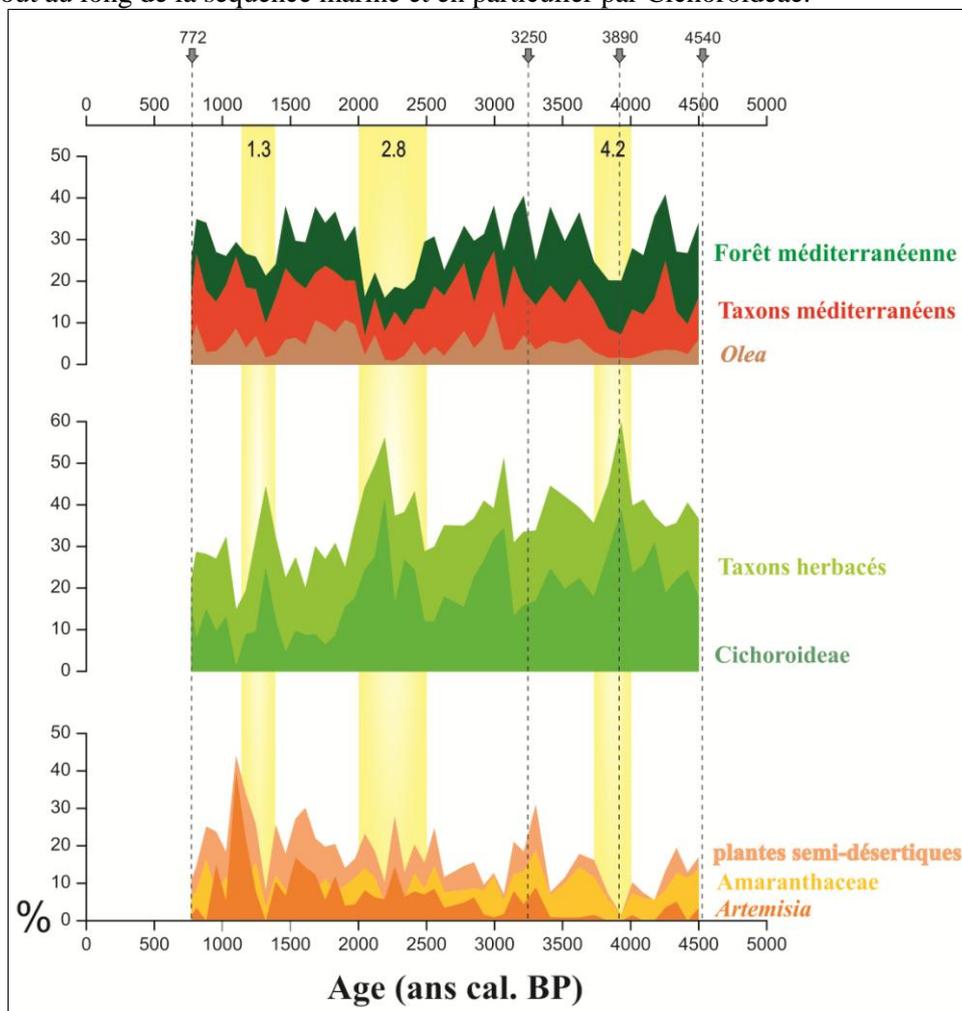
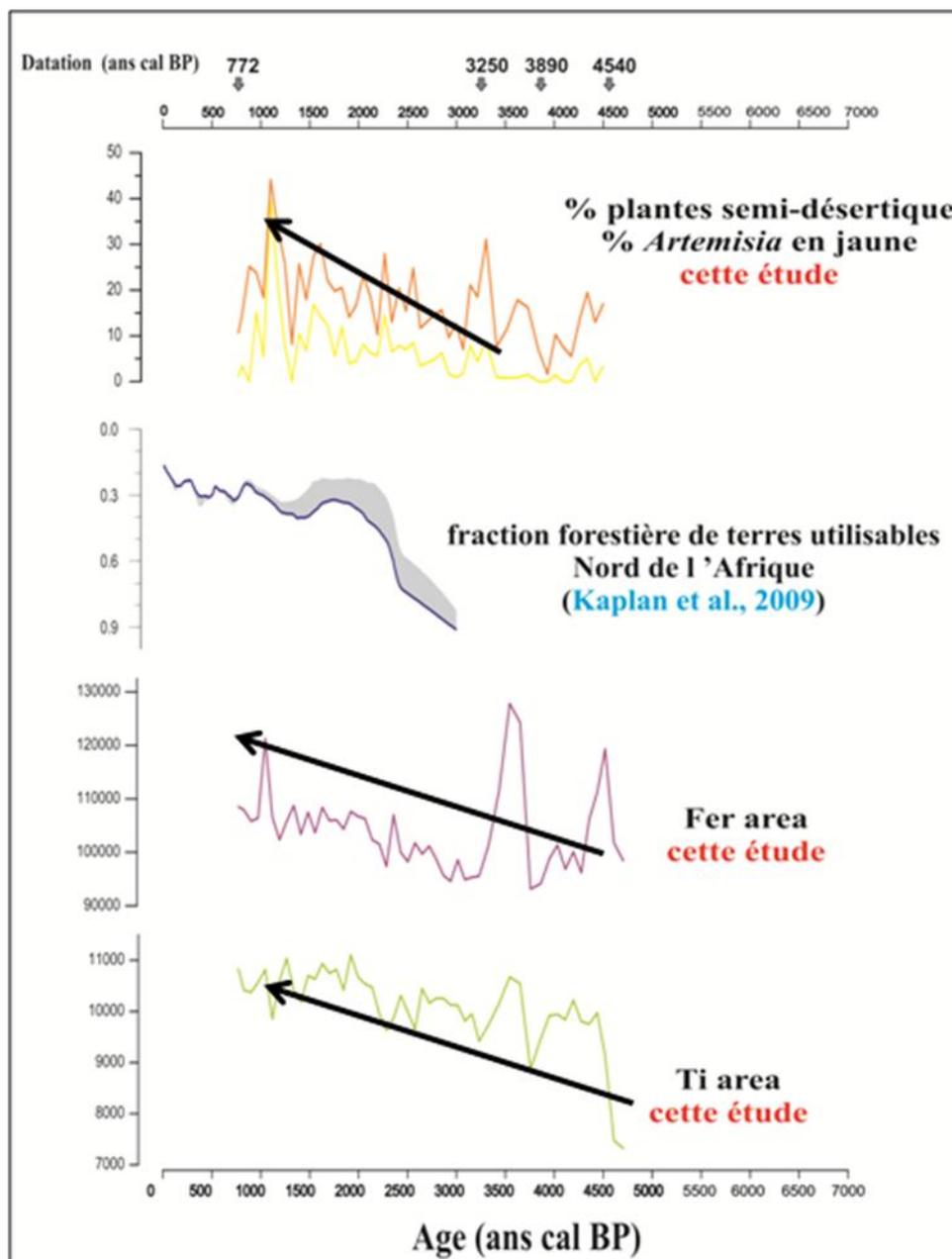


Fig 1 : Variations des groupes écologiques et taxons majeurs enregistrés dans la carotte Record 13-53 au cours de derniers 4500 ans BP. Les bandes en jaune illustrent les périodes sèches. Les tirets illustrent les pointeurs d'âges.

L'enregistrement pollinique met en évidence une tendance d'évolution du paysage à long-terme avec une augmentation progressive des plantes semi-désertiques et en particulier de l'armoise à partir de 3000 cal BP. Cette expansion des plantes semi-désertiques est similaire à celle observée par « Référence [13] » dans le sud de la Tunisie qui est probablement liée au développement des activités pastorales.

« Référence [14] » ont estimé les changements de la fraction forestière au cours des derniers millénaires en Afrique du Nord. Les résultats des simulations montrent un épisode de forte déforestation vers 2150 ans cal BP en Afrique du Nord lié à une forte densité de la population. Cette diminution du couvert forestier est associée au déboisement pour le développement des activités agro-pastorales mais aussi à l'exploitation du bois pour la construction notamment.

Les teneurs de Ti et de Fe enregistrées dans les sédiments de notre carotte marine montrent une augmentation graduelle qui sur les derniers millénaires pourrait être attribuée à une érosion accrue des sols, avec la progression de la déforestation et des activités pastorales.

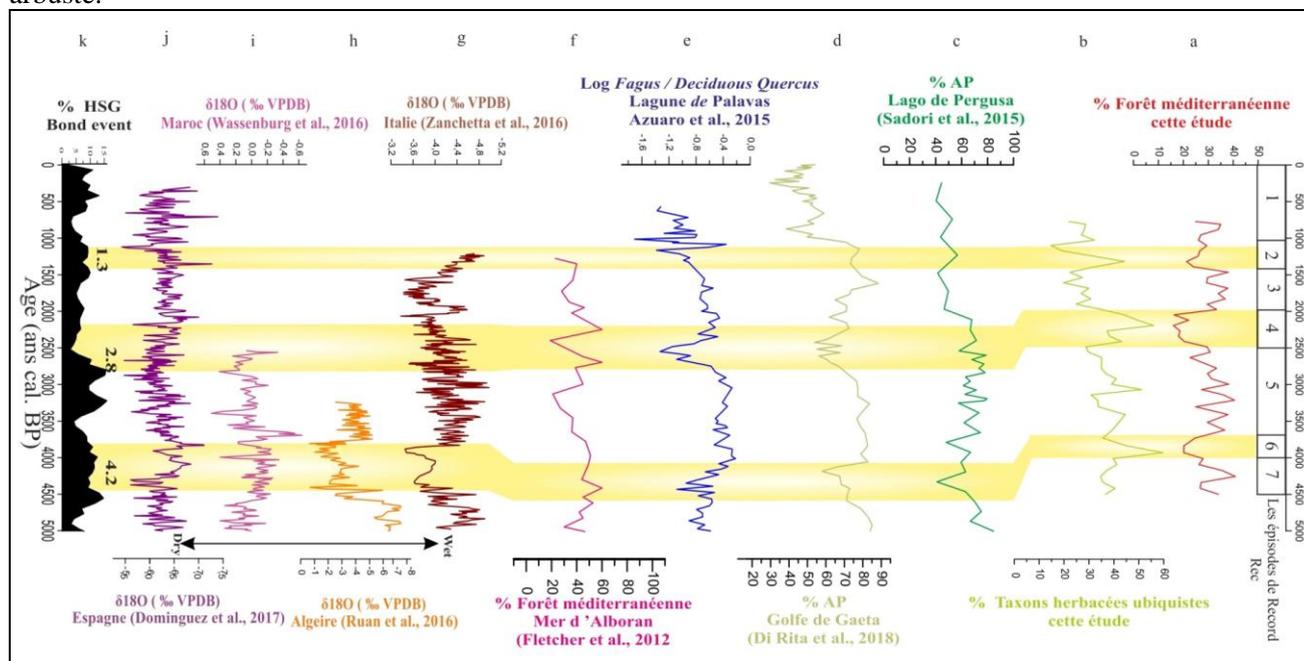


**Fig 5 :** Comparaison des données polliniques de plantes semi-désertiques (en orange incluant Amaranthaceae, *Ephedra fragilis* et *Artemisia*) et *Artemisia* (en jaune) et données géochimiques (teneurs en titane (vert) et en fer (violet)) de la carotte Record 13-53 avec l'évolution de la fraction forestière estimée des terres utilisables en agriculture en Afrique du Nord issue la déforestation anthropique au cours des derniers 3000 ans (e.g.[14]).

Notre enregistrement marin montre 3 épisodes de réduction de forêt (4000-3700, 2500-2000, 1350-1150 ans cal BP). Ce déclin forestier est également enregistré par les données polliniques de la carotte marine voisine MD04-2797CQ (e.g. [3]) ainsi que les enregistrements du NW de la Tunisie, de Sicile et en Mer Tyrrhénienne. Ces déclins forestiers qui sont liés à l'expansion de Cichoroideae pourraient représenter une expansion des environnements secs méditerranéens. Ces épisodes de réduction forestière enregistrés au détroit Siculo-tunisien mais aussi au sud de l'Italie pourraient être associés à l'action de l'Homme (déforestation, pâturage). Néanmoins, ces changements pourraient aussi correspondre à une diminution des précipitations hivernales dans le sud de la Méditerranée. Ces changements semblent être liés à des événements climatiques arides coïncident avec les événements climatiques rapides froids de Bond de l'en Atlantique Nord **4.2**, **1.3** et **0.4** respectivement (e.g. [1]).

Entre ces épisodes de sécheresse, l'expansion de la forêt méditerranéenne observée dans nos enregistrements suggère une amélioration des conditions climatiques vers un climat plus humide. Ces conditions humides sont

également enregistrées dans de nombreuses séquences polliniques de la région méditerranéenne comme au sud de la Méditerranée centrale. Ainsi, durant cette période et vers 3000 ans cal. BP, cette expansion de couverture végétale traduit par un développement remarquable d'*Olea* pourrait être liée aux cultures de cet arbuste.



**Fig 6:** Comparaison des données polliniques de la carotte Record 13-53 avec les enregistrements polliniques et les enregistrements des isotopes stables des stalagmites en Méditerranée. a) pourcentages de grains de pollen de forêt méditerranéenne (ensemble des taxons tempérés), b) pourcentages en grains de pollen des herbacées ubiquistes, c) pourcentages de pollen arboréen AP dans Lago de Pergusa (e.g. [15]), d) pourcentages de pollen arboréen AP le golfe de Gaeta (e.g. [9]), e) logarithme du ratio *Fagus / Quercus* décidus dans la lagune de Palavas (e.g. [16]), f) pourcentages de grains de pollen de forêt méditerranéenne enregistrées de la carotte MD95-2043 (e.g. [6]), g) enregistrement des isotopes stables des stalagmites en Italie (e.g. [17]), h) enregistrement des isotopes stables des stalagmites GLD1stm4, grotte de Gueldamanen Algérie (e.g. [18]), i) enregistrement des isotopes stables des stalagmites de la Grotte de Piste, Maroc (e.g. [19]), j) enregistrement des isotopes stables des stalagmites de Kaite cave dans l'Espagne (e.g. [20]), k) pourcentages d'« Hematite Stained Grains » (HSG) indiquant les événements froids de Bond (e.g. [1]). Les bandes jaunes illustrent les périodes sèches

## V. CONCLUSIONS

L'enregistrement pollinique à haute résolution dans le détroit Siculo-tunisien ajoute de nouvelles informations à la fois sur la dynamique de la végétation de l'Holocène supérieur dans la région méditerranéenne, ainsi que sur le développement des cultures en Tunisie Septentrionale. En effet, il fournit de nouvelles informations sur la réponse de la végétation à la variabilité climatique passée dans le bassin méditerranéen central.

Nos données révèlent que les fluctuations climatiques centennales enregistrées dans le détroit Siculo-Tunisien pendant les derniers 4500 ans sont également observées en Tunisie Septentrionale et dans l'ensemble de la Méditerranée Centrale. Notre enregistrement montre 3 épisodes de réduction de forêt (4000-3700, 2500-2000, 1350-1150 ans cal BP) qui sont également détectés dans le sud de la Méditerranée centrale et notamment dans le sud de l'Italie (e.g. [9] et [21]). Même si il reste difficile de dissocier les facteurs anthropiques des facteurs climatiques, nous avons montré que ces épisodes sont probablement associée à une diminution des précipitations hivernales qui coïncident avec les événements 3, 2 et 1 respectivement de « Référence [1] » et aux événements 4.2 ka, Période froide de l'Age du Fer, Période froide de l'Age Sombre. L'ouverture de la forêt pendant ces épisodes a favorisé le développement des herbacées, en particulier l'expansion des Cichorioideae (cf. discussion e.g. [3], [9] et [22]). Parallèlement, l'intensification de l'utilisation de terre et de la déforestation est révélée par l'impact important des activités humaines sur la végétation. Cet impact s'intensifie à partir du 3<sup>ème</sup> millénaire BP par le développement de l'oléiculture et des activités de pastoralisme témoignant de l'accentuation de la colonisation des populations humaines.

#### ACKNOWLEDGMENT

Ce travail s'inscrit dans le cadre du projet franco-tunisien PHC-Utique (Partenariats Hubert Curien : n° 14G1002 — Campus France n°30587QH). Le programme CMCU (14G1002) et le Labex COTE (2017) ont apporté leur soutien financier. Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mes directeurs de recherche Monsieur **Néjib KALLEL**, Professeur à la Faculté des Sciences de Sfax et **Stéphanie DESPRAT**, HDR-Directrice de Recherche à l'Université de Bordeaux (**UMR 5802 EPOC**) pour leurs aides, soutien scientifique et moral et ses critiques fructueuses m'ont été d'un grand apport et m'ont poussé à aller au bout de mes idées.

#### REFERENCES

- [1] **Bond, G., Kromer, B., Beer, J., Muscheler, R., Evans, M.N., Showers, W., Hoffmann, S., Lotti-Bond, R., Hajdas, I., Bonani, G., 2001.** Persistent solar influence on north atlantic climate during the Holocene. *Science* 294, 2130–2136. <https://doi.org/10.1126/science.1065680>
- [2] **Combourieu-Nebout, N., Peyron, O., Bout-Roumazielles, V., Goring, S., Dormoy, I., Joannin, S., Sadori, L., Siani, G., Magny, M., 2013.** Holocene vegetation and climate changes in the central Mediterranean inferred from a high-resolution marine pollen record (Adriatic Sea). *Climate of the Past* 9, 2023–2042. <https://doi.org/10.5194/cp-9-2023-2013>
- [3] **Desprat, S., Combourieu-Nebout, N., Essallami, L., Sicre, M.A., Dormoy, I., Peyron, O., Siani, G., Bout Roumazielles, V., Turon, J.L., 2013.** Deglacial and holocene vegetation and climatic changes in the southern central Mediterranean from a direct land-sea correlation. *Climate of the Past* 9, 767–787. <https://doi.org/10.5194/cp-9-767-2013>
- [4] **Magny, M., Combourieu-Nebout, N., De Beaulieu, J.L., Bout-Roumazielles, V., Colombaroli, D., Desprat, S., Francke, A., Joannin, S., Ortu, E., Peyron, O., Revel, M., Sadori, L., Siani, G., Sicre, M.A., Samartin, S., Simonneau, A., Tinner, W., Vannièrè, B., Wagner, B., Zanchetta, G., Anselmetti, F., Brugiapaglia, E., Chapron, E., Debret, M., Desmet, M., Didier, J., Essallami, L., Galop, D., Gilli, A., Haas, J.N., Kallel, N., Millet, L., Stock, A., Turon, J.L., Wirth, S., 2013.** North-south palaeohydrological contrasts in the central mediterranean during the holocene: Tentative synthesis and working hypotheses. *Climate of the Past* 9, 2043–2071. <https://doi.org/10.5194/cp-9-2043-2013>
- [5] **Combourieu Nebout, N., Peyron, O., Dormoy, I., Desprat, S., Beaudouin, C., Kotthoff, U., Marret, F., 2009.** Rapid climatic variability in the west Mediterranean during the last 25 000 years from high resolution pollen data. *Climate of the Past* 5, 503–521. <https://doi.org/10.5194/cp-5-503-2009>
- [6] **Fletcher, W.J., Zielhofer, C., 2013.** Fragility of Western Mediterranean landscapes during Holocene Rapid Climate Changes. *Catena* 103, 16–29. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2011.05.001>
- [7] **Quézel, P., 2000.** Réflexions sur l'évolution de la flore et de la végétation au Maghreb méditerranéen. Ibis Press Paris.
- [8] **Benito, G., Macklin, M.G., Zielhofer, C., Jones, A.F., Machado, M.J., 2015.** Holocene flooding and climate change in the Mediterranean. *Catena* 130, 13–33. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.11.014>
- [9] **Di Rita, F., Lirer, F., Bonomo, S., Cascella, A., Ferraro, L., Florindo, F., Domenica, D., Conrad, P., Margaritelli, G., Petrosino, P., Rettori, R., 2018a.** Late Holocene forest dynamics in the Gulf of Gaeta ( central Mediterranean ) in relation to NAO variability and human impact. *Quaternary Science Reviews* 179, 137–152. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.11.012>
- [10] **Di Rita, F., Magri, D., 2019.** The 4.2 ka event in the vegetation record of the central Mediterranean. *Climate of the Past* 15, 237–251. <https://doi.org/10.5194/cp-15-237-2019>
- [11] **Sadori, L., Jahns, S., Peyron, O., 2011.** Mid-Holocene vegetation history of the central Mediterranean. *Holocene* 21, 117–129. <https://doi.org/10.1177/0959683610377530>
- [12] **Sorgente, R., Drago, A.F., Ribotti, A., Sorgente, R., Drago, A.F., Seasonal, A.R., Sea, M., 2003.** Seasonal variability in the Central Mediterranean Sea circulation To cite this version : HAL Id : hal-00316980 *Annales Geophysicae* Seasonal variability in the Central Mediterranean Sea circulation.
- [13] **Jaouadi, S., Lebreton, V., Bout-Roumazielles, V., Siani, G., Lakhdar, R., Boussoffara, R., Dezileau, L., Kallel, N., Mannai-Tayech, B., Combourieu-Nebout, N., 2016.** Environmental changes, climate and anthropogenic impact in south-east Tunisia during the last 8 kyr. *Climate of the Past* 12, 1339–1359. <https://doi.org/10.5194/cp-12-1339-2016>
- [14] **Kaplan, J.O., Krumhardt, K.M., Zimmermann, N., 2009.** The prehistoric and preindustrial deforestation of Europe. *Quaternary Science Reviews* 28, 3016–3034. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2009.09.028>
- [15] **Sadori, L., Giardini, M., Gliozzi, E., Mazzini, I., Sulpizio, R., van Welden, A., Zanchetta, G., 2015a.** Vegetation, climate and environmental history of the last 4500 years at lake Shkodra (Albania/Montenegro). *Holocene* 25, 435–444. <https://doi.org/10.1177/0959683614561891>
- [16] **Azuara, J., Combourieu-Nebout, N., Lebreton, V., Mazier, F., Müller, S.D., Dezileau, L., 2015.** Late Holocene vegetation changes in relation with climate fluctuations and human activity in Languedoc (southern France). *Climate of the Past* 11, 1769–1784. <https://doi.org/10.5194/cp-11-1769-2015>

- [17] **Zanchetta, G., I, R.E.I., Drysdale, R.N., Bini, M., Baneschi, I., Hellstrom, J.C., 2016.** The so-called " 4 . 2 event " in the central mediterranean and its climatic teleconnections 4–18.
- [18] **Ruan, J., Kherbouche, F., Genty, D., Blamart, D., Cheng, H., Dewilde, F., Hachi, S., Edwards, R.L., Régnier, E., Michelot, J.L., 2016.** Evidence of a prolonged drought ca. 4200 yrBP correlated with prehistoric settlement abandonment from the Gueldaman GLD1 Cave, Northern Algeria. *Climate of the Past* 12, 1–4. <https://doi.org/10.5194/cp-12-1-2016>.
- [19] **Wassenburg, J.A., Scholz, D., Jochum, K.P., Cheng, H., Oster, J., Immenhauser, A., Richter, D.K., Häger, T., Jamieson, R.A., Baldini, J.U.L., Hoffmann, D., Breitenbach, S.F.M., 2016.** Determination of aragonite trace element distribution coefficients from speleothem calcite–aragonite transitions. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 190, 347–367. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2016.06.036>
- [20] **Domínguez-Villar, D., Wang, X., Krklec, K., Cheng, H., Edwards, R.L., 2017.** The control of the tropical North Atlantic on Holocene millennial climate oscillations. *Geology* 45, 303–306. <https://doi.org/10.1130/G38573.1>
- [21] **Margaritelli, G., Vallefucio, M., Rita, F. Di, 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., Costiero, M., Nazionale, C., Porta, C., Porto, I., Ambientale, B., Roma, U., Moro, P.A., 2016.** Marine response to climate changes during the last fi ve millennia in the central Mediterranean Sea. *Global and Planetary Change* 142, 53–72. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.04.007>
- [22] **Florenzano, A., Marignani, M., Rosati, L., Fascetti, S., Mercuri, A.M., 2015.** Are Cichorieae an indicator of open habitats and pastoralism in current and past vegetation studies? *Plant Biosystems* 149, 154–165. <https://doi.org/10.1080/11263504.2014.998311>