



Écologie/Ecology

Nouvelles contributions à l'histoire tardiglaciaire et holocène de la végétation en Algérie : analyses polliniques de deux profils sédimentaires du complexe humide d'El-Kala

Pollen analysis from two littoral marshes (Bourdime and Garaat El-Ouez) in the El-Kala wet complex (North-East Algeria). Lateglacial and Holocene history of Algerian vegetation

Mohamed Benslama^a, Valérie Andrieu-Ponel^b, Frédéric Guiter^{b,*}, Maurice Reille^b, Jacques-Louis de Beaulieu^b, Jérémy Migliore^b, Morteza Djamali^b

^a Équipe de pédologie biologique, laboratoire de biologie végétale et environnement, département biologie, faculté des sciences, université Badji Mokhtar, BP 12, 23000 Annaba, Algérie

^b IMEP, UMR CNRS 6116 IRD, europôle méditerranéen de l'Arbois, bâtiment Villemin, avenue Louis-Philibert, 13545 Aix-en-Provence cedex 04, France

INFO ARTICLE

Historique de l'article :

Reçu le 22 mai 2009

Accepté après révision le 6 août 2010

Disponible sur internet le 22 septembre 2010

Mots clés :

Afrique du Nord

Analyse pollinique

Histoire de la végétation

Refuges

Cedrus

Keywords:

North Africa

Pollen analysis

Vegetation dynamics

Refugia

Cedrus

R É S U M É

Deux séquences polliniques provenant des marais littoraux d'El-Kala ont été étudiées en vue de retracer l'histoire de la végétation régionale. Les assemblages polliniques étayés par huit datations ¹⁴C ont révélé, dans le marais de Bourdim une histoire récente dominée localement par une aulnaie-saulaie ; l'abondance d'*Erica arborea* indique que la végétation régionale est constituée par une subéraie très dégradée. La séquence de Garaat El-Ouez présente deux périodes distinctes : les assemblages supérieurs sont comparables à ceux de Bourdim ; par contre, ceux de la base sont dominés par *Pinus*, des Poaceae et diverses herbacées héliophiles, avec présence de *Cedrus*. Ils témoignent d'une végétation forestière ouverte attribuée par trois datations à la fin de la dernière glaciation et démontrent l'existence de refuges régionaux de *Cedrus* sous un climat relativement clément.

© 2010 Académie des sciences. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

A B S T R A C T

The study of two pollen sequences from El-Kala marshes allowed the reconstruction of the regional vegetation history supported by eight radiocarbon dates. Pollen assemblages from Bourdim site were dominated by local input of *Alnus* and *Salix*, while regional vegetation was characterized by scattered *Quercus suber* forests with a well-developed *Erica arborea* matorral. While the vegetation dynamics recorded at Bourdim is recent (Late Holocene), the majority of the pollen diagram from Garaat El-Ouez is contemporaneous to the Late Pleniglacial and is characterized by open woodlands with *Pinus*, Poaceae and several heliophilous herbs. The significant values of *Cedrus* pollen identified in this period indicate that the region of El-Kala most probably played the role of a refugium for this tree.

© 2010 Académie des sciences. Published by Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

Abridged English version

Palaeoecological investigations are of vital importance for understanding past vegetation and climate changes,

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : frederic.guiter@univ-cezanne.fr (F. Guiter).

especially for the Mediterranean area where a drastic increasing aridity has been observed during the last decades. From Morocco and Tunisia some studies are available, but they are extremely rare from Algeria. We present here the pollen analyses of two littoral marshes from north-east Algeria, as a first attempt of gathering new data.

The sites studied

The two marshes of Bourdim (8° 15' 14" E, 36° 48' 12" N, 13 m a.s.l.) and Garaat El-Ouez (8° 20' E, 36° 49' 06" N, 45 m a.s.l.) belong to the large El-Kala littoral wetland complex close to the Tunisian border; they lie on the Miocene sandstones and Pleistocene deposits. The local bioclimate is "thermo-mediterranean", with mean annual rainfall being above 700 mm (944 mm at El-Kala); the dry season lasting from May to September and the mean annual temperature being 17.9 °C. Although dense cork oak forests are still present in the region with deciduous *Quercus faginea* forests at wet places and higher altitudes, the natural vegetation around the sites which is most probably composed of open wood stands with *Quercus suber* and *Quercus coccifera*, matorrals with *Erica arborea*, meadows, is damaged by intensive agriculture and pastoralism. The marshes themselves are occupied by different aquatic to halophytic formations including more or less disturbed *Alnus glutinosa* fens.

Methods

The cores were obtained with a Russian corer in 1998. The simplified lithostratigraphies of Bourdim (660 cm) and Garaat El-Ouez (480 cm) appear at the left of the pollen diagrams. After pollen extraction, 67 spectra were established for Bourdim and 48 for Garaat El-Ouez, based on minimum of 300 upland pollen grains. Pollen grains of aquatic taxa, pteridophytes and *Salix*, *Alnus* are excluded from the pollen sums in the percentage calculations. Eight ¹⁴C dates were obtained from bulk sediments. The incoherencies between some of them make difficult the establishment of a robust chronological framework.

The diagrams, vegetation history and discussion

The Bourdim sequence provided a detailed record of Late Holocene vegetation dynamics. This record reflects open surrounding vegetation with a dominant *E. arborea* matorral which is most probably a result of the destruction of a former cork oak forest. This advanced degradation suggests a very recent age, as the pollen data from the Tunisian sites never show a strong forest decline before the Roman times. This consideration leads us to accept the ¹⁴C age of 1255 ± 75 uncal B.P. at 590–595 cm and reject the two ages of 2855 ± 51 uncal BP at 635 cm and 1977 ± 34 uncal BP at 345 cm. Contrarily, if the two last ages are accepted, one must admit that either the forest has been destroyed as soon as the Bronze age or at some places the late Holocene "natural" vegetation could have been composed of a dense *E. arborea* matorral as was evidenced in Corsica. The only major change observed in the diagram is local: the

replacement of an open (permanent) water ecosystem by an *Alnus/Salix* fen (transition of Bour-d to Bour-e pollen zone). Additional ¹⁴C ages are needed to establish a firm chronology and to date the exact time of this water table lowering. The Garaat El-Ouez sequence is divided into 5 pollen zones (Gar-a to Gar-c). Pollen evidences and ¹⁴C ages clearly point out to a hiatus at 60/70 cm between a late Holocene peat and organic sediments accumulated at the very end of the last Pleniglacial. The Holocene section gives the image of disturbed oak forests mixed with an *E. arborea* matorral, as at Bourdim.

For the first time in Algeria, the vegetation during the last glacial period is described. All along the glacial part of the sequence, pine (most probably *Pinus halepensis*) is the dominant tree; the abundance of Poaceae associated with different steppe taxa suggests a forest-steppe. Pine is extremely rare in the Holocene pollen sequences from Tunisia. In Algeria, the pollen sequence of Oum el-Khaled, close to Tebessa suggests the dominance of *P. halepensis* stands mixed with *Quercus ilex* since early Holocene until 4000 B.P., when it is replaced by a *Stipa* steppe. The *P. halepensis* open forests observed today in the Aures Mountains could constitute a possible analogue landscape. *Cedrus* pollen is represented by a continuous curve (frequently above 5 %) during this period suggesting that the tree was present in the region. *Abies* is regularly present. As in Dar Fatma in Tunisia, our record demonstrates that, during the last glaciation, *Abies pinsapo* (as *Cedrus*) was largely disseminated in NW Maghreb. The presence of different thermophilous trees suggests a dry but relatively mild climate at that time.

As a conclusion, our data confirm that NW Maghreb played the role of a glacial refugium for thermomesophilous trees. Although the set of ¹⁴C dates available today does not allow a precise chronological discussion, we show the great potential of east Algerian wet zones for the reconstruction of past vegetation and climate. The great age differences in the infilling of our two study sites requires a systematic exploration of all the potential sites, and a multidisciplinary palaeoecological investigation of them to better understand their origins and setting as well as a more detailed reconstruction of the past vegetation, landscape and climate of the area.

1. Introduction

Le réchauffement climatique et ses conséquences suscitent un grand nombre d'interrogations. Modifications des écosystèmes, sécheresses, érosion, événements météorologiques soudains ou encore exodes de populations sont autant de défis qu'il faudra surmonter si l'augmentation des températures à l'échelle planétaire se poursuit.

Parmi les régions du globe les plus menacées, la zone méditerranéenne se situe dans des contextes bioclimatique et biogéographique particulièrement vulnérants : elle se trouve à la confluence du climat aride nord-africain et du climat tempéré humide central-européen, subissant des interactions complexes entre une influence nord-atlantique, et des influences subtropicales, voire tropicales [1]. Une grande fragilité de la région méditerranéenne à

toute variation significative du climat mondial résulte de cet équilibre ténu [2,3]. De plus, la dégradation et la fragmentation récurrentes des espaces naturels par l'action anthropique y est très ancienne. Ainsi, il subsiste l'épineuse question d'un déterminisme climatique et/ou anthropique des changements paléoenvironnementaux dont témoignent les enregistrements paléoécologiques sur le pourtour méditerranéen, et ce, en dépit des nombreuses études consacrées à ce sujet [4–7].

L'enjeu est crucial pour le Maghreb méditerranéen. Cette région compte parmi les priorités mondiales de conservation en tant que « *hotspot* » de biodiversité [8] en raison d'un fort taux d'endémisme végétal, d'une grande richesse taxonomique et d'une pression humaine élevée [9].

Le Maghreb est également aux premières loges de la menace climatique. Plusieurs études prospectives concluent à une prochaine aridification [10] voire une désertification de l'ensemble de la frange sud-méditerranéenne [11]. Dans ce contexte, la connaissance des dynamiques passées des écosystèmes en Afrique du Nord reste primordiale car les données paléoécologiques :

- fournissent des éléments décisifs pour la compréhension des changements écologiques à long terme en relation avec des épisodes climatiques passés ;
- peuvent mettre en évidence le rôle de l'homme et de ses pratiques agropastorales dans la mise en place et la dégradation des paysages nord-africains depuis le Mésolithique ;
- permettent également d'éprouver la solidité de modèles prospectifs sur des pas de temps supérieurs à ceux livrés par des séries de données instrumentales [12].

L'histoire de la végétation, du climat et de l'occupation humaine au Maghreb reste cependant très largement méconnue en raison d'un nombre très insuffisant d'études palynologiques, le Maroc est certainement une région la mieux documentée. Les travaux de Ballouche [13], Ballouche et Damblon [14], Bernard et Reille [15], Cheddadi et al. [16], Damblon [17], El-Hamouti et al. [18], Lamb et al. [19], Reille [20,21] ont permis de retracer les grandes étapes des dynamiques végétales tardiglaciaires et holocènes, avec cependant de grandes lacunes temporelles et géographiques. Pour la Tunisie, citons Ben Tiba [22,23] et Ben Tiba et Reille [24], Damblon et Van den Berghen [25], Stambouli [26], Stambouli-Essassi [27] dont les contributions majeures à la connaissance du passé écologique de la région soulignent également des lacunes fondamentales.

Enfin, en Algérie, seuls les travaux de Ritchie [28], de Salamani [29,30] et de Benslama [31] ont abordé la question de la dynamique holocène de la végétation. Les connaissances sur l'histoire de la végétation et de l'action de l'Homme pendant l'Holocène en Algérie sont par ailleurs très limitées. La séquence holocène d'Oum el-Khaled (Monts de Nementcha) témoigne d'épisodes récents de déboisement et de pratiques agropastorales pendant la période subatlantique [28]. Ces événements ne sont malheureusement pas datés. En Grande Kabylie, des traces de la mise en culture de l'olivier et de céréales sont

enregistrées tardivement dans les séquences de La Châtaigneraie et de Tagma étudiées par Salamani [29] entre 810 ± 180 B.P. et 350 ± 200 uncal. B.P., soit très postérieurement à la néolithisation.

La présente étude de deux enregistrements paléoécologiques prélevés dans le nord-est algérien (région d'El-Kala) représente une contribution inédite à l'histoire nord-africaine de la végétation. Le présent travail propose de reconstituer les dynamiques écologiques passées de la région et d'évaluer les impacts respectifs des activités humaines et du climat des 15 derniers millénaires. Au-delà de cette problématique de première importance, le manuscrit aborde également la place et la signification biogéographiques d'espèces ligneuses clés comme *Cedrus* ou encore *Myrtus*, dont le maintien est mis en péril par la pression anthropique croissante et le changement climatique.

2. Les sites étudiés et leur contexte

2.1. Cadre géographique et géomorphologique

La région d'El-Kala est une des zones du nord-est de l'Algérie les plus riches en biodiversité et soumise à une protection, avec la mise en place depuis 1983 d'un Parc National (d'une superficie de 76 438 hectares) et inscrite en tant que réserve de la Biosphère par l'UNESCO depuis 1990. La région est limitée à l'est par la frontière algéro-tunisienne, au nord par la mer, à l'ouest par le Cap Rosa, au sud par les contreforts du djebel El Ghorra.

Notre étude a porté sur deux marais littoraux, Bourdim et Garaat El-Ouez, appartenant à un vaste complexe humide séparé de la Méditerranée par des cordons dunaires, délimité au sud et à l'est par la terminaison orientale de l'Atlas Tellien (Fig. 1). Ces zones humides, organisées en mosaïques d'écosystèmes forestiers, lagunaires, et parfois marins, reposent sur des grès et argiles de Numidie miocènes et des dépôts quaternaires dans des zones subsidentes [32]. L'alimentation en eau de ces zones humides est assurée par la nappe dunaire, le débordement de l'oued Kebir et par le ruissellement des eaux de surface sur les argiles imperméables (créant des ravines à écoulements intermittents ou « *chabats* »).

Le marais de Bourdim ($8^{\circ} 15' 14''$ E, $36^{\circ} 48' 12''$ N, altitude entre 10 et 16 m) occupe la vallée au nord ouest de Bouteldja (Fig. 1) ; sa superficie varie de 2 à 15 ha (lors des grandes eaux).

Garaat El-Ouez ($8^{\circ} 20' E$, $36^{\circ} 49' 06'' N$, altitude 45 m) s'est développé dans une dépression sur un replat des grès et argiles de Numidie (Fig. 1). Cette succession de marais, (d'une superficie d'environ 10 ha) est étagée entre 40 et 50 m d'altitude.

2.2. Climat et végétation actuelle

La région est soumise à un climat méditerranéen dont la saison sèche dure au maximum quatre mois (mi-mai à mi-septembre), mais les précipitations moyennes annuelles sont partout supérieures à 700 mm/an, augmentant d'ouest en est et avec l'altitude. Ainsi, on rencontre dans

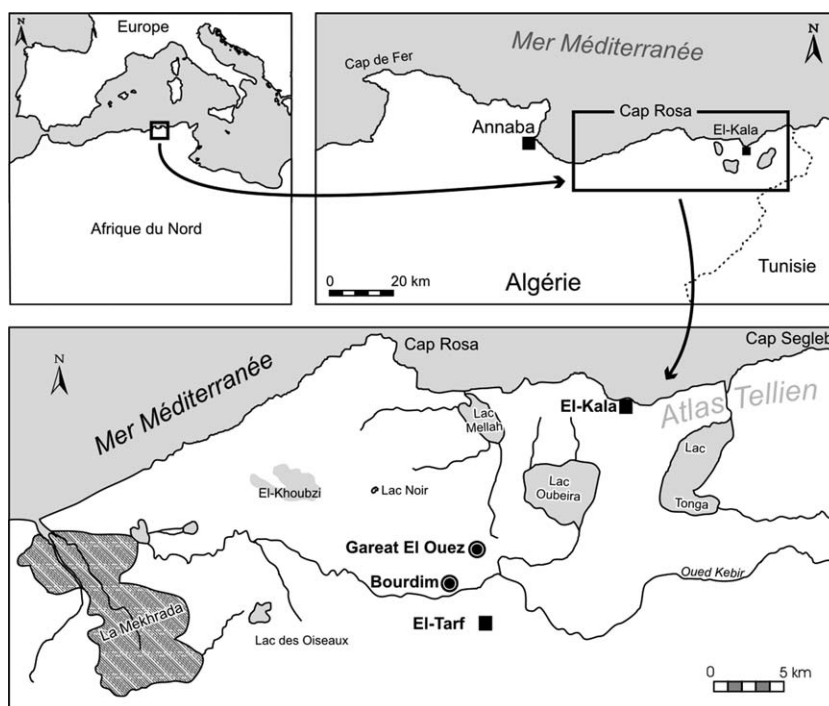


Fig. 1. Localisation des sites étudiés.

la région des bioclimats méditerranéens humides (717 mm/an à Bouteldja, 944 mm/an à El-Kala) à perhumide (1200 mm/an à El-Aioun, alt. : 700 m ; 1500 mm/an à El-Ghoura, alt. : 1202 m).

Dans la région d'El Kala, l'humidité atmosphérique moyenne annuelle est de l'ordre de 72 % la température moyenne annuelle est de 17,9 °C avec une amplitude moyenne de 6,75 °C.

Ce climat est particulièrement favorable au développement d'une végétation forestière : 72,25 % de la superficie de la région d'El Kala est composée de forêts, 9 % de terres agricoles, 7 % de lacs, et enfin 11 % de ripisylves et marais. Le couvert végétal est largement dominé par une subéraie à sous-bois d'*Erica arborea* L. et de *Myrtus communis* L., alors que les formations dunaires sont occupées par *Quercus coccifera* L.

L'aulnaie représente également un petit écosystème fragile et original de la région puisqu'il est principalement alimenté par les eaux des crues des oueds en période hivernale. Ces formations d'aulnaies comportent des arbres de grande taille (20 m de hauteur en moyenne) abritant une forte diversité en oiseaux. Cette aulnaie est actuellement dégradée et en forte régression.

Des séries de végétation ont été décrites pour la région [33], et nous ne présentons que la végétation environnant les deux sites d'étude dans le Tableau 1, classée en trois groupements distincts :

- une végétation aquatique, constituée de *Nymphaea alba*, *Callitriche palustris*, *Ranunculus aquatilis*, *Polygonum salicifolium* et *Salvinia natans* ;

Tableau 1

Description des principales formations forestières à proximité des sites étudiés.

Sites	Marais de Bourdim	Garaat-El-Ouez
<i>Végétation locale</i>		
	Subéraie mixte dégradée à <i>Quercus coccifera</i> et à <i>Halimium halimifolium</i>	Subéraie dégradée
	Magnocariçaie à <i>Cladium mariscus</i> , <i>Juncus effusus</i> , <i>Carex elata</i> et <i>Nypheae alba</i>	Aulnaie dégradée
	Aulnaie à <i>Alnus glutinosa</i>	Magnocariçaie à <i>Cladium mariscus</i> et <i>Juncus effusus</i>
	Frênaie humide à <i>Fraxinus angustifolia</i>	
	Subéraie-zénaie et cocciferaie dunaire	

- une végétation amphibie avec *Scirpus lacustris*, *Phragmites australis*, *Typha latifolia*, *Juncus capitatus* ;
- une végétation mésophile, représentée par des prairies à *Orminis mixta*, *Mentha rotundifolia*, *Trifolium maritimum* ;
- une végétation plus héliophile, représentée par l'aulnaie (*Alnus glutinosa*) associée à *Salix pedicellata*, *Erica scoparia*, *Rubus ulmifolius*, *Vitis vinifera*, *Athyrium filix-femina*, *Osmunda regalis*, *Laurus nobilis*.

2.3. Prélèvements et traitements

Les sondages ont été réalisés à l'aide d'un carottier russe [34]. Le site de Bourdim a livré un profil de 660 cm et Garaat El-Ouez un profil de 480 cm. Les lithologies simplifiées des profils de Bourdim et de Garaat El-Ouez sont respectivement présentées dans les Fig. 2 et 3.

Les sédiments de nature organique ont été traités par la méthode dite classique [35] et les échantillons argileux par

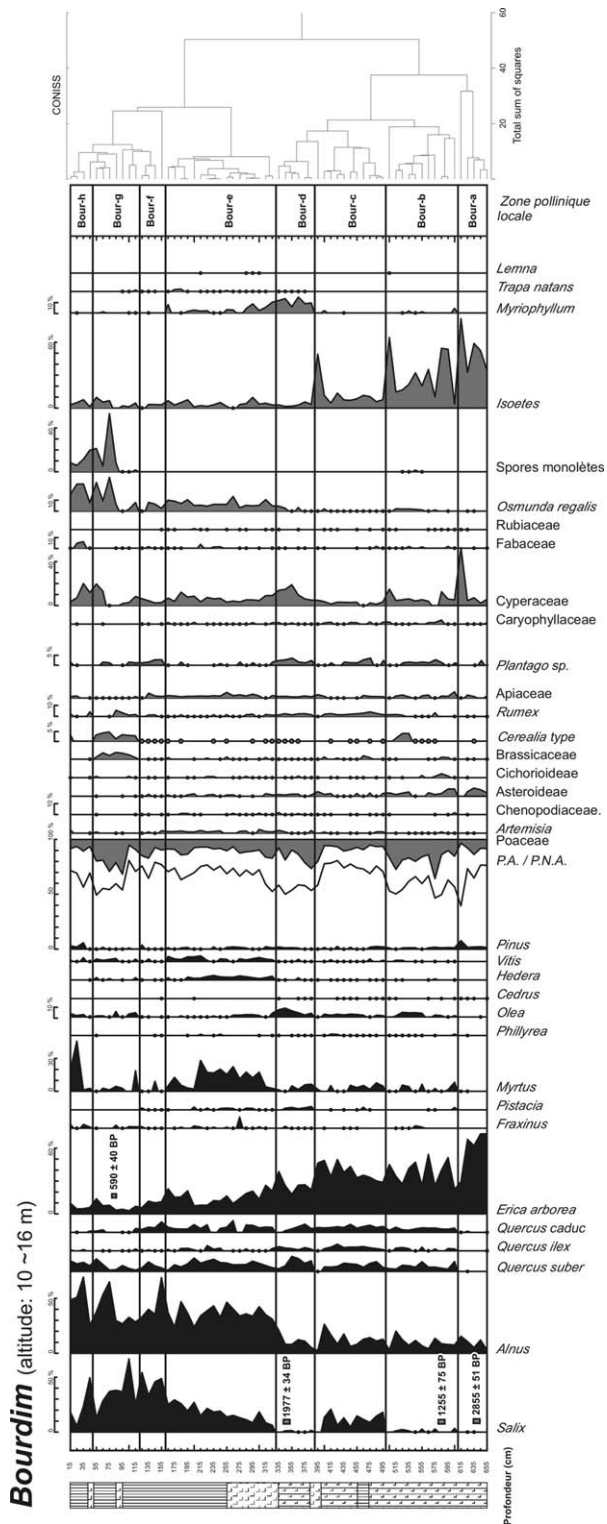


Fig. 2. Diagramme pollinique et lithologie (légende figure suivante) simplifiés du site de Bourdim.

flottation sur la liqueur de Thoulet [36]. La détermination des grains de pollen a été effectuée au microscope optique, sous objectif à immersion d'huile à l'aide de collections et d'un atlas pollinique de référence [37]. Les effectifs sont exprimés en fréquences relatives (pourcentages par rapport à la somme pollinique totale, spores exclues) et représentés graphiquement sous forme de diagrammes.

2.4. Diagrammes polliniques : Zonation

Les diagrammes de Bourdim (67 spectres) et de Garaat El-Ouez (48 spectres) sont respectivement présentés dans les Fig. 2 et 3. Un minimum de 300 grains de pollen a été compté dans chaque niveau afin d'assurer la représentativité statistique de chaque spectre analysé. Les diagrammes polliniques en fréquences relatives présentent l'évolution des principaux taxons rencontrés lors de l'analyse. Les effectifs des Ptéridophytes et de plantes aquatiques ont été exclus de la somme pollinique. De même, les forts effectifs observés d'*Alnus* de *Salix* et de *Cyperaceae* (surabondants localement) minorent la représentation des autres taxons dans la pluie pollinique ; leurs effectifs ont donc également été exclus de la somme pollinique totale afin d'améliorer la représentation graphique des autres taxons polliniques.

Quatre datations ^{14}C ont été obtenues sur tourbe et sédiment (pas de macrorestes) pour chaque site au Centre de Datation par le Radiocarbonate de Villeurbanne (Université Lyon I). Le Tableau 2 présente les âges obtenus. La calibration à 2σ a été effectuée grâce au logiciel Calib 6 [38] en accord avec la courbe de calibration intcal09 [39].

La zonation du diagramme a été établie : (1) grâce à une analyse préliminaire par clustering du logiciel CONISS [40] ; et, (2) en tenant compte des variations notables de fréquences des taxons forestiers et herbacés majeurs. Une zone pollinique est définie par une série d'assemblages polliniques de niveaux voisins qui ne montrent pas de différence majeure entre eux. L'étape de la zonation est primordiale car elle permet d'agencer la description du diagramme pollinique, et par conséquent l'histoire de la végétation retracée. Les Tableaux 3 et 4 résument les critères biostratigraphiques et les assemblages polliniques qui ont permis de définir chaque zone pollinique des deux diagrammes. En l'absence de cadre palynostratigraphique de référence pour la région, aucune chronozone n'a pu être définie avec certitude.

3. Le site de Bourdim : une histoire holocène originale

3.1. Chronologie

Le profil pollinique de Bourdim reflète une image détaillée mais relativement récente de l'histoire de la végétation régionale. Les quatre datations obtenues sont incohérentes puisque la continuité stratigraphique n'est pas respectée par celles-ci. Si l'âge 1255 ± 75 B.P. est exclu, la chronologie semble plus cohérente. Néanmoins, en l'absence d'éléments plus objectifs, il semble arbitraire d'invalider cette date plutôt qu'une autre. Cela pose par ailleurs le problème de possibles remaniements

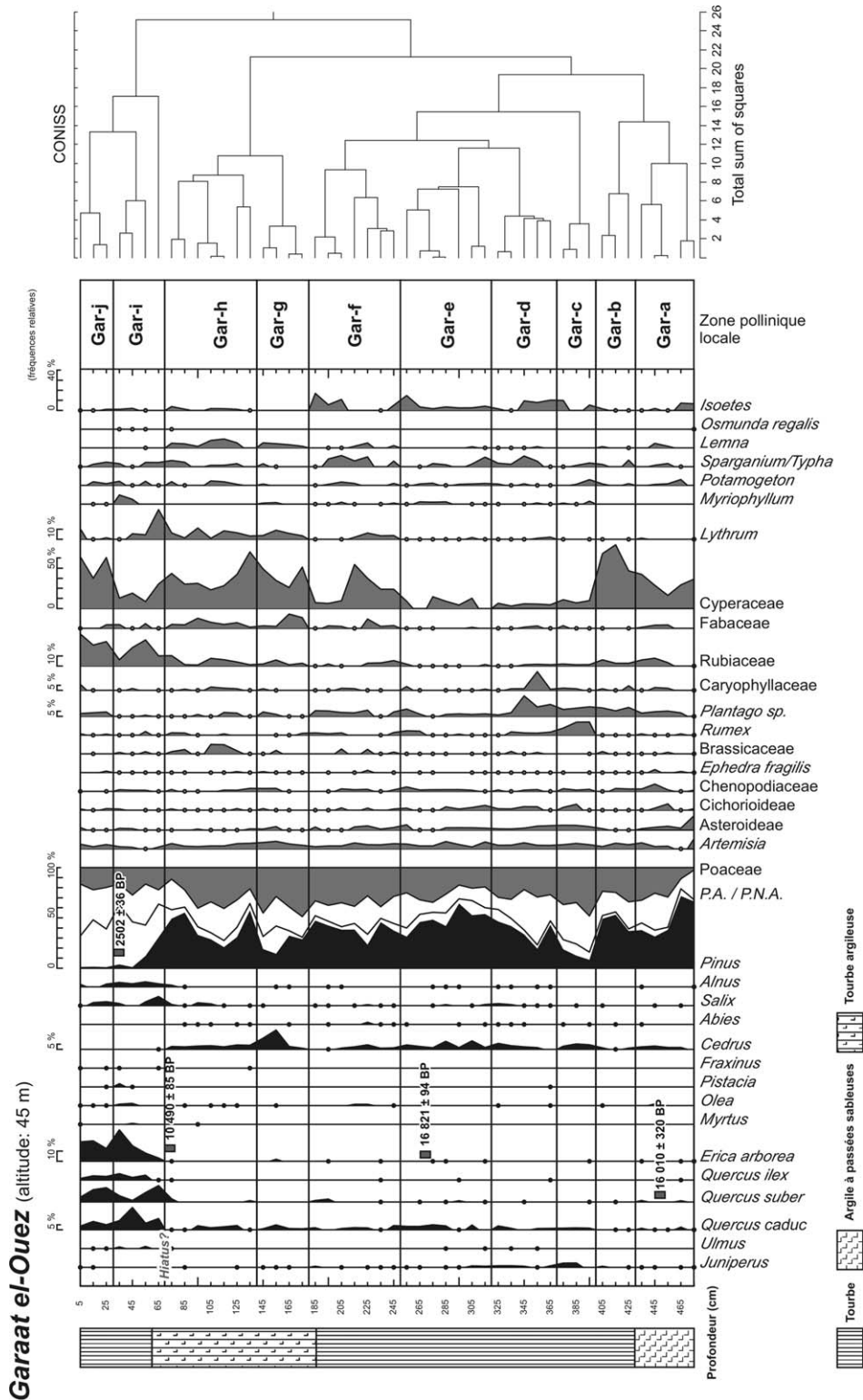


Fig. 3. Diagramme pollinique et lithologie simplifiés du profil de Garaat El-Ouez.

Tableau 2
Datations ^{14}C obtenues pour les deux profils algériens.

Site	Niveaux datés (cm)	Réf. Lab.	Matériel daté	Âge ^{14}C non calibré (années B.P.)	Âges ^{14}C calibrés à 2 σ (années B.P.) (cal B.P.)
Bourdim	78–82	Ly-9273	Tourbe	590 \pm 40	535–654
	345–350	AA50110	Tourbe	1977 \pm 34	1865–1997
	585–590	Ly-9272	Tourbe	1255 \pm 75	1051–1301
	635–640	AA50112	Tourbe	2855 \pm 51	3088–3158
Garaat El-Ouez	35–40	AA50105	Tourbe	2502 \pm 36	2458–2739
	75–80	Ly-9275	Tourbe	10 490 \pm 85	12 109–12 598
	265–270	AA50108	Tourbe	16 821 \pm 94	19 775–20 296
	445–450	Ly-9274	Sédiment argileux	16 010 \pm 320	19 666–19 867

sédimentaires. Le contexte sédimentaire de ces marais littoraux est favorable à des phénomènes de pollutions organiques (apports marins, remaniements de dépôts anciens, bioturbation, piétinement dans le marais). Cependant, les dynamiques végétales retracées dans le diagramme ne semblent pas hachées ou interrompues, ce qui suggère l'absence de remaniements sédimentaires. On peut raisonnablement penser que les incohérences des dates sont

Tableau 3
Description des zones polliniques définies pour le profil de Bourdim.

Zone pollinique	Description de la végétation
Bour-h	Régression des Poaceae au profit des éléments de la subéraie Retour de <i>Myrtus</i> Fin des courbes continues de <i>Cerealia</i> et des Brassicaceae
Bour-g	Diminution du rapport pollen arboréen/pollen non arboréen PA/PNA Courbe continue de <i>Cerealia</i> Courbe continue des Brassicaceae Augmentation des taux de Poaceae
Bour-f	Maintien d' <i>Alnus</i> et de <i>Salix</i> Régression de <i>Myrtus</i> Redéploiement des taux d' <i>Erica</i> Fin de courbes continues de <i>Vitis</i> et d' <i>Hedera</i>
Bour-e	Fort développement d' <i>Alnus</i> associé à <i>Salix</i> ; recrudescence d' <i>Osmunda regalis</i> Maintien de <i>Quercus suber</i> Déclin d' <i>Erica</i> Optimum de <i>Myrtus</i> Courbes continues de <i>Vitis</i> et d' <i>Hedera</i>
Bour-d	Optimum de <i>Quercus suber</i> Optimum d' <i>Olea</i> Courbe significative de <i>Myriophyllum</i> et occurrences de <i>Trapa natans</i> Chute transitoire d' <i>Erica</i>
Bour-c	Expansion de <i>Salix</i> Accroissement des taux de <i>Quercus suber</i> et de <i>Myrtus</i> Maintien d' <i>Erica</i> Augmentation du rapport PA/PNA
Bour-b	Accroissement des taux de Poaceae Recul modéré d' <i>Erica</i> Présence de <i>Pistacia</i> et <i>Olea</i> Courbe significative de <i>Myrtus</i> Courbe continue de <i>Quercus suber</i> et <i>Quercus caduc</i>
Bour-a	Développement optimal d' <i>Erica arborea</i> Absence quasi totale de <i>Quercus</i> Abondance d' <i>Isoetes</i>

imputables à de probables pollutions par de la matière organique remaniée. L'interprétation du diagramme holo-cène de Bourdim ne peut donc pas s'appuyer sur un contrôle chronologique absolu solide.

3.2. Dynamiques végétales

Erica arborea est représenté par des taux importants dans la première moitié de l'enregistrement pollinique (supérieurs à 50 % dans la zone Bour-a). Ses fréquences

Tableau 4
Description des zones polliniques définies pour le profil de Garaat-El-Ouez.

Zone pollinique	Description de la végétation
Gar-j	Chute du rapport PA/PNA Augmentation des taux de Rubiaceae et de Cyperaceae Courbe continue de <i>Plantago</i> sp.
Gar-i	Déclin de <i>Pinus</i> Courbes continues de <i>Quercus caduc</i> , <i>Quercus suber</i> , <i>Quercus ilex</i> et d' <i>Erica arborea</i> Fin de courbe continue de <i>Cedrus</i> Optimum de <i>Lythrum</i>
Gar-h	Déclin de <i>Cedrus</i> Optimum transitoire de <i>Pinus</i> Phase à Brassicaceae
Gar-g	Optimum de <i>Cedrus</i> Augmentation des taux de Cyperaceae Courbes continues des Fabaceae et des Rubiaceae
Gar-f	Fin de courbe de <i>Quercus caduc</i> Phase à <i>Plantago</i> sp. Dominant Courbe continue des Cyperaceae
Gar-e	Optimum du rapport PA/PNA Courbe significative de <i>Quercus caduc</i> Augmentation des taux de <i>Cedrus</i>
Gar-d	Augmentation du rapport PA/PNA Optimum de <i>Plantago</i> sp. et des Caryophyllaceae Optimum transitoire de <i>Cedrus</i>
Gar-c	Déclin de <i>Pinus</i> Courbes continues de <i>Cedrus</i> et de <i>Quercus caduc</i> Optimum de <i>Rumex</i> Chute des Cyperaceae
Gar-b	Optimum des Cyperaceae Augmentation des taux de <i>Pinus</i> Déclin transitoire des Poaceae
Gar-a	Forts taux de <i>Pinus</i> (70 %), puis déclin Augmentation des taux de Poaceae et d' <i>Artemisia</i>

relatives ne diminuent significativement qu'à partir de la zone pollinique d. Les taxons de la subéraie, bien que présents, sont faiblement représentés quantitativement. On pourrait penser que des subéraies clairsemées occupaient les abords du site, avec en sous-bois la dominance d'*E. arborea*. Ben Tiba [23] a démontré en Kroumirie que *Quercus suber* était un modeste pollinisateur : l'étude de la pluie pollinique a mis en évidence que sa représentation ne dépassait guère 20 % au sein d'une subéraie alors qu'*E. arborea* – souvent présent en sous-bois – se caractérisait par une forte production pollinique.

Il paraît évident que les environs du site de Bourdim étaient dominés par une subéraie mixte dont le sous-bois devait être massivement composé par *E. arborea* pendant la première moitié de l'enregistrement pollinique. Toujours en Tunisie, sur le site du Djebel El Ghorra, la bruyère arborescente a certainement joué un rôle majeur de substitution dans les maquis dégradés [22] ; il est également probable qu'à Bourdim, une dégradation du maquis – antérieure au début de l'enregistrement pollinique – ait favorisé l'essor d'*Erica* au sein de la subéraie.

En Corse, des formations à bruyères arborescentes semblent avoir représenté un écosystème stable au cours de l'optimum climatique holocène [41]. Il n'est pas exclu qu'en Algérie, *E. arborea* ait pu former un véritable couvert forestier pendant l'Atlantique (classiquement daté en Europe méditerranéenne entre 8000 et 5500 B.P. uncal B.P.). La base du diagramme témoignerait alors de l'extrême fin de cet optimum. En l'absence de chronologie fiable et d'enregistrements polliniques plus anciens, cette hypothèse demeure néanmoins discutable.

Dans la zone pollinique Bour-d, on observe un accroissement marqué des taux de Poaceae et d'*Olea*, associé au recul du matorral, avec la diminution des fréquences d'*E. arborea* : cela pourrait indiquer une intensification de la pression humaine (pastoralisme et culture d'*Olea*).

Puis *Myrtus* semble prendre un rôle important dans la dynamique forestière de cette subéraie mixte, sans doute progressivement dégradée. Dans la zone pollinique Bour-e, on observe une nette expansion du myrte alors que les taux d'*Erica* diminuent. Ces deux essences (caractéristiques de la subéraie de la région d'El-Kala) sont certainement entrées en concurrence : l'optimum de *Myrtus* (documenté dans la zone pollinique Bour-e) témoignerait t'il d'une transition climatique humide ? Cet accroissement des taux de *Myrtus* concorde avec le début de la courbe continue d'*Osmunda regalis*, et l'augmentation significative des fréquences polliniques d'*Alnus* et de *Salix* : il semble donc que le développement d'une myrtaie corresponde à la mise en place d'une végétation hygrophile autour du site. Il est d'ailleurs probable qu'une ceinture forestière à *Myrtus*, *Alnus* et *Salix*, (avec *O. regalis* en sous-bois et sur le marais) se soit installée à Bourdim. Les courbes continues d'*Hedera* et de *Vitis* témoignent également de ce proche environnement forestier humide autour du site, composé par des aulnaies littorales comparables à celles observées de nos jours.

À partir de la zone pollinique Bour-g, les taux de pollen d'arbres chutent significativement avec l'augmentation des Poaceae, associées aux Brassicaceae, à *Rumex* et à

Cerealia. Ce dernier est représenté avec *Rumex* sous la forme d'une courbe continue, indiquant certainement un accroissement de la pression anthropique. La recrudescence d'activités agropastorales dans les environs du site a probablement affecté le couvert forestier car tous les taxons ligneux marquent un recul, à l'exception de *Q. suber*.

En dépit de son épaisseur importante (6,55 m), la séquence de Bourdim ne décrit qu'une histoire brève (moins de trois millénaires), mais précieuse compte tenu de l'absence de données paléocologiques pour la région. Le taux de sédimentation organique est donc important, ce qui témoigne d'une productivité importante de l'écosystème palustre de Bourdim. Le site était probablement :

- d'abord, un marais à faible tranche d'eau comme l'atteste la courbe d'*Isoetes* (zones polliniques Bour-a à Bour-c, Fig. 2) ;
- puis le niveau d'eau a diminué (avec l'apparition de *Myriophyllum*, zones polliniques Bour-d et Bour-e) ;
- enfin le marais s'est progressivement comblé, envahi par *Alnus*, *Salix* et *O. regalis* (zones polliniques Bour-g à Bour-d-h).

On peut également affirmer que le paysage alentour est totalement déboisé au moins depuis un millénaire ; un matorral dense à *E. arborea* s'est développé et maintenu à la périphérie du marais. Cependant, en dépit du faible couvert arboréen, les indicateurs herbacés d'anthropisation demeurent relativement discrets ; il n'est pas exclu que la végétation de la zone humide ait joué un rôle filtrant de la pluie pollinique extra-locale. Il faut par ailleurs souligner que le faible pourcentage de pollen d'arbres semble en désaccord avec l'état actuel de la végétation régionale estimée comme majoritairement boisée. Une fois encore, la paléocologie se heurte à l'épineuse question de la caractérisation d'un couvert forestier et la structuration des paysages en zone méditerranéenne [42].

4. Le site de Garaat El-Ouez : une vieille histoire

4.1. Chronologie

Les âges obtenus pour le site de Garaat El-Ouez posent également problème pour des raisons évidentes de discontinuités stratigraphiques. Les trois plus vieux âges indiquent que l'essentiel de l'enregistrement pollinique (de la base à 70 cm de profondeur) est contemporain de la fin de la dernière glaciation, ce qui représente un élément remarquable pour la région. Mais il semble qu'un imposant hiatus soit présent à la transition entre ces niveaux et l'Holocène. Un tel hiatus nous prive de connaissances précieuses sur la recolonisation postglaciaire par la végétation dans la région : le site de Garaat El-Ouez ne permet donc pas de reconstituer les dynamiques végétales avant l'intensification de la pression anthropique à l'Holocène récent.

4.2. Dynamiques végétales

D'une manière générale, la séquence holocène de Garaat el-Ouez évoque un paysage bien plus boisé qu'à

Bourdim et la base de l'enregistrement est bien antérieure à celle de Bourdim. Sur la côte septentrionale de Tunisie la séquence d'Abiare [27], à 110 m d'altitude, témoigne d'un paysage aussi dramatiquement dépourvu d'arbres qu'à Bourdim pendant le dernier millénaire alors que celle de Majen El Orbi, proche mais à 200 m montre l'effondrement des chênes caducifoliés au profit d'un matorral à *E. arborea*, mais aussi de *Q. suber* qui demeure abondant jusqu'à nos jours.

Le changement abrupt dans les assemblages polliniques à 65 cm indique la présence d'un hiatus, clairement confirmé par les datations ^{14}C : la base de la séquence correspond à la fin du dernier Pléniglaciaire alors que la partie supérieure correspond à un Holocène certainement très récent (ca. Subatlantique), en accord avec l'image pollinique d'une subéraie dégradée à *E. arborea*, comme cela est documenté à Bourdim. Il est possible que le réchauffement tardiglaciaire ait durablement asséché la zone humide, stoppant la sédimentation organique, et par conséquent la conservation du pollen. Les deux spectres de 55 et 65 cm, encore riches en pollen de pin pourraient s'expliquer par la percolation de pollen d'âge holocène dans les dépôts plus anciens lors de la remise en eau du marais.

Les deux datations inversées de la partie inférieure de la séquence (16 010 uncal B.P. à 445–455 cm et 16 821 ± 94 uncal B.P. à 265–270 cm) interdisent une interprétation chronologique solide des 4 m inférieurs, bien que la séquence pollinique présente des changements significatifs. Notons néanmoins qu'en dépit de la sur-représentation classique de *Pinus* pendant le Pléniglaciaire, *Cedrus* est bien représenté dans l'enregistrement. Il connaît un optimum (zone pollinique Gar-d) qui pourrait correspondre au développement de cédraies à basse altitude, par exemple dans la proche chaîne des Babors. Mais la question de la répartition des cédraies en Algérie à la fin du Pléniglaciaire reste cependant non élucidée.

La zone pollinique Gar-e couvre la totalité de la période holocène (postérieure à ca. 12 300 cal. B.P.) mais l'histoire de la végétation est malheureusement condensée sur 50 cm ; il est par ailleurs difficile d'évaluer la possibilité de hiatus dans l'enregistrement, voire de détailler les dynamiques forestières retracées. Néanmoins, il semble qu'*E. arborea* ait constitué un taxon majeur au cours de la première moitié de l'Holocène, *Q. suber* semblant plus présent en fin de zone pollinique.

4.3. Vers une meilleure connaissance de l'histoire des forêts pléistocènes et holocènes en Afrique du Nord

La séquence de Garaat El-Ouez est exceptionnelle car c'est la toute première fois qu'est décrit en Algérie l'état de la végétation à la fin du Pléniglaciaire. Le site tunisien de Dar Fatma à 780 m [27] avait révélé une succession forestière extraordinaire marquée par la prédominance du chêne zen pendant le Pléniglaciaire moyen, suivie par une période marquée par un optimum pour les boisements mixtes de conifères (*Cedrus*, *Pinus* et *Abies*) dont l'abondance passée au Maghreb est attestée vers 24 000 B.P. (si l'on considère que les datations ^{14}C disponibles sont valides). Cette découverte atteste que le climat de l'Afrique

du nord a été suffisamment clément et surtout humide pour assurer la prospérité d'arbres dont certains ont quasiment disparu, comme *Abies numidica*, pendant que d'autres, (comme *Cedrus atlantica*) n'ont subsisté jusqu'à aujourd'hui que dans les zones d'altitude. Entre cette date et la fin du Tardiglaciaire – enregistrée dans le site montagnard de la Chataigneraie, vers 1000 m d'altitude [30] où une cédraie dense est remplacée par un boisement en chênes zéens à la fin du Dryas récent – aucune information n'était disponible jusqu'alors : le site de Garaat El-Ouez comble partiellement cette lacune et délivre un témoignage d'un court intervalle autour de 18 000 B.P., caractérisé par une pinède ouverte (certainement à pins d'Alep), comportant certainement des peuplements de cèdres, comme cela est suggéré par la courbe continue de *Cedrus* de notre enregistrement. Il faut remarquer également que le pin est extrêmement rare dans les séquences holocènes littorales en Algérie mais également en Tunisie (voir Magen Ben M'Hida in [26]) ; celui-ci s'efface généralement au profit de *Quercus canariensis* au début de l'Holocène. Seul le diagramme de Oum El-Khaled, à environ 500 m d'altitude, près de Tebessa [28] relate une prédominance du pin d'Alep associé au chêne vert jusqu'à environ 4000 B.P., puis une recrudescence de la steppe à alfa correspondant à une aridification pendant l'Holocène supérieur. La « forêt steppe pléniglaciaire » dont témoigne le site Garaat El-Ouez peut évoquer certains paysages actuels encore boisés en pins d'Alep des Aurès. Cela confirme que pendant la dernière période glaciaire la région d'El Kala était soumise à des températures moyennes annuelles bien inférieures aux actuelles et un abaissement de la pluviosité de 300 à 400 mm/an.

Le site de Bourdim est également riche d'enseignements, compte tenu de la rareté des archives paléocéologiques en Afrique du Nord. La forte représentation pollinique de *Myrtus communis* observée après 1977 ± 34 B.P. est originale car cette espèce est généralement présente dans les diagrammes péri-méditerranéens sous la forme de quelques occurrences. Seuls, quelques sites corses [41], espagnols [43,44] et tunisiens [27] ont enregistré des taux importants de *Myrtus*. Cet arbuste, caractéristique de matorrals méditerranéens, se développe préférentiellement sous climat méditerranéen humide à per-humide (zones à ripisylves) et prospère au sein de mosaïques d'arbustes et d'herbacées méditerranéens thermophiles.

À Bourdim, la recrudescence de *M. communis* pourrait être attribuée au développement de la zone humide, favorisée par une période climatique plus humide. D'après Leveau [45], l'Afrique du Nord à l'époque romaine était soumise à un climat comparable à l'actuel, mais caractérisé par des précipitations plus importantes : l'optimum du myrte (zone pollinique Bour-e, Fig. 2), postérieur à ca. 2000 B.P. témoignerait alors de ce climat plus humide. L'augmentation des taux de *Salix*, *Alnus glutinosa*, ou encore *O. regalis* indique également le développement local d'une ripisylve, dont la composition était probablement proche des phytocénoses à *Osmundo-Alnion* observées actuellement en Toscane, en Espagne, en Corse, Sardaigne et Sicile [46].

Une dégradation de la strate arbustive liée à des activités agropastorales, la compétition interspécifique,

et tout changement paléohydrologique a pu également conditionner la dynamique de *Myrtus* à proximité du site, et dans la région. En effet, l'enregistrement pollinique de Bourdim témoigne de phases récurrentes d'ouverture du milieu : à plusieurs reprises (zones polliniques Bour-b, Bour-c, Bour-d et Bour-f, Fig. 2) des taux significatifs de *Plantago* sp., associés à une recrudescence des Poaceae, des Asteroideae et des Apiaceae montrent que la dynamique végétale locale a certainement subi des perturbations d'origine anthropique, comme en témoignent les phases à *Olea* et à *Cerealia* observées dans le diagramme (Fig. 2, zones polliniques Bour-b et Bour-d).

Ces épisodes coïncident avec la diminution d'*Erica* (au profit de *Myrtus*) dont le déclin semble se précipiter vers 1977 ± 34 uncal. B.P. (1865 cal B.P.–1997 cal B.P.). Cette dégradation du paysage végétal correspond-t-elle à l'implantation romaine dans la région ? A-t-elle débuté antérieurement sous la domination phénicienne ? Ces questions restent ouvertes et nécessitent de nouvelles investigations incluant l'archéologie.

5. Conclusions

Ces nouvelles données confirment le rôle de refuge du nord-ouest du Maghreb pour les taxons mésophiles pendant la dernière glaciation. Une première hypothèse était qu'à partir de ces zones d'Algérie, le cèdre aurait migré vers le Maroc où il n'était pas connu avec certitude antérieurement à 4000 B.P. [19], mais de nouvelles données paléoécologiques et phylogéographiques tendent à démontrer la multiplicité des zones refuges au Maghreb [47]. Les récents travaux sur le lac d'Ifrach au Maroc [48] ont notamment montré qu'à la fin du Pléistocène, le climat du Moyen Atlas était caractérisé par des phases froides mais relativement humides, par conséquent favorables au maintien du cèdre et de la chênaie entre 24 000 et 12 000 B.P., probablement dans des stations isolées.

Compte tenu des incohérences des séries de datations ¹⁴C obtenues pour cette étude, il n'est pas envisageable d'aller plus loin dans l'interprétation chronologique des changements observés dans nos deux séquences. Ces dernières ont cependant montré les potentialités des zones humides de l'est algérien et incitent à une stratégie de prospections systématiques. En effet, alors que le rôle de refuges glaciaires joué par les péninsules nord-méditerranéennes a été abondamment discuté, celui de l'Afrique du nord, île méditerranéenne coincée entre le désert et la mer demeure presque inconnu, faute d'un jeu suffisant d'informations paléobiogéographiques. Localement, les grandes différences d'âge entre les remplissages de deux zones humides pourtant voisines imposent également des études géomorphologiques précisant l'origine de la mise en place de ces marais et des formations quaternaires qui leur sont associées. Il faudra (comme Stambouli en Tunisie) explorer des zones humides dans les différents étages de végétation de la région, du littoral perhumide jusqu'aux zones arides. Enfin, une connaissance plus approfondie de l'occupation humaine à l'Holocène en Afrique du Nord est nécessaire afin d'évaluer le rôle structurant des activités anthropiques sur le couvert

végétal algérien : seule la reprise d'investigations archéologiques permettrait d'améliorer ce point essentiel.

Références

- [1] P. Alpert, M. Baldi, R. Ilani, S. Krichack, C. Price, X. Rodo, H. Saaroni, B. Ziv, P. Kishcha, J. Barka, A. Mariotti, E. Xoplak, Relations between climate variability in the Mediterranean region and the tropics: ENSO, South Asian and African Monsoons, hurricanes and Saharan dust, in : P. Lionello, P. Malanotte-Rizzoli, R. Boscolo (Eds.), *Mediterranean Climate Variability*, Elsevier, Amsterdam, 2006, pp. 149–177.
- [2] O.E. Sala, F.S. Chapin III, J.J. Armesto, R. Berlow, J. Bloomfield, R. Dirzo, E. Huber-Sanwald, L.F. Huenneke, R.B. Jackson, A. Kinzig, R. Leemans, D. Lodge, H.A. Mooney, M. Oesterheld, N.L. Poff, M.T. Sykes, B.H. Walker, M. Walker, D.H. Wall, Global biodiversity scenarios for the year 2100, *Science* 287 (2000) 1770–1774.
- [3] F. Giorgi, P. Lionello, Climate projections for the Mediterranean region, *Global Planet. Change* 63 (2008) 90–104.
- [4] G. Jalut, A.E. Amat, S. Riera i Mora, M. Fontugne, R. Mook, L. Bonnet, T. Gauquelin, Holocene climatic changes in the western Mediterranean: installation of the Mediterranean climate, *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. IIA* 325 (1997) 327–334.
- [5] A. Pons, P. Quézel, À propos de la mise en place du climat méditerranéen, *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. III* 327 (1998) 755–760.
- [6] J.P. Mohen, Climat et Néolithisation de l'Europe méditerranéenne, *C. R. Palevol* 5 (2006) 453–462.
- [7] J.F. Berger, J. Guilaine, The 8200 cal BP environmental change and the Neolithic transition: a Mediterranean perspective, *Quater. Int.* 200 (2009) 31–49.
- [8] N. Myers, Biodiversity hotspots revisited, *Bioscience* 53 (2003) 916–917.
- [9] E. Vela, S. Benhouhou, Évaluation d'un nouveau point chaud de biodiversité végétale dans le Bassin méditerranéen (Afrique du Nord), *C. R. Biol.* 330 (2007) 589–605.
- [10] C. Giannakopoulos, P. Le Sager, M. Bindi, M. Moriondo, E. Kostopoulou, C.M. Goodess, Climatic changes and associated impacts in the Mediterranean resulting from a 2 °C global warming, *Global Planet Change* 68 (2009) 209–224.
- [11] X. Gao, F. Giorgi, Increased aridity in the Mediterranean region under greenhouse gas forcing estimated from high resolution simulations with a regional climate model, *Global Planet. Change* 62 (2008) 195–209.
- [12] N.J. Anderson, H. Bugmann, J.A. Dearing, M.J. Gaillard, Linking palaeoenvironmental data and models to understand the past and to predict the future, *Trends Ecol. Evol.* 21 (12) (2006) 696–704.
- [13] A. Ballouche, Paléoenvironnements de l'homme fossile Holocène au Maroc ; apport de la palynologie, Thèse de l'université de Bordeaux, 1986.
- [14] A. Ballouche, F. Damblon, Nouvelles données palynologiques sur la végétation holocène du Maroc. Institut français de Pondichéry, Tr. Sect. Sci. Tech. 25 (1988) 83–89.
- [15] J. Bernard, M. Reille, Nouvelles analyses polliniques dans l'Atlas de Marrakech, Maroc, Pollen et Spores XXIX (1-2-3) (1987) 225–240.
- [16] R. Cheddadi, H.F. Lamb, J. Guiot, S. Van-Der-Kaars, Holocene climatic change in Morocco: a quantitative reconstruction from pollen data, *Clim. Dynam.* 14 (1998) 883–890.
- [17] F. Damblon, Contribution pollenanalytique à l'histoire des forêts de Chêne liège au Maroc : la suberaie de Krimda, *Palaeoecol. A* 22 (1991) 171–182.
- [18] N. El-Hamouti, H.F. Lamb, J.C. Fontes, F. Gasse, Changements hydroclimatiques abrupts dans le moyen atlas marocain depuis le dernier maximum glaciaire, *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. II* 313 (1991) 259–265.
- [19] H.F. Lamb, U. Eicher, V.R. Switsur, An 18000-year record of vegetation, lake-level and climatic change from Tigmamine, Middle Atlas, Morocco, *J. Biogeogr.* 16 (6) (1989) 5–74.
- [20] M. Reille, Analyse pollinique de sédiments postglaciaires dans le Moyen Atlas et le Haut Atlas marocains : premiers résultats, *Ecologia Mediterranea* 2 (1976) 153–170.
- [21] M. Reille, Contribution pollenanalytique à l'histoire de la végétation des montagnes du rif (Maroc septentrional), *Suppl. Bull. Ass. Fr. Étude Quaternaire* (1977) 53–76.
- [22] B. Ben Tiba, Cinq millénaires d'histoire de la végétation à Djebel El Ghorra, Tunisie septentrionale *Publ. Occas. CIFEG Orléans* 31 (1995) 49–55.
- [23] B. Ben Tiba, Relations pluie pollinique-végétation en Kroumirie (Tunisie Septentrionale), *Ecologia Mediterranea* VIII 4 (1982) 62–73.
- [24] B. Ben Tiba, M. Reille, Recherche pollenanalytiques dans les montagnes de Kroumirie (Tunisie Septentrionale) : premiers résultats, *Ecologia Mediterranea* VIII (4) (1982) 76–86.

- [25] F. Dambon, C. Vanden Berghen, Étude paléo-écologique (pollen et macrorestes) d'un dépôt tourbeux dans l'île de Djerba, Tunisie méridionale, *Palynosciences* 2 (1993) 157–172.
- [26] S. Stambouli, Évolution de l'Environnement en Tunisie Septentrionale à l'holocène : Etude palynologique et micropaléontologique de la séquence sédimentaire de Majen El Orbi, Mémoire de DEA Université de Liège Belgique, 1997.
- [27] S. Stambouli-Essassi, Étude palynologique en Tunisie septentrionale et reconstitution de l'évolution de l'environnement de 40 000 ans à l'époque présente, Thèse Université de Liège Belgique, 2003.
- [28] J.C. Ritchie, Analyse pollinique des sédiments Holocène supérieur des hauts plateaux du Maghreb Oriental, *Pollen et spores* XXVI (3–4) (1984) 489–496.
- [29] M. Salamani, Premières données palynologiques sur l'histoire Holocène du massif de l'Akfadou grande Kabylie, Algérie, *Ecologia Mediterranea* XVII (1991) 145–159.
- [30] M. Salamani, Premières données paléophytogéographiques du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*) dans la région de Grande Kabylie NE Algérie, *Palynosciences* 2 (1993) 147–155.
- [31] M. Benslama, Étude pollen analytique de quelques marais tourbeux de l'Algérie Nord Orientale : « cas du lac Noir, de Nechaa Righia, et du marais d'El-Ghoura ». XVII^e symposium de l'Association des Palynologues de Langue française Arles 24–26 septembre 2001.
- [32] P. Joleaud, Carte géologique détaillée au 1/50 000, feuille de Blandan + notice, Carte du service géologique de l'Armée Impériale, (1946) Typo. litho et J.C. Alger.
- [33] G. de Belair, Structure, fonctionnement et perspectives de gestion de quatre eco-complexes lacustres et marécageux (El-Kala, est algérien), Thèse de doctorat, (U.S.T.L.) Montpellier, 1990.
- [34] P.C. Jowsey, An improved peat sampler, *New Phytol.* 65 (1966) 245–248.
- [35] K. Faegri, J. Iversen, Textbook of pollen analysis, Blackwell Scientific Publication, Oxford, 1964.
- [36] C. Goeury, J.L. de Beaulieu, À propos de la concentration du pollen à l'aide de la liqueur de Thoulet dans les sédiments minéraux, *Pollen et Spores* 21 (1) (1979) 239–251.
- [37] M. Reille, Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord, Éditions Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie, Marseille, 1992.
- [38] M. Stuiver, P.J. Reimer, Extended 14C and revised CALIB radiocarbon calibration program, *Radiocarbon* 35 (1993) 215–230.
- [39] P.J. Reimer, M.G.L. Baillie, E. Bard, A. Bayliss, J.W. Beck, P.G. Blackwell, C. Bronk Ramsey, C.E. Buck, G.S. Burr, R.L. Edwards, M. Friedrich, P.M. Grootes, T.P. Guilderson, I. Hajdas, T.J. Heaton, A.G. Hogg, K.A. Hughen, K.F. Kaiser, B. Kromer, F.G. McCormac, S.W. Manning, R.W. Reimer, D.A. Richards, J.R. Southon, S. Talamo, C.S.M. Turney, J. van der Plicht, C.E. Weyhenmeyer, *IntCal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0–50,000 years cal BP*, *Radiocarbon* 51 (2009) 1111–1150.
- [40] E.C. Grimm, CONISS: a fortran 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares, *Comput. Geosci.* 13 (1987) 13–35.
- [41] M. Reille, New pollen-analytical researches in Corsica: the problem of *Quercus ilex* L. and *Erica arborea* L., the origin of *Pinus halepensis* Miller forests, *New Phytol.* 122 (1992) 359–378.
- [42] S. Martin, F. Magnin, Du paléoenvironnement au paléopaysage : peut-on reconstituer les paysages anciens et leur évolution à partir de données paléocologiques ? Apports de l'analyse malacologique dans un paysage actuel méditerranéen (Sud-Est de la France). Paysages et Environnement, De la reconstitution du passé aux modèles prospectifs Galop (D.) dir. – Besançon, Presses universitaires de Franche-Comté. *Annales Littéraires ; Série « Environnement, sociétés et archéologie »* (2008) 15–30.
- [43] A.C. Stevenson, Studies in the vegetational history of S.W. Spain. II. Palynological investigations at Laguna de Las Madres, S.W. Spain, *J. Biogeogr.* 12 (1985) 293–314.
- [44] J. Carrion, M. Munuera, C. Navarro, The palaeoenvironment of Carihuela Cave (Granada, Spain): a reconstruction on the basis of palynological investigations of cave sediments, *Rev. Palaeobot. Palyn.* 99 (3–4) (1998) 317–340.
- [45] P. Leveau, Les conditions environnementales dans le nord de l'Afrique à l'époque romaine. Contribution historiographique à l'histoire du climat et des relations homme/milieu, Hermon Ella, Sociétés et climats dans l'Empire romain, Pour une perspective historique et systémique de la gestion des ressources en eau dans l'Empire romain, Éditoriale Scientifica, Naples, Italie, 2009, pp. 309–348.
- [46] M. Landi, C. Angiolini, Osmundo-Alnion woods in Tuscany (Italy): a phytogeographical analysis from a west European perspective, *Plant Biosyst.* 144 (1) (2010) 93–110.
- [47] R. Cheddadi, B. Fady, L. François, L. Hajar, J.P. Suc, K. Huang, M. Demarteau, G.G. Vandrarnin, E. Ortu, Putative glacial refugia of *Cedrus atlantica* deduced from Quaternary pollen records and modern genetic diversity, *J. Biogeogr.* 36 (2009) 1361–1371.
- [48] A. Rhoujjati, R. Cheddadi, M. Taïeb, A. Baali, E. Ortu, Environmental changes over the past c. 29,000 years in the Middle Atlas (Morocco): a record from Lake Ifrah, *J. Arid Environ.* 74 (2010) 737–745.