

ÉTUDE PÉDO-ANTHRACOLOGIQUE DANS LA RÉGION DE TOUFLIHT
(HAUT ATLAS MAROCAIN) : MISE EN ÉVIDENCE D'UN PALÉO-INCENDIE ET
D'UN CHANGEMENT DE LA COUVERTURE FORESTIÈRE VERS 4500 – 4000 BP
(5300 – 4200 CAL. BP)

Hasna TAHIRI^{1,3*}, Thierry OTTO², Mohamed EDDOUKS³, Jean-Claude REVEL⁴, Guy JALUT²,
Mohamed ALIFRIQUI¹, Thierry GAUQUELIN⁵ & Mohamed HAFIDI^{1*}

SUMMARY.— *Pedo-anthracological study in Toufliht area (Moroccan High Atlas): Evidence of a palaeo-fire and a change in forest cover around 4500 – 4000 BP (5300 – 4200 Cal. BP).*— A pedological and anthracological study carried out in the Moroccan High Atlas mountains on the soil profile along a slope currently occupied by *Quercus ilex* subsp. *ballota* (Desf.) Samp., allowed us to reconstruct its history and to account for changes in vegetation after major events whether climatological or anthropogenic. The analysis of the profile reveals two superimposed soils. The organic matter at the base of the slope (1400 m) shows an abnormal distribution with a deep horizon (55 – 70 cm) enriched in organic matter including many fragments of charcoal, which indicate a fire dated at 4300 – 4100 cal. BP. This horizon represents the old soil surface covered by colluviation on which a new soil has formed. The latter represents a surface organic horizon which is rich in charcoal dating back to 80 cal. BP. The anthracological study shows the existence of charcoal of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) dating back at about 3800 years BP (about 4300 – 4100 cal. BP). The presence of this species, whose current upper limit is located at about 200 m lower down, indicates the existence of fires occurring during dry periods already revealed in the western Mediterranean between 5300 and 3400 cal. BP. The other plant remnants indicate a vegetation consisting mainly of *Cistus* sp. and *Quercus* sp. This study shows, thus, the salient role of Mediterranean forest fires in the spatial-temporal redistribution phenomena of plant species and also in the dynamics of terrestrial ecosystems.

RÉSUMÉ.— Des analyses pédologiques et anthracologiques réalisées dans le Haut Atlas Marocain sur un profil de sol d'un versant, actuellement occupé par *Quercus ilex* subsp. *ballota* (Desf.) Samp., permettent de reconstituer l'histoire de ce versant et de rendre compte de l'évolution de la végétation suite à des événements majeurs climatiques ou anthropiques. L'analyse d'un profil montre deux sols superposés. L'étude de la matière organique à la base du versant (1450 m) montre une distribution anormale avec un horizon profond (55 – 70 cm) enrichi en matière organique dans lequel on retrouve de nombreux charbons de bois, qui renseignent sur un incendie daté de 4300 – 4100 cal. BP. Cet horizon représente l'ancienne surface du sol recouverte par des colluvionnements sur lesquels s'est développé un autre sol. Ce dernier présente un horizon organique de surface également riche en charbon de bois daté environ 80 cal. BP. L'étude anthracologique montre la présence de charbons de Pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) datés d'environ 3800 ans BP (environ 4300 – 4100 cal. B.P.). La présence de cette essence, dont la limite supérieure actuelle est située environ 200 m plus bas, traduit l'existence d'incendies se produisant lors des périodes sèches déjà révélés

¹ Laboratoire Écologie et Environnement (Unité associée au CNRST, URAC 32 ; Unité associée au CNER), Faculté des Sciences Semlalia, Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc.

² UMR 5245 CNRS/INP/UPS, Bât. 4 R1, Université Paul Sabatier, 118 Route de Narbonne, 31062 Toulouse Cedex 04, France.

³ Faculté des Sciences et Techniques, Université Moulay Ismail, Errachidia, Maroc

⁴ UMR 5245 CNRS/INP/UPS ENSAT-INP, Auzeville-Tolosane, Castanet-Tolosan, 31326-France.

⁵ Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie. UMR 7263 CNRS, 237 IRD, Université d'Aix-Marseille, 13331 Marseille Cedex 03 France.

* Correspondance à : hafidi.ucam@gmail.com ; Tel/Fax : +(212) 5 24 43 76 65.

dans le bassin méditerranéen occidental entre 5300 et 3400 cal. B.P. Les autres restes végétaux reflètent une végétation constituée essentiellement de *Cistus* sp. et de *Quercus* sp. Cette étude montre ainsi le rôle important des incendies des forêts méditerranéennes dans les phénomènes de redistribution spatio-temporelle des espèces végétales et dans la dynamique des écosystèmes terrestres.

La région méditerranéenne, en raison de son extension, de la complexité de ses reliefs et de sa diversité climatique, est une région exceptionnelle pour la diversité du couvert végétal. Depuis 10 000 ans en Méditerranée orientale, l'action anthropique a joué un rôle important dans la dégradation de ces écosystèmes. L'impact de cette dégradation s'est produit plus tard, depuis environ 7500 – 7000 ans, en Méditerranée occidentale (Jalut *et al.*, 2009). Cependant, au cours de l'Holocène, les changements majeurs du couvert végétal dans tout le bassin méditerranéen n'ont pu être causés par l'homme seulement (Sadori, 2007). À l'action anthropique s'ajoute l'action des variations climatiques. Au cours de l'Holocène tardif l'utilisation des terres et des nouvelles techniques agricoles, ainsi que la croissance démographique, ont accentué les contraintes des effets climatiques sur le couvert végétal (Jalut *et al.*, 2000).

L'histoire de la végétation du Maghreb commence progressivement à être connue, surtout au Maroc, en Tunisie et en moindre mesure en Algérie (Reille, 1976, 1977, 1979 ; Ben Tiba & Reille, 1982 ; Brun, 1989 ; Lamb *et al.*, 1989 ; Salamani, 1993 ; Ballouche, 2001). Plusieurs sites de montagne, au Maroc, et Rif et Moyen Atlas, et en Algérie, Djurdjura, montrent que les steppes ou les cédraies jusque-là dominantes, sont alors remplacées par d'autres formations, souvent à base de chênes à feuillage caduc. En Kroumirie tunisienne, le même processus a probablement aussi eu lieu. Le Chêne vert, présent dès la fin du Pléistocène, reste généralement subordonné, au début de l'Holocène, au Chêne zéen, sauf dans certaines régions du Haut Atlas marocain, où ce sont plutôt des formations à Chêne vert et de Pin d'Alep qui se développent à ce moment-là (Reille, 1976, 1977, 1979 ; Ben Tiba & Reille, 1982 ; Salamani 1993 ; Ballouche, 2001).

L'un des facteurs déterminants des évolutions environnementales et paysagères de l'Holocène, point de rencontre des dynamiques naturelles et anthropiques, semble bien être le feu. L'enregistrement d'incendies fréquents et répétés est parfois ancien, dès le début de l'Holocène dans les steppes du Maroc oriental et des hauts plateaux. Ils se matérialisent par des niveaux charbonneux qui ont parfois été interprétés, à tort, comme des paléosols (Ballouche, 1986).

Les sites humides du Haut Atlas Marocain vulnérables par leur structure, leur fonctionnement écologique et leur état de conservation, se trouvent très touchés par les changements climatiques et les mutations environnementales récentes (Alaoui Haroni *et al.*, 2009). Il est difficile de reconstituer l'histoire forestière de cette région, du fait de l'absence d'études paléobotaniques. La présente étude s'inscrit dans une problématique visant à caractériser l'action climatique et anthropique afin d'expliquer la structure du paysage actuel de notre site d'étude : un versant du Haut Atlas Marocain à moyenne altitude. Elle a pour objectifs de :

- (1) - déterminer la composition du cortège floristique en espèces ligneuses actuelles ;
- (2) - déterminer la composition de la végétation ligneuse passée, en se basant sur la datation du charbon de bois, en la comparant à la végétation actuelle ;
- (3) - mieux comprendre l'action du feu et de l'Homme dans la dynamique de la végétation, et d'essayer de reconstituer l'histoire de la végétation et des sols.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

CARACTÉRISTIQUES DE LA STATION ÉTUDIÉE

Le site d'étude est situé près de la localité de Toufliht (7° 26' N, 31° 28' W) (Fig. 1a et b) sur le versant nord du Haut Atlas à 70 km au sud-est de Marrakech (Maroc), sur la route principale reliant Marrakech à Ouarzazate. Il s'agit d'un versant en pente assez forte (50 à 60 %) sur lequel le substrat géologique reste inchangé entre le sommet et la partie la plus basse du site d'étude. La nature lithologique de cette localité est de type paléosol (Fig. 1b), constitué

L'observation et la détermination des charbons ont été réalisées à l'aide d'un microscope épiscopique selon les trois plans ligneux classiques (plan transversal, radial et tangentiel). Les plus gros échantillons ont été cassés pour présenter des faces d'observation nettes, les plus petits pouvant être nettoyés à l'acide fluorhydrique.

Les critères de détermination sont ceux proposés par IAWA Committee (2004) et les références utilisées sont celles de Schweingruber (1990) et Vernet *et al.* (2001). Dans le cas de ces charbons pédologiques, la méthode utilisée pour l'identification des charbons est celle de Thimon (1992). Elle ne diffère des précédentes que par la prise en compte des charbons les plus petits et elle propose une liste de caractères plus complète.

Les poids donnés sont ceux des échantillons de sols secs, débarrassés des éléments de diamètre supérieur à 5 mm, et sur lesquels ont porté les analyses pédoanthracologiques. Nous avons analysé trois prélèvements qui contenaient tous du charbon de bois.

Seuls trois des six horizons pédologiques reconnus et décrits dans cette station ont été prélevés et ont fait l'objet de cette analyse : l'horizon H2 (10-25 cm) (poids sec 3,751 kg) ; l'horizon H3 (25-45 cm) (poids sec 1,317 kg) ; l'horizon H5 (55-70 cm) (poids sec 11,543 kg).

RÉSULTATS

VÉGÉTATION ACTUELLE

Dans la station étudiée le Chêne vert (*Quercus ilex* L.) est l'arbre le plus abondant. Son recouvrement est supérieur à 95 %. Les arbres sont de taille moyenne, entre 4 et 6 m. Le Genévrier oxycedre (*Juniperus oxycedrus* L.) est la seule forme arborescente associée au Chêne vert (Tab. I).

DESCRIPTION DU SOL ÉTUDIÉ

Les caractéristiques du profil étudié (Fig. 2) sont les suivantes :

H1 (0-5 cm) : horizon organominéral, couleur rouge sombre (2,5 YR 3/2) ; texture sableuse ; structure polyédrique sub-angulaire à finement grenue peu cohérente ; ensemble de sables et de pelotes fécales d'invertébrés humivores ; pores d'entassement très nombreux et fins.

H2 (5-10 à 25 cm) : horizon d'épaisseur variable de 5 à 20 cm, couleur rouge (10R 4/6) dominante avec amas plus organiques à limites assez nettes de quelques centimètres de diamètre de couleur (10 R 4/3) ; sableux ; taux de structuration moyen à polyédrique angulaire ; pores tubulaires infra millimétriques peu nombreux ; quelques galeries de vers ; quelques charbons de bois ; peu de racines ; limite avec l'horizon inférieur très nette soulignée par place à la base des cailloux anguleux.

TABLEAU I

Liste des espèces ligneuses de la station étudiée

Taxons
<i>Asphodelus ramosus</i> L.
<i>Carex halleriana</i> Asso
<i>Chamaerops humilis</i> L.
<i>Cistus creticus</i> L.
<i>Cistus laurifolius</i> L.
<i>Cistus monspeliensis</i> L.
<i>Cistus salviifolius</i> L.
<i>Dittrichia viscosa</i> (L.) Greuter
<i>Juniperus oxycedrus</i> L.
<i>Lavandula pedunculata</i> subsp. <i>atlantica</i> (Br.-Bl & Maire) Romo
<i>Onopordum</i> sp.
<i>Ptilostemon casabonae</i> (L.) Greuter
<i>Quercus ilex</i> subsp. <i>ballota</i> (Desf.) Samp.
<i>Viburnum tinus</i> L.

TABLEAU II

Résultats des analyses physico-chimiques du sol étudié

	Texture (%)						pH	C (%)	N (%)	C/N	Complexe absorbant meq/100g			
	SG	SF	LG	LF	A	eau					kCl	Ca++	K+	Mg++
H1 (0 - 5 cm)	52,5	21,2	3,5	9,2	13,6	7,1	6,1	5,17	0,34	15,21	24,59	0,053	2,75	27,39
H2 (5 - 15 cm)	41,1	33,8	5,5	8,4	11,2	6,7	5,4	2,01	0,09	22,33	6,87	0,05	1,02	7,94
H3 (15 - 45 cm)	31,1	30,3	6,6	13,6	18,4	6,7	5,4	3,72	0,27	13,78	10,46	0,047	1,21	11,72
H4 (45 - 55 cm)	31,6	25,7	8,4	15,1	19,1	6,7	5,2	2,69	0,19	14,16	6,92	0,046	2,68	9,65
H5 (55 - 70 cm)	34,7	27,8	7,9	14,4	15,2	6,9	5	1,45	0,09	16,11	6,71	0,044	1,52	8,27
H6 (70 - 90 cm)	51,2	18,4	5,9	10,8	13,7	5	4,3	0,8	0,08	10,00	4,46	0,044	1,33	5,83

SG, Sables grossiers ; SF, Sables fins ; LG, Limons grossiers ; LF, Limons fins ; A, Argiles.

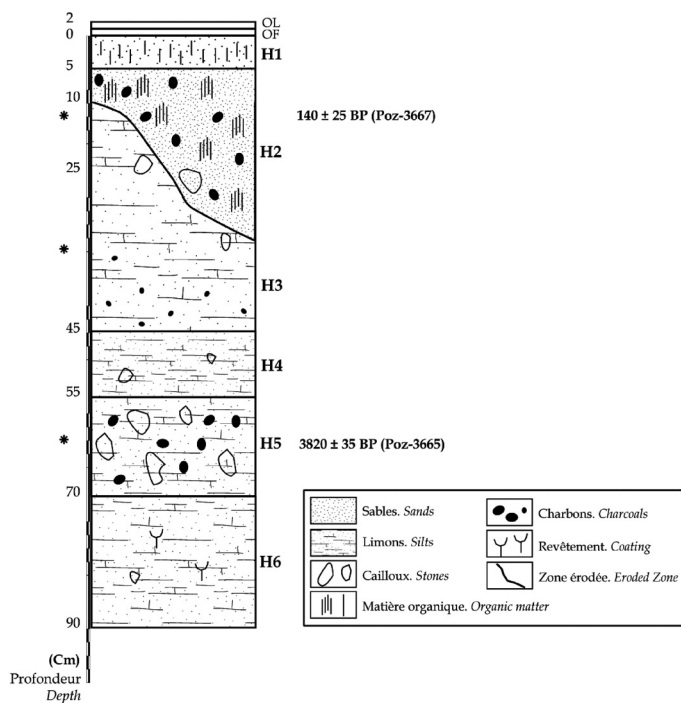


Figure 2.— Description du profil observé. Les horizons ayant fait l'objet d'une étude anthracologique sont signalés par une étoile (*).

H3 (10 à 25-45 cm) : couleur noir rougeâtre (10 R 0/1) ; limoneux, quelques cailloux anguleux ; taux de structuration élevé, grenue à polyédrique sub-angulaire ; les pores d'entassement sont très nombreux ; de nombreuses racines fines sont présentes.

H4 (45-55 cm) : horizon de transition bigarré ; couleur gris noir-rougeâtre (10R 3/1) à rouge clair (10 R 4/3) en amas centimétriques à décimétriques irréguliers et à limites diffuses ; les zones claires sont limono-sableuses et les zones plus foncées sont limoneuses ; structure polyédrique angulaire ; pores tubulaires très nombreux (2000/dm²) ; quelques galeries de vers ; nombreuses racines, de grosses (3cm de diamètre) à très fines (inférieures à 0,2 mm) ; quelques cailloux anguleux.

H5 (55-70 cm) : couleur rouge clair (10 R 4/2,5) ; texture limono-sableuse ; structure polyédrique angulaire grossière, pores tubulaires (1000/dm²) ; nombreuses racines de grosses (2 cm) à très fines (quelques mm) ; très nombreux cailloux anguleux.

H6 (70-90 cm) : horizon plus clair, cailloux fragiles et arrondis plus nombreux et revêtements argileux sur les faces des agrégats.

CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DU SOL ÉTUDIÉ

Les résultats sont présentés dans le Tableau II. Les cations échangeables sont fortement dominés par le calcium. La teneur en carbone augmente dans l'horizon 3 (10 à 25-45 cm de profondeur). En aucun cas il ne peut s'agir de l'horizon Bh d'un podzsol au vu des pH acides. Il faut donc admettre qu'il s'agit d'un ancien horizon A maintenant enterré.

On remarque que les horizons les plus riches en matière organique sont aussi les plus riches en argiles. Comme il s'agit de deux sols superposés, l'argile peut être produite à partir des quelques minéraux primaires altérables contenus dans le grès.

Les pH compris entre 6 et 7 indiquent un taux de saturation de la capacité d'échange élevé, seuls les horizons profonds du profil ont un pH acide, égal à 5, entre 70 et 90 cm.

LES DATATIONS AU ¹⁴C

L'horizon supérieur H2 (niveau 5-25) contient des charbons d'âge récent (140 ± 25 BP). Par contre, l'horizon profond H5 (55-70cm), est riche en charbons de bois plus anciens, dont un daté d'environ 3800 ± 35 BP (Tab. III).

TABLEAU III

Datations des charbons de bois (Calib Rev 5.1 bêta., Stuiver & Reimer, 1993)

Echantillon N°	Profondeur (cm)	Matériel daté	Méthode de datation	Age Radiocarbone	Années calibrées
				¹⁴ C yr BP	± 2
POZ-3665	55 – 70	Charbon de bois	conv	3820 ± 35	4141/4300
POZ-3667	5 – 25	Charbon de bois	conv	140 ± 25	60/152

ANALYSE ANTHRACOLOGIQUE

Cette analyse a donné les résultats suivants :

Horizon H2

Quercus ilex est présent avec bois, glands et cupules, fruits de cistacées, deux légumineuses dont une vue dans le sondage effectué et quelques ND (non déterminés). 70 % des charbons sont du *Q. ilex* et beaucoup sont vitrifiés. Au niveau de cet horizon, plus de 50 fragments ont été examinés dont 37 fragments de charbons de bois.

Horizon H3

25 fragments ont été examinés et sont essentiellement du *Quercus ilex* et des petits ligneux non déterminables.

Horizons H5

Nombreux fragments de *Pinus halepensis*, 30 fragments examinés sous le microscope et plus de 40 observés au binoculaire, quelques ND et absence de *Quercus*.

DISCUSSION

RECONSTITUTION DE L'ÉVOLUTION LOCALE

D'après les résultats de la datation des charbons de bois, la présence de charbons d'âge récent (140 ans) dans l'horizon H2 (niveau 5-25 cm) témoigne d'incendies sans doute généralisés sur l'ensemble du versant, y compris pour les plus hautes altitudes. La surface ancienne de la station étudiée est colluvionnée, ce qui explique que les charbons de ces incendies soient maintenant légèrement enfouis.

En ce qui concerne l'horizon H5 (55-70 cm), riche en charbons de bois, dont un daté d'environ 3800 ans BP (environ 4300 – 4100 cal. B.P.), traduit des incendies anciens ayant touchés au moins la base du versant

Les résultats de l'étude pédoanthracologique montrent que l'horizon (H2) est caractérisé par la présence de nombreux fragments végétaux dont certains sont carbonisés et d'autres non. On y reconnaît du bois, des glands et des cupules de Chêne vert ainsi que des fruits de cistacées. Cette analyse montre également la présence de deux légumineuses et quelques charbons non déterminés. 70 % des charbons de bois sont de type *Quercus ilex* et sont vitrifiés. On peut supposer que cet horizon correspond à une chênaie ouverte mature à cistacées et légumineuses, semblable à la végétation actuelle.

Dans l'horizon H3 on note la dominance de *Quercus ilex* et quelques ligneux non déterminables. Cette formation pourrait représenter une chênaie avec sous-bois relativement fermé dont la dégradation par l'ouverture aurait pu conduire à la végétation actuelle.

Dans l'horizon profond (H5), les fragments examinés révèlent la présence de *Pinus halepensis* et d'angiospermes dicotylédones et de quelques espèces non déterminées. Aucun fragment ne correspond au genre *Quercus*.

Entre l'horizon H5 et les deux autres horizons (H2 et H3) on note une nette dichotomie ; c'est comme s'il manquait la phase d'installation de la chênaie. En ce qui concerne l'horizon de surface, la chênaie ouverte est en cours de dégradation ce qui est conforme à l'observation actuelle de la végétation. D'où l'hypothèse qu'une formation végétale ne comprenant pas de *Q. ilex* (ou alors rare) mais essentiellement une angiosperme dicotylédone et quelques Pins d'Alep. Un horizon analogue à (H5) occupe la base du versant vers 4200 ans BP. Ceci peut indiquer qu'il s'agit d'un sol très ancien avec une formation de Pin d'Alep à cette époque. À cette formation succède une chênaie avec un sous-bois (H3) relativement fermé.

La nette dichotomie entre le niveau H5 et les deux niveaux supérieurs (H2 et H3) permet de penser que ce changement est intervenu vers 4200 cal. B.P., suite à la destruction par le feu de la pinède ultérieurement remplacée par une chênaie verte proche de l'actuelle.

Cette interprétation est à nuancer en fonction de la nature des sols encaissants car si les niveaux profonds ou supérieurs sont colluvionnés, les hypothèses de successions locales de végétations sont à réinterpréter en fonction des lieux de dépôts et des phases de colluvionnements. Un nouveau sol s'est développé, et le même phénomène s'est répété il y a un siècle.

Les cailloux de l'horizon profond (H6) montrent qu'ils ont subi une intense pédogenèse pour que l'altération leur donne leur fragilité et leur forme arrondie. Par contre les éléments grossiers anguleux présents dans les horizons supérieurs indiquent une mise en place par remaniement (colluvionnement sur le versant) de matériaux issus de l'amont à une époque récente. De plus, ces mêmes horizons profonds, avec des revêtements argileux sur les faces des agrégats montrent qu'il y a un début de lessivage des argiles dans les horizons supérieurs, maintenant disparus et remplacés par des matériaux plus récents. Le pH de ces horizons atteignant 5 est compatible avec des phénomènes de lessivage. L'horizon H5, colluvionné, contient du charbon

de bois âgé de 4300 – 4100 cal. BP. Sur ces colluvions est développé un autre sol (horizons H3 et H4) avec un horizon de surface H2 enrichi en matière organique. La limite entre les horizons 2 et 3 est brutale et irrégulière évoquant encore des successions des phases de creusement et de comblement. Les charbons de bois contenus dans l'horizon H2 donnent un âge de 106 cal. BP.

Ce profil nous permet de reconstituer les événements qui se sont succédé au niveau de cette station étudiée :

Une longue période de pédogenèse, sans doute, sous une végétation dense qui protégeait le sol de l'érosion, a conduit à l'altération des grès et au lessivage des argiles. Il y a environ 4200 ans, une série d'incendies a fait disparaître la végétation du versant constituée de Pin d'Alep, le sol laissé nu a été érodé. Des matériaux issus de l'amont et contenant des débris de l'incendie (charbons de bois) ont recouvert la partie profonde encore en place du sol ancien. Un nouveau sol s'est développé, sans doute sous une végétation héliophile analogue à celle que l'on retrouve après l'incendie, permettant l'altération de quelques minéraux primaires ainsi que l'enrichissement en carbone de l'horizon supérieur. Le même phénomène s'est répété il y a environ un siècle. Aucun arbre ne paraît avoir plus de 100 ans dans la végétation actuelle.

SYNTHÈSE À L'ÉCHELLE DE LA MÉDITERRANÉE

D'après Jalut *et al.* (2009), l'Holocène est une période d'instabilité climatique, caractérisée par trois phases correspondant à des couverts végétaux très différents. La dernière phase a commencé vers 4500 – 4000 cal. BP et est caractérisée par sa sécheresse. Magny *et al.* (2002) ont distingués deux phases dans la région méditerranéenne occidentale dans la période de l'Holocène ; l'une est caractérisée par des conditions plus fraîches et la seconde par l'assèchement du climat. La période 5500 – 4500 ans BP semble être la phase de transition des conditions les plus humides à des conditions plus sèches.

Le développement optimal des formations forestières méditerranéennes devait être atteint entre 7000 et 6000 ans avant l'actuel. C'est à cette époque qu'on peut parler du climax, en particulier dans l'étage méso-méditerranéen comme les chênaies caducifoliées dans le Rif occidental, la grande Kabylie, ainsi que dans le Moyen voire le Haut Atlas au sud de Marrakech ou les subéraies du Maroc nord occidental (Reille, 1976, 1977, 1979 ; Bernard & Reille, 1987 ; Lamb *et al.*, 1989 ; Salamani, 1993).

Yll *et al.* (1997) ont considéré la période comprise entre 5000 et 4000 ans BP comme une phase très chaude marquée par un changement fort de la composition végétale, cette dernière mieux adaptée aux conditions méditerranéennes.

Perez-Obiol *et al.* (2011) ont constaté des changements dans le climat et la végétation entre 7000 et 4000 cal. BP et la mise en place du climat méditerranéen est reflétée par le processus d'aridification. Ces mêmes auteurs ont proposé trois phases de l'Holocène : une phase humide (12000 – 7000 cal. BP), une phase de transition (7000 – 5500 cal. BP) et une troisième phase d'aridification (5500 cal. BP à présent). Le même résultat a été signalé par Jalut *et al.* (2009) et par Magny *et al.* (2002).

CAUSES CLIMATIQUES/ANTHROPIQUES

La forêt était stable avant les premiers incendies qui sont datés pour notre versant d'environ 4220 ans. Cette date est considérée en Méditerranée comme une période d'assèchement (Jalut *et al.*, 2000), ce qui est compatible avec l'apparition d'incendies (Carcaillet, 1998 ; Carcaillet *et al.*, 2009 ; Mayewski *et al.*, 2004) qui auront plus d'impacts sur la biodiversité. Ils ont perturbé l'équilibre édaphique dans cette station par des phénomènes d'érosion-colluvionnement.

Des espèces végétales pionnières de type cistes se sont installées par la suite vers une forêt à chêne avec un sous-bois fermé. Une deuxième série d'incendies a parcouru le versant et le système s'est reproduit. Cet épisode aride était une réponse à des changements climatiques plus globaux et a déterminé les changements de la couverture de végétation. L'activité anthropique a assurément augmenté les changements de végétation, mais néanmoins cette dernière a pu s'adapter à ces nouvelles conditions climatiques (Jalut *et al.*, 2000).

L'absence de Pin peut s'expliquer par la succession altitudinale de la végétation qui voit le Chêne vert succéder au Pin d'Alep en altitude car ce dernier est plus thermophile. Actuellement le Pin d'Alep est représenté par des plantules âgées de quelques années seulement essentiellement à des altitudes plus hautes. Cela peut indiquer une migration altitudinale des étages de végétation.

La succession Pin/Chêne après 4300 – 4100 cal. BP semble indiquer une stabilisation des conditions climatiques et une amélioration de ces dernières à la fin d'une phase sèche marquée par les incendies. Au cours de l'Holocène, ces périodes d'aridification vers 4000 – 4500 ans BP (5300 – 4200 cal. B.P.) puis 3700 – 3300 BP (4300 – 3400 cal. BP), décrites par Fontugne *et al.* (1994), Jalut *et al.* (1997, 2000, 2009), Magny *et al.* (2002), Mayewski *et al.* (2004), Perez-Obiol *et al.* (2011), et Schilman *et al.* (2001) conduisent à la fois à un développement du Pin d'Alep, adapté à cette aridification et d'espèces pionnières s'installant après les incendies. Durant la phase ultérieure plus humide et sans incendies importants se redéveloppe la chênaie verte. L'impact anthropique contribue ensuite à son ouverture et à sa dégradation jusqu'au faciès actuel.

L'importance de l'impact de l'homme et du climat sur les changements des composantes de l'environnement a été révélé par plusieurs auteurs (de Beaulieu *et al.*, 2005 ; Oldfield & Dearing, 2003). Grâce à plusieurs études palynologiques, le couvert végétal actuel peut être étudié et comparé à celui du passé, afin de trouver la relation entre la végétation et l'installation du climat méditerranéen (Huntley & Prentice, 1988 ; Huntley *et al.*, 1989 ; Huntley, 1990a,b ; Kelly & Huntley, 1991 ; Terral & Arnold-Simard, 1996 ; Jalut *et al.*, 1997, 2000 ; Terral & Mengüal, 1999 ; Sadori & Narcisi, 2001). Dans plusieurs zones de la région méditerranéenne, les changements de la végétation ont ainsi précédé de plusieurs millénaires ceux du climat, à cause de l'impact humain sur la forêt (Sadori & Narcisi, 2001 ; Roberts *et al.*, 2001).

L'analyse anthracologique a montré la présence de légumineuses. Cependant, on a constaté leur absence totale dans les relevés de la végétation actuelle. Ceci peut être expliqué par la forte sensibilité des espèces de cette famille aux conditions climatiques actuelles et à la pression anthropique.

Le Chêne-liège *Quercus suber* est présent sous forme de grands et vieux arbres éparpillés au milieu de la chênaie verte malgré son absence dans la station étudiée. Cela peut donner l'idée que l'installation de *Quercus ilex* a été précédée par la présence de *Quercus suber*.

Vernet *et al.* (2005) ont constaté que la forêt n'a pas échappé à l'anthropisation et elle subissait une succession d'incendies avec une accélération de l'érosion. L'étagement naturel de la végétation en région montagneuse a été profondément modifié par l'action anthropique au cours des derniers millénaires (Ozenda, 1985). L'une des conséquences est une baisse altitudinale de la limite supérieure de la végétation ligneuse notamment dans la partie occidentale de l'arc alpin, où de nombreuses études ont eu lieu (de Beaulieu, 1977 ; Wegmüller, 1977 ; Burga, 1988 ; Ponel *et al.*, 1992 ; David, 1993, 1995 ; Tessier *et al.*, 1993). Ce sont les facteurs climatiques qui étaient en grande partie responsables du changement dans la couverture de végétation. Cela a été signalé par d'autres auteurs (Huntley & Prentice, 1988 ; Huntley *et al.*, 1989 ; Huntley, 1990 a,b ; Jalut *et al.*, 1997, 2000, 2009 ; Magny *et al.*, 2002). L'action anthropique a, elle aussi, un effet sur la dynamique de la végétation (Planchais & Duzer, 1978 ; Bernard & Reille, 1987 ; Reille & Pons, 1992 ; Pons & Quézel, 1998).

En ce qui concerne notre site d'étude, les résultats montrent une forte dynamique dans cette partie de la forêt de Toufliht, et cela peut être causé par les changements climatiques ou bien par l'activité anthropique, et fort probablement par les deux.

CONCLUSION

La présente étude, grâce à l'analyse combinée des charbons de bois dans les sols et de relevés phytoécologiques récents, a mis en évidence une dynamique de la végétation ligneuse de la chênaie du Haut Atlas Marocain. Elle montre que le versant étudié de la forêt de Toufliht a subi une série de phénomènes naturels et anthropiques qui ont conduit à l'état actuel.

Plusieurs phases sont distinguées dans la dynamique de la végétation ligneuse au cours du temps. La forêt étudiée, caractéristique d'un milieu peu perturbé, reposait sur une population de Pin d'Alep, caractérisée par de nombreux charbons de bois datés de la période 4300 – 4100 cal. B.P. qui correspond à une phase d'aridification dans le bassin méditerranéen occidental. Puis, consécutivement aux changements climatiques et à l'action de l'homme, une chênaie s'est progressivement mise en place. Au début, c'est le Chêne-liège qui s'est installé, suivi par le Chêne vert. Cette formation forestière, résistante aux feux est accompagnée d'essences pionnières (Cistacées) freinant l'érosion. Le Pin d'Alep a disparu de notre versant, mais on le trouve à la même altitude sur l'autre versant exposé au soleil, ce qui pourrait signifier que les changements climatiques jouent un rôle important dans la dynamique de végétation. Enfin, la dynamique végétale actuelle conduit vers des formations forestières où les essences caducifoliées progressent.

Ces premières analyses pédoanthracologiques effectuées dans cette chênaie du Haut Atlas Marocain mettent ainsi en évidence une évolution de la végétation sous l'influence de l'action humaine et des changements climatiques. La pédoanthracologie et la datation sont donc des outils précieux pour retracer l'histoire et la dynamique d'une espèce ligneuse, et déterminer l'action anthropique et celle des changements climatiques. Elles permettent ainsi de chercher dans le passé pour comprendre le présent et prévoir le futur.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier le Pr L. Ouahmane et A. Ouammou de l'Université Cadi Ayyad pour leur aide pour la partie systématique et l'écologie.

RÉFÉRENCES

- ALAOUI HAROUNI, S., ALIFRIQUI, M., & OUHAMMOU, A. (2009).— La diversité floristique des pelouses humides d'altitude : Cas de quelques sites du Haut Atlas Marocain. *Acta Botanica Malacitana*, 34 : 91-106.
- AUBERT, G. (1978).— *Méthodes d'analyse des sols*. Édition C.R.D.P., Marseille.
- BALLOUCHE, A. (1986).— *Paléoenvironnements de l'homme fossile holocène au Maroc. Apports de la palynologie*. Thèse de Doctorat ès Sciences, Université de Bordeaux.
- BALLOUCHE, A. (2001).— Facteurs climatiques *versus* facteurs anthropiques : leurs parts respectives dans l'histoire des végétations des montagnes du Maghreb. *Mosella*, 25 : 241-248.
- BEN TIBA, B. & REILLE, M. (1982).— Recherches pollen-analytiques dans les montagnes de Kroumirie (Tunisie septentrionale) : Premiers résultats. *Ecologia Mediterranea*, 8 (4) : 75-86.
- BERNARD, J. & REILLE, M. (1987).— Nouvelles analyses polliniques dans l'Atlas de Marrakech, Maroc. *Pollen et Spores*, 29 : 225-240.
- BRUN, A. (1989).— Microfiores et paléo-végétations en Afrique du Nord depuis 30 000 ans. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 5 (8) : 25-33.
- BURGA, C.A. (1988).— Swiss vegetation history during the last 18,000 years. *New Phytologist*, 110 : 581-602.
- CARCAILLET, C. (1998).— A spatially precise study of Holocene fire history, climate and human impact within the Maurienne valley, north French Alps. *J. Ecol.*, 86 : 384-396.
- CARCAILLET, C., ALI, A.A., BLARQUEZ, O., GENRIES, A., MOURIER, B., & BREMOND, L. (2009).— Spatial variability of fire history in subalpine forests : large and local scale processes during the Holocene (from natural to cultural regimes). *Ecoscience*, 16 : 1-12.
- CARCAILLET, C., BARAKAT, H.N., PANAIOTIS, C. & LOISEL, R. (1997).— Fire and late Holocene expansion of *Quercus ilex* and *Pinus pinaster* in Corsica. *J. Veg. Sci.*, 8 : 85-94.
- CAVALLAR, W. (1950).— *Esquisse préliminaire de la carte des sols du Maroc*. Direction de l'Agriculture, du Commerce et des Forêts du Maroc. Division de l'Agriculture et de l'Élevage.
- DAVID, F. (1993).— *Évolutions de la limite supérieure des arbres dans les Alpes françaises du Nord depuis la fin des temps glaciaires*. Thèse de Doctorat ès Sciences, Université d'Aix-Marseille III.
- DAVID, F. (1995).— Mise en place des forêts d'altitude en Vanoise et périphérie. *Travaux Scientifiques du Parc national de la Vanoise*, 19 : 91-106.
- DE BEAULIEU, J.L. (1977).— *Contribution pollen-analytique à l'histoire tardiglaciaire et holocène de la végétation des Alpes méridionales françaises*. Thèse de Doctorat ès Sciences, Université d'Aix-Marseille III.
- DE BEAULIEU, J.L., MIRAS, Y., ANDRIEU-PONEL, V. & GUITER, F. (2005).— Vegetation dynamics in north-western Mediterranean regions : instability of the Mediterranean bioclimate. *Plant Biosystems*, 139 : 114-126.

- EL BADAOU, K. (1996).— *Contribution à l'étude écologique des arthropodes épigés et édaphiques de la chênaie à Chêne vert (Quercus rotundifolia) à Toufliht (Haut Atlas de Marrakech)*. Thèse de 3^{ème} cycle (D.E.S.), Université Cadi Ayyad, Marrakech.
- FONTUGNE, M., ARNOLD, M., LABEYRIE, L., PATERNE, M., CALVERT, S.E., & DUPLESSY, J.C. (1994).— Palaeoenvironment, sapropel chronology and Nile River discharge during the last 20 000 years as indicated by deep sea sediment records in the eastern Mediterranean. Pp 75-88 in : O. Bar-Yosef & R.S. Kra (eds.), *Late Quaternary chronology and paleoclimates of the Eastern Mediterranean Radiocarbon*.
- GENRIES, A. & CARCAILLET, C. (2009).— Impact des feux sur la richesse et la dynamique des communautés forestières subalpines en Vanoise. *Travaux Scientifiques du Parc national de la Vanoise*, 19 : 19-31.
- HUNTLEY, B. (1990a).— Dissimilarity mapping between fossil and contemporary pollen spectra in Europe for the past 13,000 years. *Quat. Res.*, 33 : 360-376.
- HUNTLEY, B. (1990b).— European postglacial forests : compositional changes in response to climatic change. *J. Vegetat. Sci.*, 1 : 507-518.
- HUNTLEY, B., BARTLEIN, P.J. & PRENTICE, I.C. (1989).— Climatic control of the distribution and abundance of beech (*Fagus L.*) in Europe and North America. *J. Biogeogr.*, 16 : 551-560.
- HUNTLEY, B. & PRENTICE, I.C. (1988).— July temperatures in Europe from pollen data, 6000 years before present. *Science*, 241 : 687-690.
- IAWA COMMITTEE (RICHTER, H.G., GROSSER, D., HEINZ, I., & GASSON, P.E., eds.) (2004).— IAWA list of microscopic features for softwood identification. *Repr. IAWA Journal*, 25 : 1-70.
- JALUT, G., DEDOUBAT, J.J., FONTUGNE, M. & OTTO, T. (2009).— Holocene circum-Mediterranean vegetation changes : Climate forcing and human impact. *Quaternary International*, 200 : 4-18.
- JALUT, G., ESTEBAN AMAT, A., BONNET, L., GAUQUELIN, T. & FONTUGNE, M. (2000).— Holocene climatic changes in the Western Mediterranean, from south-east France to south-east Spain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 160 : 255-290.
- JALUT, G., ESTEBAN AMAT, A., RIERA I MORA, S., FONTUGNE, M., MOOK, R., BONNET & L., GAUQUELIN, T. (1997). — Holocene climatic changes in the western Mediterranean : installation of the Mediterranean climate. *C.R. Acad. Sci., Paris, Sciences de la Terre et des Planètes*, 325 : 327-334.
- KELLY, M.G. & HUNTLEY, B. (1991).— An 11000-year record of vegetation and environment from Lago di Martignano, Latium, Italy. *J. Quaternary Sci.*, 6 : 209-224.
- LAMB, H.F., EICHER, U. & SWITSUR, V.R. (1989).— An 18000-year record of vegetation, lake-level and climatic change from Tigalmamine, middle Atlas, Morocco. *J. Biogeogr.*, 16 : 65-74.
- MAGNY, M., MIRAMONT, C. & SIVAN, O. (2002).— Assessment of the impact of climate and anthropogenic factors on Holocene Mediterranean vegetation in Europe on the basis of palaeohydrological records. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 186 : 47-59.
- MAYEWSKI, P.A., ROHLING, E.E., STAGER, J.C., KARLÉN, W., MAASCH, K.A., MEEKER, L.D., MEYERSON, E.A., GASSE, F., VAN KREVELD, S., HOLMGREN, K., LEE-THORP, J., ROSQVIST, G. & RACK, F. (2004).— Holocene climate variability. *Quaternary Research*, 62 : 243-255.
- MULLER, S.D., NAKAGAWA, T., DE BEAULIEU, J.L., COURT-PICON, M., FAUQUETTE, S. & GENRIES, A. (2006).— Paléostructures de végétation à la limite supérieure des forêts dans les Alpes françaises internes. *C.R. Biologies, Ecologie*, 329 : 502-511.
- OLDFIELD, F. & DEARING, J.A. (2003).— The role of human activities in past environmental change. Pp 143-162 in : K.D. Alverson, R.S. Bradley & T.F. Pedersen (eds.). *Paleoclimate, global change and the future*. IGBP Serie. Springer, Berlin.
- OUHAMMOU, M. & ARESMOUK, H. (2008).— *Tendance climatique par l'étude de la variation des précipitations et des températures dans les domaines atlantique et transatlantique du Haut Atlas de Marrakech, Maroc*. Workshop on climate change and adaptation in the Maghreb (CCAM). November 26–27, 2008, Marrakech, Morocco.
- OZENDA, P. (1985).— *La végétation de la chaîne alpine dans l'espace montagnard européen*. Masson, Paris.
- PÉLACHS, A., SORIANO, J.M., NADAL, J. & ESTEBAN, A. (2007).— Holocene environmental history and human impact in the Pyrenees. *Contributions to Science*, 3 : 421-429.
- PEREZ-OBIOL, G., JALUT, G., JULIÀ, R., PÉLACHS, A., IRIARTE, M.J., OTTO, T. & HERNÁNDEZ-BELOQUI, B. (2011).— Mid-Holocene vegetation and climatic history of the Iberian Peninsula. *The Holocene*, 21 : 75-93
- PEYRON, O., GORING, S., DORMOY, I., KOTTHOFF, U., PROSS, J., DE BEAULIEU, J.L., DRESCHER-SCHNEIDER, R., VANNIÈRE, B. & MAGNY, M. (2011).— Holocene seasonality changes in the central Mediterranean region reconstructed from the pollen sequences of Lake Accesa (Italy) and Tenaghi Philippon (Greece). *The Holocene*, 21 : 131-146.
- PLANCHAIS, N. & DUZER, D. (1978).— Les pollens indicateurs de l'action anthropique aux alentours de l'étang de Maugio (Hérault). *C.R. Acad. Sci., Paris*, 287 (D) : 931-933.
- PONEL, P., DE BEAULIEU, J.L., & TOBOLSKI, K. (1992).— Holocene palaeoenvironments at the timberline in the Taillefer Massif, French Alps : A study of pollen, plant macrofossils and fossil insects. *The Holocene*, 2 : 117-130.
- PONS, A. & QUÉZEL, P. (1998).— À propos de la mise en place du climat méditerranéen. *C.R. Acad. Sci., Paris, Sciences de la Terre et des Planètes*, 327 : 755-760.
- REILLE M. (1976).— Analyse pollinique de sédiments postglaciaires dans le Moyen Atlas et le Haut Atlas marocains : premiers résultats. *Ecologia Mediterranea*, 2 : 153-170.

- REILLE M. (1977).— Contribution pollen analytique à l'histoire holocène de la végétation des montagnes du Rif (Maroc Septentrional). *Suppl. Bull. A. F. E. Q., Paris*, 50 : 53-76.
- REILLE M. (1979).— Analyse pollinique du lac de Sidi Bou Rhaba, littoral atlantique (Maroc). *Ecologia Mediterranea*, 4 : 61-65.
- REILLE, M. & PONS, A. (1992).— The ecological significance of sclero-phyllous oak forests in the western part of the Mediterranean basin : a note on pollen analytical data. *Vegetatio*, 99-100 : 13-17.
- ROBERTS, N., REED, J.M., LENG, M.J., KUZUCUOGLU, C., FONTUGNE, M., BERTAUX, J., WOLDRING, H., BOTTEMA, S., BLACK, S., HUNT, E. & KARABIYIKOGLU, M. (2001).— The tempo of Holocene climatic change in the Eastern Mediterranean region : new high-resolution crater-lake sediment data from central Turkey. *Holocene*, 11 : 721-736.
- SADORI, L. (2007).— Postglacial pollen records of Southern Europe. *Encyclopedia of Quaternary Sciences, Elsevier*, pp. 2763–2773.
- SADORI, L. & NARCISI, B. (2001).— The postglacial record of environmental history from Lago di Pergusa, Sicily. *The Holocene*, 11 : 655-670.
- SALAMANI, M. (1993).— Premières données paléophytogéographiques du Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*) dans la région de Grande-Kabylie (NE Algérie). *Palynosciences*, 2 : 147-155.
- SCHILMAN, B., BAR-MATTHEWS, M., ALMOGI-LABIN, A. & LUZ, B. (2001).— Global climate instability reflected by Eastern Mediterranean marine records during the late Holocene. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 176 : 157-176.
- SCHWEINGRUBER, F.H. (1990).— *European wood anatomy*. Paul Haupt, Bern.
- SCOTT, A.C., CRIPPS, J.A., COLLINSON, M.E. & NICHOLS, G. (2000).— The taphonomy of charcoal following a recent heathlandfire and some implications for the interpretation of fossil charcoal deposits. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 164 : 1-31.
- STIPA (1982).— *Système de transfert de l'information pédologique et agronomique*. Notice pour l'entrée des descriptions et analyses de sols en banque de données. INRA-IRAT.
- STUIVER, M. & REIMER, P.J. (1993).— Extended ¹⁴C database and revised CALIB calibration program. *Radiocarbon*, 35 : 215-230.
- TALON, B. (1997).— *Évolution des zones supra-forestières des Alpes sud-occidentales françaises au cours de l'Holocène, analyse pédoanthracologique*. Thèse de Doctorat ès Sciences, Université d'Aix-Marseille III, Marseille.
- TERRAL, J.F. & ARNOLD-SIMARD, G. (1996).— Beginnings of olive cultivation in eastern Spain in relation to Holocene bioclimatic changes. *Quaternary Res.*, 46 : 176-185.
- TERRAL, J.F. & MENGÜAL, X. (1999).— Reconstruction of Holocene climate in southern France and eastern Spain using quantitative anatomy of olive wood and archaeological charcoal. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 153 : 71-92.
- TESSIER, L., DE BEAULIEU, J.L., COÛTEAUX, M., ÉDOUARD, J.L., PONEL, P., ROLANDO, C., THINON, M., THOMAS, A. & TOBOLSKI, K. (1993).— Holocene palaeoenvironment at the timberline in the Alps (Taillefer Massif, French Alps) : A multidisciplinary approach. *Boreas*, 22 : 244-254.
- THINON, M. (1992).— *L'analyse pédoanthracologique : aspects méthodologiques et applications*. Thèse de Doctorat ès Sciences, Université Aix-Marseille III, Marseille.
- THINON, M. & ALIFRIQUI, M. (2004).— Dégradation des thuriféraires marocaines : premières données phytohistoriques pédoanthracologiques. *Naturalia Maroccana*, 2 : 241-250.
- TINNER, W., AMMANN, B. & GERMANN, P. (1996).— Treeline fluctuations recorded for 12,500 years by soil profiles, pollen, and plant macrofossils in the central Swiss. *Artic Alp. Res.*, 28 : 131-147.
- VERNET, J.L., METER, A. & ZÉRAÏA, L. (2005).— Premières datations de feux holocènes dans les monts de Saint-Guilhem le Désert (Hérault, France), contribution à l'histoire de la forêt relique de *Pinus nigra* Arnold ssp *salzmanni* (Dun.) Franco. *C.R. Geosciences, Paléoenvironnement*, 337 : 533-537.
- VERNET, J.L., OGÉREAU, P., FIGUEIRAL, I., MACHADO YANES, C. & UZQIANO, P. (2001).— *Guide d'identification des charbons de bois préhistoriques et récents du Sud Ouest de l'Europe*. CNRS Éditions, Paris.
- VORREN, K.D., MØRKVED, B. & BORTENSLAGER, S. (1993).— Human impact on the Holocene forest line in the Central Alps. *Veget. Hist. Archaeobot.*, 2 : 145-156.
- WEGMÜLLER, S. (1977).— *Pollen-analytische Untersuchungen zur spät und postglazialen Vegetationgeschichte der französischen Alpen (Dauphiné)*. Verlag Paul Haupt, Bern.
- WICK, L. (1994).— Early Holocene reforestation and vegetation change at a lake near the alpine forest limit : Lago Basso (2 250 m asl), northwestern Italy. *Diss. Bot.*, 234 : 555-563.
- YLL, E.I., PEREZ-OBÍOL, R., PANTALEON-CANO, J., & ROURE, J.M. (1997).— Palynological evidence for climatic change and human activity during the Holocene on Minorca (Balearic Islands). *Quaternary Res.*, 48 : 339-347.