



**HAL**  
open science

# Archéo-biologie de la domestication de l'olivier en Méditerranée occidentale: de la remise en cause d'une histoire dogmatique à la révélation de son irrigation médiévale

Jean-Frédéric Terral, Aline Durand, Claire Newton, Sarah Ivorra

## ► To cite this version:

Jean-Frédéric Terral, Aline Durand, Claire Newton, Sarah Ivorra. Archéo-biologie de la domestication de l'olivier en Méditerranée occidentale: de la remise en cause d'une histoire dogmatique à la révélation de son irrigation médiévale. *Études héraultaises*, 2009, 233, pp.13-25. halshs-00497825

**HAL Id: halshs-00497825**

**<https://shs.hal.science/halshs-00497825>**

Submitted on 10 Jul 2017

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



# études héraultaises

Hors série, 2009

ISSN 0249 - 1664

## Le retour de l'olivier, retour sur l'olivier

# Archéo-biologie de la domestication de l'olivier en Méditerranée occidentale : de la remise en cause d'une histoire dogmatique à la révélation de son irrigation médiévale

Jean-Frédéric Terral<sup>1</sup>, Aline Durand<sup>2</sup>, Claire Newton<sup>1,3</sup> & Sarah Ivorra<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centre de Bio-Archéologie et d'Ecologie, UMR 5059 CNRS/Univ. Montpellier 2/EPHE  
Equipe « Ressources Biologiques, Sociétés, Biodiversité »  
Institut de Botanique. 163, rue Auguste Broussonet – 34090 Montpellier, France  
terral@univ-montp2.fr, ivorra@univ-montp2.fr

<sup>2</sup> Laboratoire d'Archéologie Médiévale Méditerranéenne, UMR 6572 CNRS  
Maison Méditerranéenne des Sciences de l'Homme, Université Aix-Marseille I  
5, rue du Château de l'Horloge – 13094 Aix-en-Provence Cedex 2, France.  
adurand@msh.univ-aix.fr

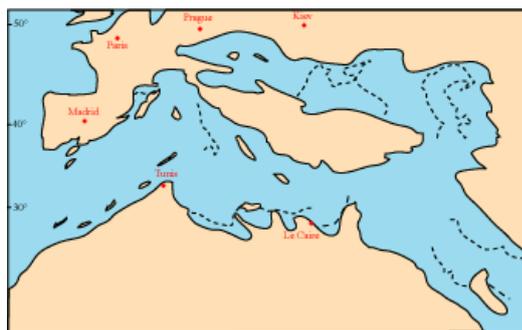
<sup>3</sup> Department of Archaeology, University of Nottingham  
University Park  
Nottingham, NG7 2RD, U.K.  
claire.newton@nottingham.ac.uk



Olivier subspontané (féral) dans la région basaltique du Ledja (Syrie). L'arbre a poussé dans une faille au sein de la couche de basalte. Dans la région, des oliviers isolés sont cultivés ça et là, protégés du bétail par des « tours » de pierres sèches, et dans des oliveraies là où l'espace dégagé est suffisamment grand.] Février 2007. Cliché J.-P. Moussally.

### Les origines du genre *Olea* :

Les origines lointaines de l'olivier (*Olea europaea* L. subsp. *europaea*) remontent aux confins de l'ère tertiaire. Il y a près de 6 millions d'années, la végétation du pourtour de la Méditerranée archaïque appelée « Tethys » est dominée par des espèces tropicales et subtropicales attestant de l'existence de conditions climatiques relativement stables, chaudes et humides. Toutefois, comme le montrent les études paléobotaniques, certaines espèces forestières méditerranéennes sont déjà installées à cette époque, parmi lesquelles un représentant du genre *Olea*, ancêtre probable de notre olivier (Suc *et al.*, 1984 ; Fauquette *et al.*, 1999). A cette période, la « méditerranéisation » du Bassin originel et la crise de salinité messinienne (-5.59 / -5.33 Ma), consécutives à la fermeture du détroit de Gibraltar sont prépondérantes dans la radiation du sud vers le nord du genre *Olea* dans le nord de l'Afrique, en Europe du sud puis dans les îles macaronésiennes (Figure 1). Durant le Pliocène (de -3.15 à -2.85 Ma), la conjonction d'événements comme la progression du front polaire vers le sud, la modification de la circulation atmosphérique générale, la mise en place du Gulf Stream (Haywood *et al.*, 2000) et l'augmentation de la teneur en CO<sub>2</sub> atmosphérique (Raymo *et al.*, 1996) entraînent conjointement de profonds changements des conditions climatiques. Un climat contrasté proche de l'actuel caractérisé par une période chaude à fort déficit hydrique, voit le jour : le climat méditerranéen. De manière concomitante, la majorité des espèces tropicales et subtropicales disparaissent au profit d'essences plus adaptées à ces nouvelles conditions. C'est ainsi que les groupements forestiers au sein desquels l'olivier occupe une place prépondérante, se mettent en place.



Aquitanien (24-20 Ma, Miocène)

Crise messinienne (5.59 to 5.33 Ma)



Pliocène



Figure 1. Paléogéographie du Bassin méditerranéen au Tertiaire (d'après Yilmaz *et al.*, 1996). En rouge, sont représentées les voies possibles de migration d'espèces africaines d'*Olea* à l'origine de la forme sauvage actuelle appelée oléastre.

Puis, vers -2.3 Ma, une première glaciation affecte le nord de l'Europe. Elle correspond aux débuts des oscillations climatiques (alternance de périodes glaciaires et interglaciaires) dont la succession tout au long du Quaternaire a une influence majeure sur l'écologie et la distribution géographique des espèces. Au nord de la Méditerranée, l'olivier comme d'autres espèces thermophiles semble se confiner durant les périodes glaciaires du Pléistocène dans des zones refuges, stations bien exposées et protégées des vents froids dominants (Figueiral et Terral, 2002). Dans la péninsule ibérique ou au sud de la France, les ripisylves ont pu jouer le rôle de zone tamponnée écologiquement en protégeant les végétaux de conditions rigoureuses et fournissant un apport hydrique nécessaire à la croissance et au développement des végétaux (Figueiral et Terral, 2002 ; Thiébaud *et al.*, 2004 ; Terral *et al.*, 2004a).

La fin des glaciations marque le retour à des conditions plus favorables. Les débuts de l'Holocène correspondent alors à une conquête progressive de nouvelles niches écologiques plus septentrionales et à l'extension de l'olivier, induite dans un premier temps par l'amélioration climatique puis vers 7000 – 6000 BP favorisée par les activités humaines. En effet, comme le montrent les études palynologiques, l'olivier est présent en Méditerranée nord-occidentale mais demeure erratique jusqu'à 8000 BP. Il s'étend ensuite pour devenir finalement un élément majeur des végétations méditerranéennes (voir par exemple : Planchais, 1982, 1985; Triat-Laval, 1982; Pons et Reille, 1988 ; Leveau *et al.*, 1991 ; Vernet, 1997 et Carrión, 2002).

De plus, l'identification de l'olivier par l'analyse anthracologique de charbons de bois issus d'assemblages archéologiques montrant son utilisation comme bois de chauffage, permet de certifier l'ancienneté de sa présence aux abords des habitats préhistoriques (Vernet, 1997 ; Heinz *et al.*, 2004). Son usage va au-delà de son caractère de combustible car la mise au jour depuis le Néolithique de noyaux dans des contextes archéologiques domestiques ou funéraires démontre qu'il est utilisé par l'Homme préhistorique, bien antérieurement à son exploitation à des fins culturelles, son intégration dans les systèmes agricoles méditerranéens et finalement sa domestication, c'est-à-dire de son passage d'oléastre (olivier sauvage) à olivier cultivé.



Figure 2. Matorral à oléastre, lentisque et euphorbe arborescente (Jbel de Zaghwan, Tunisie) - Cliché : J.-F. Terral

L'acquisition de son statut d'emblème de la Méditerranée semble donc le résultat d'un long processus initié depuis des millions d'années sous contraintes environnementales et finalement parachevée par l'Homme. On considère effectivement et de manière approximative que l'aire de distribution de l'olivier délimite dans le Bassin méditerranéen, la zone climatique méditerranéenne. Cette interdépendance ne semble réelle que pour la sous espèce cultivée de l'olivier (*Olea europaea* subsp. *europaea* var. *sativa*) et non pas pour l'oléastre. Par conséquent, comme l'a suggéré Daget (1984), on ne peut véritablement relier strictement l'olivier au climat méditerranéen sans tenir compte de facteurs sociétaux, culturels, économiques et bien sûr, historiques que nous allons parcourir ci-après.

### **Le modèle diffusionniste et l'histoire « dogmatique » de l'oléiculture :**

L'histoire de l'olivier et en particulier les origines de sa culture et de sa domestication a toujours été un sujet sensible et controversé. La thèse classique de la domestication de l'olivier situe en Palestine, dans le Chalcolithique de cette aire culturelle, au 4<sup>ème</sup> millénaire avant notre ère, le passage de l'olivier sauvage à l'olivier cultivé (Zohary et Spiegel-Roy, 1975). La mise en évidence de restes d'oliviers (bois carbonisés et noyaux d'olive) dans une région où l'arbre n'était pas indigène, permettait indirectement de dater les origines de sa mise en culture.

Depuis le Proche Orient, s'ensuit une lente diffusion de formes domestiquées, de savoirs et de pratiques culturelles, d'abord vers l'Egée au 3<sup>ème</sup> millénaire puis vers la Méditerranée centrale et occidentale (présence attestée à l'âge du Bronze final vers 1200-1000 BC, en Italie et en Espagne) et finalement au cours du 1<sup>er</sup> millénaire avant notre ère dans le sud de la France. Son introduction est datée par la palynologie à 2270 BP en Provence (Triat-Laval, 1982) et de 2090 BP en Languedoc (Planchais, 1982) sur la base de l'augmentation significative de la fréquence en pollen fossile d'*Olea* par rapport aux autres espèces enregistrées. L'extension depuis le foyer proche oriental de domestication est favorisée par les mouvements de navigation, d'échanges et de migration qui caractérisent les civilisations protohistoriques et antiques (Phéniciens, Etrusques, Grecs et Romains).

Malgré les données paléocéologiques attestant de l'ancienneté de l'indigénat de l'olivier à l'ouest de la Méditerranée (voir le chapitre « Les origines du genre *Olea* »), il est de tradition d'associer l'arbre mythique exclusivement aux cultures antiques. Alors, depuis des décennies, il est admis que les populations autochtones ne connaissent pas l'olivier avant son introduction en Méditerranée nord-occidentale lors de la création de comptoirs commerciaux ou la fondation de colonies. Aujourd'hui encore, cette histoire fait souvent foi dans la littérature scientifique et de vulgarisation, manuscrite ou électronique. Pour preuve, l'exposé (Terral, 1993) et la publication des premiers résultats allant dans le sens d'une exploitation protohistorique autochtone de l'olivier en Méditerranée occidentale (Terral, 1996 ; Terral et Arnold-Simard, 1996) entraîna une levée de bouclier de « scientifiques » et « d'historiens » parmi lesquels certains invoquèrent une « *histoire dogmatique de l'olivier* ».

### **L'hypothèse d'une domestication autochtone testée à travers des approches archéobiologiques :**

Compte tenu de l'indigénat de l'olivier en Méditerranée occidentale, de la mise au jour de charbons de bois et de noyaux d'olives lors de fouilles archéologiques à des périodes bien antérieures à l'introduction de l'oléiculture, l'hypothèse d'une proto-culture et d'une exploitation de l'olivier antérieure à l'Antiquité fut posée.

La forte extension de l'olivier datée à 2270 BP en Provence (Triat-Laval, 1982) et de 2090 BP en Languedoc (Planchais, 1982) enregistrerait-elle réellement les débuts de la culture de l'olivier en Gaule ou traduisait-elle plutôt la mise en place d'une culture plus intensive, productrice de pollen en plus grande quantité ?

Cependant, il était encore impossible de tester cette hypothèse en raison de l'incapacité de distinguer, sur la base des méthodes archéobotaniques traditionnelles (anthraco-analyse, carpologie et palynologie), l'olivier sauvage de l'olivier cultivé. Jusqu'à présent, isolées par zone géographique, par période chronologique ou encore sans référentiel actuel, les recherches archéobotaniques ne pouvaient pas embrasser la complexité des déterminismes abiotiques ou biotiques impliqués dans la variabilité morphologique ou anatomique des vestiges étudiés. Grâce aux progrès de l'analyse d'image, le développement d'études éco-anatomiques et les analyses morphométriques se sont révélées des approches pionnières permettant non seulement une étude conjointe et comparative de matériel actuel et archéologique mais également susceptibles d'atteindre un niveau de résolution systématique à l'échelle infra spécifique.

#### 1. La mémoire du bois et des charbons de bois de l'olivier révélée par l'éco-anatomie quantitative :

Tout au long de sa vie, l'arbre subit et s'adapte aux éventuelles variations de son milieu. L'anatomie du bois est influencée par tous les événements qui interviennent dans le développement de l'arbre. Parmi les facteurs qui expriment cette dépendance de l'anatomie du bois vis à vis du milieu, le climat et les activités humaines sont prépondérants. Le principe de l'éco-anatomie quantitative réside en la mesure des éléments vasculaires du bois et de leurs variations en fonction de paramètres écologiques, naturels ou anthropiques et liés au développement.

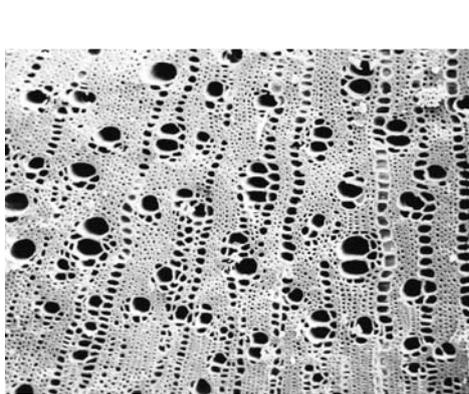
Au cours de son développement, l'arbre est soumis à un ensemble de forces (poids des branches, vent par exemple) qui détermine son état de « contrainte mécanique ». L'arbre réagit à ces contraintes en produisant un bois que l'on qualifie de bois de réaction. Les cellules du bois formées chaque année prennent leur structure définitive et subissent la maturation cellulaire ou phase de lignification. Au cours de cette phase de maturation, les cellules ont tendance à se déformer. Ces déformations sont appelées « déformations de maturation ». Ces phénomènes sont observés dans le bois émis par le tronc, mais surtout dans le bois de branches qui ont une direction de croissance oblique ou horizontale. C'est à partir de ces déformations que peut être tentée la discrimination des bois entre les bois provenant de branches jeunes (bois immature), de branches charpentières ou de troncs (bois mature). Sur des échantillons archéologiques, des pratiques telles que la taille et l'émondage (Figure 2) peuvent alors être mises en évidence (Terral, 2000).

Permettant d'analyser la structure du bois et du charbon de bois à différentes échelles (cernes annuels de croissance, anatomie à l'intérieur du cerne...) (Figure 3), l'éco-anatomie quantitative permet par le biais d'analyses statistiques multivariées de différencier l'olivier sauvage de l'olivier cultivé (Terral et Arnold-Simard, 1996) (Figure 5). Les individus sauvages possèdent des cernes de croissances étroits à la différence des individus cultivés dont les cernes plus larges ont répondu à des conditions de croissance rendues satisfaisantes par des pratiques culturales. Par rapport aux sauvages, les individus cultivés sont caractérisés par un nombre de vaisseaux par groupe significativement plus faible. Ce trait anatomique peut être interprété comme une réponse écologique aux conditions écologiques de croissance. Produire des vaisseaux groupés en files radiales confère à l'arbre une sécurité de conduction élevée. Des conditions estivales caractérisées en milieu méditerranéen par un déficit hydrique important peuvent induire dans le réseau conducteur de sève de l'olivier, le phénomène de cavitation appelée aussi embolie gazeuse. Un stress hydrique peut en effet entraîner l'obstruction de vaisseaux par de petites bulles d'air et finalement la mort des organes innervés. Des vaisseaux connectés radialement permettent d'assurer des relais en cas de cavitation. Il apparaît donc logique que sous des conditions de culture, le bois des individus cultivés privilégie moins la sécurité de conduction de sève que l'efficacité.



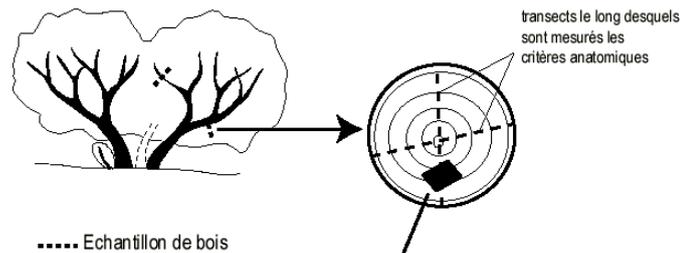
Figure 3. Rajeunissement de l'olivier par la taille. Noter le bourrelet de greffe bien visible sur le tronc (cliché : J.-F. Terral).

A.

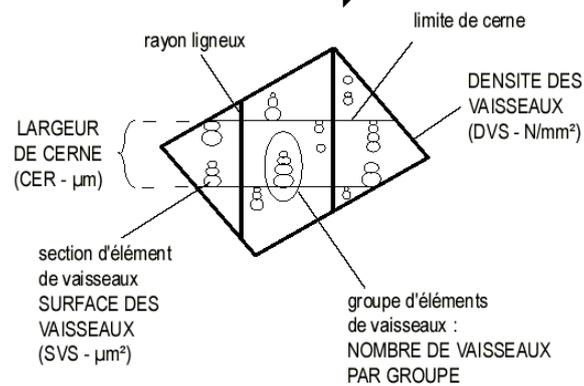


B.

*Le protocole méthodologique de l'éco-anatomie quantitative : de l'arbre aux mesures de critères anatomiques*



*Anatomie simplifiée du bois d'olivier :*

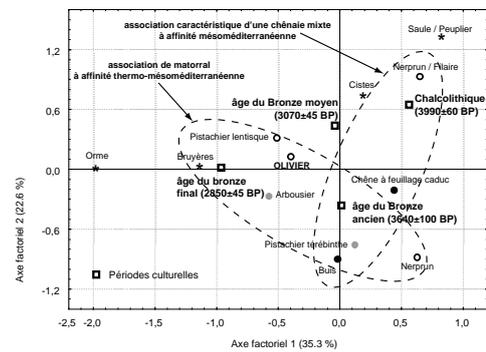
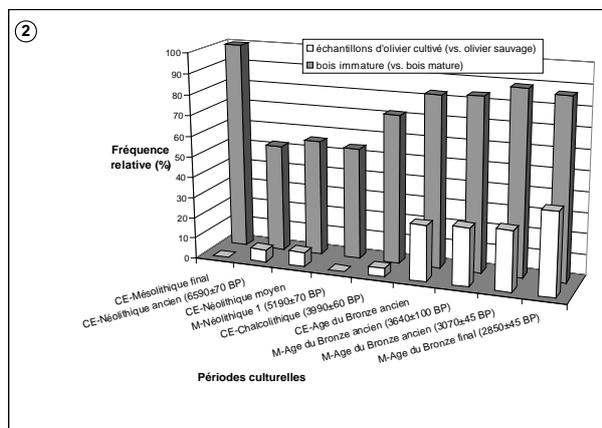
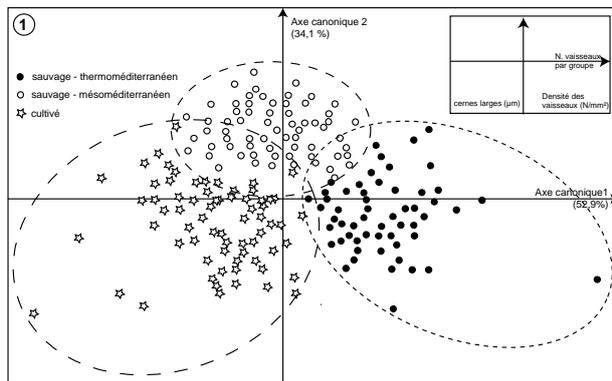


COEFFICIENT DE CONDUCTIVITE HYDRAULIQUE :  
 $CD = (SVS/\pi)^2 / DVS$

Figure 4. A. Anatomie du bois d'olivier en coupe transversale en microscopie électronique à balayage (cliché : J.-F. Terral). B. Protocole simplifié de l'analyse éco-anatomique quantitative. Les échantillons prélevés sont séchés à l'air libre puis carbonisés à 450°C en conditions réductrices jusqu'à réduction de taille et enrichissement maximal en carbone. Les caractères anatomiques sont ensuite mesurés en section transversale des charbons de bois à l'aide d'une station d'analyse d'image et de mesure couplée un microscope à réflexion.

Le couplage modèle de référence – matériel archéologique de différentes périodes, permet d’identifier les charbons de bois archéologiques. L’existence d’une exploitation différentielle au cours du temps et de la culture de l’olivier émergente au Néolithique est alors mise en évidence (Figures 5.1 et 5.2).

Dans certaines régions de Méditerranée occidentale, la sédentarisation et l’acquisition de l’agriculture coïncident parfaitement avec le déclin des formations végétales climaciques dominées par les chênes caducifoliés et sempervirents et corrélativement avec l’extension de l’olivier (Figure 5.3). Ainsi, l’ouverture de la forêt à des fins agricoles aurait-elle induit une compétition entre végétaux de recolonisation et plantes cultivées jusqu’à l’intégration au sein du système agricole de certains ligneux dont l’olivier.



③

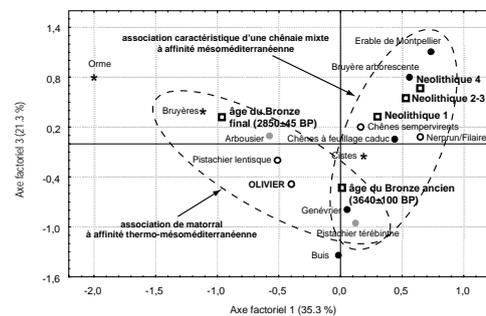


Figure 5 : 1. Modèle éco-anatomique de référence (établi sur l’actuel) révélant la discrimination des oliviers en fonction de leur statut (sauvage ou cultivé) (représentation synthétique du plan canonique 1-2 de l’analyse discriminante pratiquée sur 130 échantillons de bois d’olivier à partir de la mesure de 5 caractères anatomiques parmi lesquels la largeur de cernes ( $\mu\text{m}$ ), la surface des vaisseaux ( $\mu\text{m}^2$ ), la densité de vaisseau ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ) et le nombre de vaisseaux par groupe) (Terral et Arnold-Simard, 1996 ; Terral, 1997) – 2. Variations au cours du temps des fréquences en olivier cultivé et en bois immature (bois de branche) révélées par l’analyse éco-anatomique de charbons de bois archéologiques des sites de Montou (Pyrénées Orientales) et de Salses (Aude) (Terral et Arnold-Simard, 1996 ; Terral, 2000) – 3. Représentation schématique des changements de végétation intervenus tout au long de la séquence chronologique mis en évidence d’une analyse factorielle des correspondance pratiquée sur les fréquences en espèces ligneuses identifiées par l’analyse anthracologique (Heinz *et al.*, 2004).

Ce processus initié dès le Néolithique (c. 6000 BP) et présidant aux destinées de l'arbre se subdivise en deux phases :

- la période Néolithique – Chalcolithique marquée par une exploitation soutenue voire radicale de l'olivier comme l'attestent les fréquences en bois immature (*Figure 3*). D'un point de vue paléoécologique, cette phase correspond à l'expansion des formations thermo-mésoméditerranéennes à olivier, pistachier lentisque (*Pistacia lentiscus*), filaire (*Phillyrea* sp.) et nerprun (*Rhamnus* sp.).
- l'âge du Bronze caractérisé par une exploitation raisonnée et une gestion maîtrisée de l'olivier qui est bien installé au regard des enregistrements paléoécologiques (Solari et Vernet, 1987, Badal *et al.*, 1994). Ce mode d'exploitation pourrait être assimilé à une pratique de taille et aurait pu contribuer au maintien d'arbres cultivés à maturité sexuelle, producteurs de fruits.

Au regard des données acquises, l'âge du Bronze semble être une période clé dans l'histoire de l'olivier. Sa domestication aurait débuté bien antérieurement qu'admis jusqu'alors par les archéologues et historiens par sélection empirique de traits remarquables, tels le calibre des fruits ou leur quantité d'huile, jusqu'à ce que des populations migrantes introduisent en Méditerranée occidentale de nouvelles variétés cultivées et des modes agricoles plus performants au milieu du dernier millénaire avant notre ère.

Enfin et rétrospectivement, l'augmentation de la fréquence en pollen d'*Olea*, considérée comme une preuve formelle de l'origine de sa culture témoignerait plutôt de nouvelles pratiques agricoles introduites par les peuples antiques. Les données palynologiques dateraient la mise en place d'oliveraies, c'est-à-dire l'avènement de l'oléiculture moderne, agriculture intensive de production oléicole.

## 2. La structure géométrique des noyaux d'olive à la recherche de l'histoire biogéographique de la domestication de l'olivier :

Malgré les problèmes habituels de conservation des restes végétaux en contexte archéologique (fragmentation ou déformation des échantillons), de nombreux noyaux d'olive carbonisés en parfait état ont été mis au jour lors de fouilles archéologiques de sites espagnols, français et italiens. En dépit de leur découverte, aucun argument scientifique ne permettait d'affirmer s'ils provenaient d'oliviers sauvages ou de formes domestiquées. Dans le but de répondre à une telle interrogation, une approche morphologique à haute résolution a été privilégiée plutôt que des tentatives d'analyses génétiques ou moléculaires qui se seraient révélées vaines à cause de la destruction inévitable de l'ADN survenue lors de la carbonisation des noyaux.

La distinction des individus sauvages et des individus cultivés d'une même espèce est souvent impossible par simple observation ou par la mesure de ses dimensions. S'il est vrai que les mensurations des fruits et des graines varient en fonction du statut (« sauvage » ou « cultivé ») et de la position taxinomique de la plante (sous espèce ou variété botanique), la « taille » des graines est tributaire de paramètres écologiques, anthropiques, pathologiques et liés au développement. Ces facteurs que l'on peut tester sur le vivant ne sont pas toujours contrôlables sur le matériel archéologique. La distinction des formes sauvages et des formes domestiquées exige donc l'utilisation de techniques et de méthodes appropriées et performantes que fournit la morphométrie géométrique (Bookstein, 1991 ; Marcus *et al.*, 1996). Un des intérêts majeurs des méthodes de la morphométrie géométrique réside dans la possibilité de caractériser la géométrie (ou forme) d'une structure quelconque, en nous affranchissant de ses dimensions. L'analyse de cette composante morphologique, indépendamment de la « taille » (ou mensurations), permet ainsi un contrôle optimal des

facteurs liés au développement et des paramètres environnementaux de variabilité morphologique.

La variabilité d'un caractère peut être expliquée par trois composantes essentielles (génétique, environnementale et ontogénétique ; cette dernière elle-même dépendante des deux premières, correspond à la croissance et au développement). A l'aide de tels critères géométriques et, à condition que l'indépendance entre la « forme », l'environnement et le développement soit démontrée, la comparaison de plusieurs individus en terme de distance morphologique (appelée aussi divergence morphologique ou déviation phénotypique) revient approximativement à étudier les relations de parenté entre ces individus. Cette analyse abordant donc le déterminisme génétique de la variabilité de caractères potentiellement héréditaires est néanmoins à nuancer, car elle est traduite par l'expression de systèmes de gènes qui est souvent inconnue.

Les analyses morphométriques de plus de 3000 noyaux d'olives de populations sauvages, de variétés cultivées d'origines diverses et de noyaux issus de sites archéologiques espagnols, français et italien dont le protocole est décrit en Figure 6, apportent des résultats importants à différentes échelles : taxinomique, géographique et chronologique (voir Terral *et al.*, 2004b).

Sur l'actuel, les oliviers de populations sauvages se distinguent des cultivars par des critères morphométriques fondés sur la structure géométrique des noyaux (Taux de discrimination supérieur à 90%). Depuis les origines de la domestication, les pressions de sélection furent telles qu'elles ont grandement affecté la structure morphologique du noyau. Originellement plutôt de petite taille (>1 cm – critère non exclusif) et surtout relativement globulaire, la sélection de l'olivier a induit de nombreux patrons de différenciation originaux, tel le type caractéristique du noyau de Lucques, très allongé, pointu, recourbé et parfaitement asymétrique.

D'un point de vue géographique, les divergences morphologiques entre populations sauvages occidentales (clade OC2) et populations orientales (M2 et OR1) témoignent d'une différenciation antagoniste, probablement liée à une ségrégation de leur distribution géographique en deux zones distinctes et donc, la rupture des flux géniques entre l'est et l'ouest (Figure 6).

Fondée sur des facteurs climatiques, écologiques, historiques et socioculturels, le Bassin méditerranéen peut être divisé en une zone orientale et une zone occidentale situées de part et d'autre d'un axe reliant la mer Adriatique au désert Libyen (Blondel et Aronson, 1995). Cette concordance entre la différenciation morphologique des oléastres mise en évidence et leur situation biogéographique apparaît comparable aux résultats d'études entreprises sur le polymorphisme de l'ADN cytoplasmique (Besnard et Bervillé, 2000 ; Besnard *et al.*, 2002).

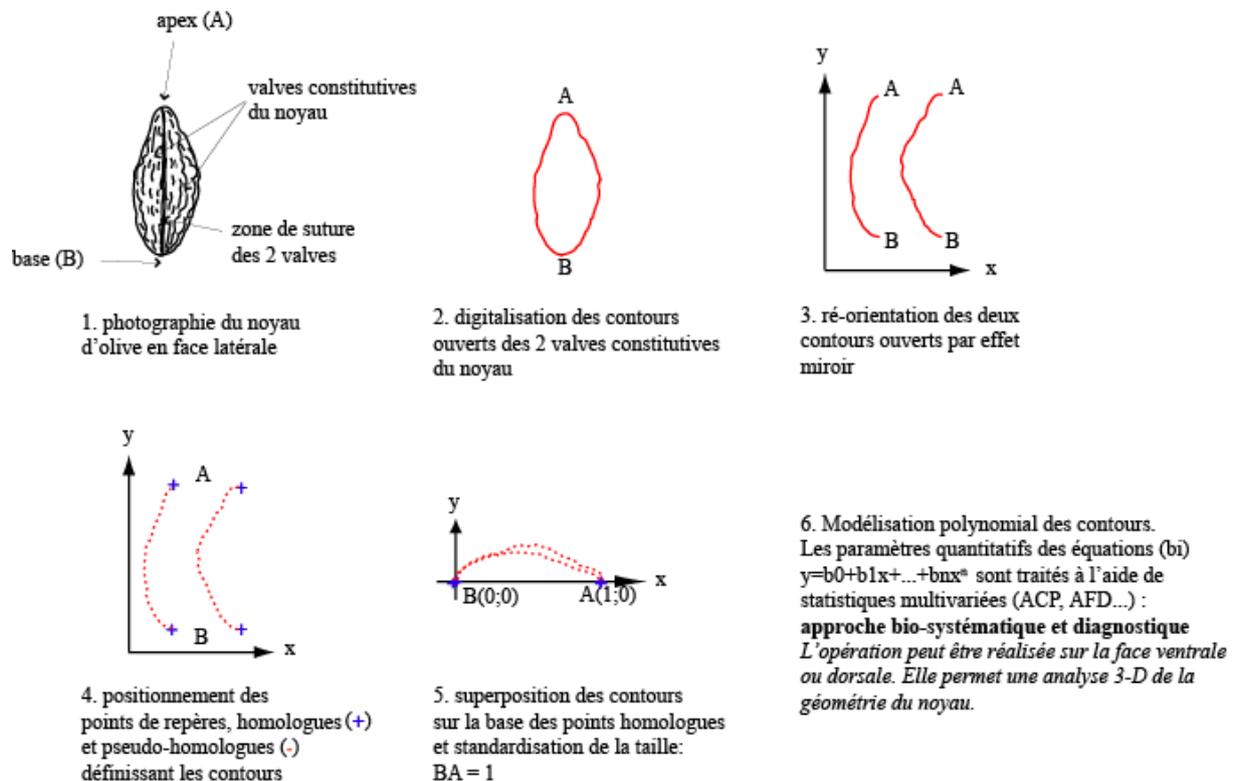


Figure 6. Protocole méthodologique de l'approche morphométrique géométrique (méthode de superposition de la ligne de référence) développée pour l'analyse géométrique du contour externe du noyau d'olive (d'après Terral *et al.*, 2004b ; Newton *et al.*, 2006).

Les convergences et divergences de forme entre populations sauvages et cultivars d'origines diverses témoignent de la complexité des échanges entre populations humaines, à l'origine de la diffusion de la culture de l'olivier dans le Bassin Méditerranéen. Cependant, certains groupes morphologiques possèdent une unité géographique (Figure 7). Le groupe ou clade OC2 ne comprend que des cultivars de Méditerranée occidentale et les groupes OR1A, OR1B et OR2 que des cultivars orientaux (ou en grande majorité pour OR1B). Ces différents ensembles de cultivars semblent dériver des deux pools est ou ouest d'oléastres.

Du fait de leur proximité morphologique par rapport au groupe OC3 constitué d'oléastres occidentaux et, de par leur divergence morphologique vis à vis des oléastres et des cultivars de Méditerranée orientale, il est donc très probable que les cultivars du groupe OC2 ont été domestiqués en Méditerranée occidentale, indépendamment des formes orientales. Les groupes M1 et M2 associent quant à eux des cultivars de l'est et de l'ouest. Dans leur cas, une telle affinité morphologique entre formes domestiquées d'origine diverse semble s'opposer au modèle biogéographique de ségrégation est - ouest des populations sauvages. Il semble évident que cette connexion est le fruit des migrations humaines qui, au fil du temps, ont favorisé le croisement entre formes orientales et formes occidentales.

Selon une procédure statistique multivariée comparative et décisionnelle (Analyse Factorielle Discriminante), les noyaux archéologiques de 21 sites archéologiques sont confrontés au modèle de différenciation morphologique (Figure 7). Leur affiliation au groupe phénotypique le plus convergent permet de dater les origines de la domestication de l'olivier et de retracer l'histoire biogéographique de la diversification variétale de l'olivier en Méditerranée nord-occidentale.

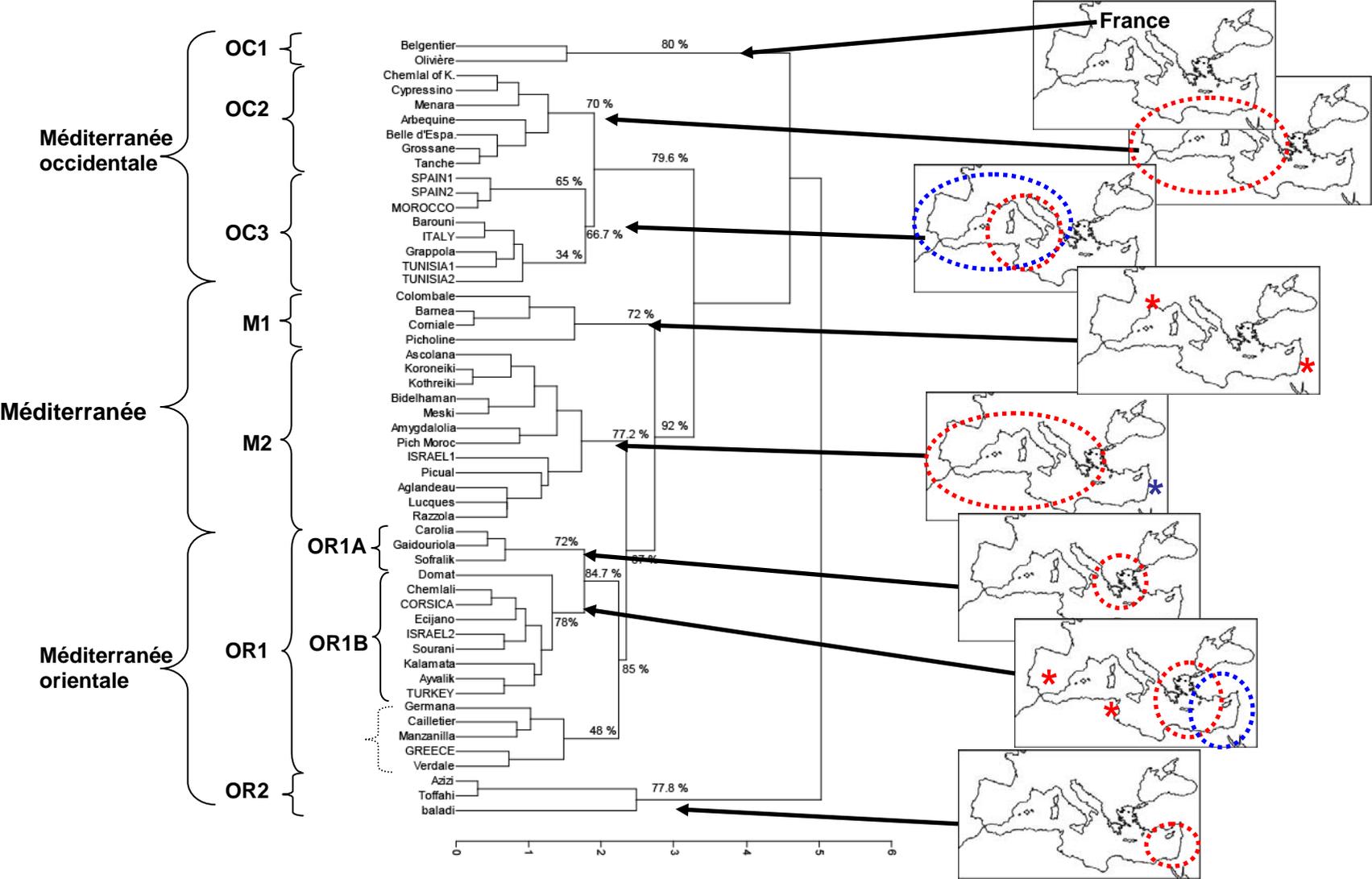
Les premiers échantillons appartenant à une forme domestiquée proviennent d'un site chalcolithique espagnol daté à 2300 – 2000 avant notre ère (Terral *et al.*, 2004b). Ils sont mis au jour sous la forme du morphotype OC2 composé de cultivars originaires de Méditerranée nord-occidentale. En Espagne, du Chalcolithique à la Période Romaine, il semble que de nouveaux types morphologiques d'olivier domestiqué apparaissent graduellement : groupe M1 / M2 à la Période Ibérique. Au vu de leur attestation chronologique, on peut supposer que les cultivars du groupe M1/M2 pourraient être affiliés au « monde colonial phénicien ».

En France, les périodes Chalcolithique et Age du Bronze sont absentes. Le premier échantillon d'olivier domestiqué avéré date du second âge du Fer (groupe OC2). Ensuite, c'est au cours de la Période Romaine que sont attestés les noyaux des groupes morphologiques M2, M1 puis OR1. Au Moyen Age (site de Lattes – Port Ariane), un noyau d'olive dont l'appartenance au groupe OC1 ne semble faire aucun doute, constitue la première mise en évidence de ce morphotype. Ce groupe est composé de deux variétés françaises, l'Olivière dont la culture était très répandue en Languedoc jusqu'aux débuts du XX<sup>ème</sup> siècle (Degrully, 1907). D'un point de vue génétique, l'Olivière est une variété mâle stérile, caractérisée par des marqueurs très spécifiques que seules quelques variétés du Languedoc et de Kabylie possèdent (Besnard & Bervillé, 2000 ; Besnard *et al.*, 2002). Cette spécificité démontre ainsi l'indigénat en Méditerranée occidentale de la domestication de cette variété, indépendamment de foyers orientaux. En dépit de cette primo-attestation, nous ne sommes pas encore en mesure de préciser l'origine chronologique de sa domestication. L'Olivière, cultivar issu des invasions arabes ?

Enfin, en Italie (site de Palmieri - âge du Bronze), la majorité des noyaux analysés appartiennent au groupe d'oléastres et de cultivars occidentaux. Cependant, 3 spécimens sont classés au sein du groupe M2. Malheureusement, il ne nous a pas été possible de les identifier avec plus de précision. Ces noyaux sont-ils originaires d'Italie ? Ont-ils été introduits de Grèce ?

Finalement, les approches éco-anatomiques et morphométriques développées respectivement sur les matériels bois et noyaux d'olive reconsidèrent l'« histoire dogmatique » de l'olivier selon laquelle les civilisations antiques introduisirent l'olivier en Méditerranée occidentale. Ces résultats ne remettent toutefois pas en cause l'importance de l'influence des Phéniciens, Etrusques, Grecs et Romains sur le rayonnement de l'olivier, à travers les âges et le Bassin méditerranéen. Il apparaît tout de même que les origines de sa culture et de sa domestication sont plus anciennes. Elles émergent deux millénaires avant l'introduction au dernier millénaire avant notre ère, de nouvelles variétés, de savoirs et de techniques provenant de nombreuses contrées de la Méditerranée. Ces résultats validés par la biologie moléculaire (et vice versa) montrent enfin que la domestication de l'olivier a eu lieu indépendamment, en de nombreuses régions et non exclusivement depuis un unique foyer proche oriental.

Figure 7 : Structuration géographique de la diversité morphométrique (en bleu, les populations sauvages – en rouge, les cultivars). Le modèle a été obtenu par le biais d'une classification UPGMA réalisée à partir de la matrice de distance morphologique entre populations et cultivars.



### 3. Archéo-biologie et éco-histoire de l'irrigation médiévale de l'olivier :

La mise au jour de charbons de bois d'olivier datés du Moyen Age (Lunel-Viel (Hérault) ; Cabrera d'Anoia (Corse) ; L'Ortolo (Corse) ; Tarragona (Espagne)) ouvrait de nouvelles perspectives éco-anatomiques et historiques (Terral et Durand, 2006 ; Durand et Terral, 2005-2006). En coupe transversale, ces échantillons présentent des vaisseaux d'un diamètre très élevé, sans commune mesure avec tous les échantillons jusqu'ici observés et analysés.

Quel est le facteur présidant à une telle conductivité vasculaire ? D'un point de vue écologique, si la conductivité est à corrélérer à la disponibilité en eau dans le sol, une telle surface conductrice observée est-elle à relier avec d'exceptionnelles précipitations ou à un apport hydrique exogène ?

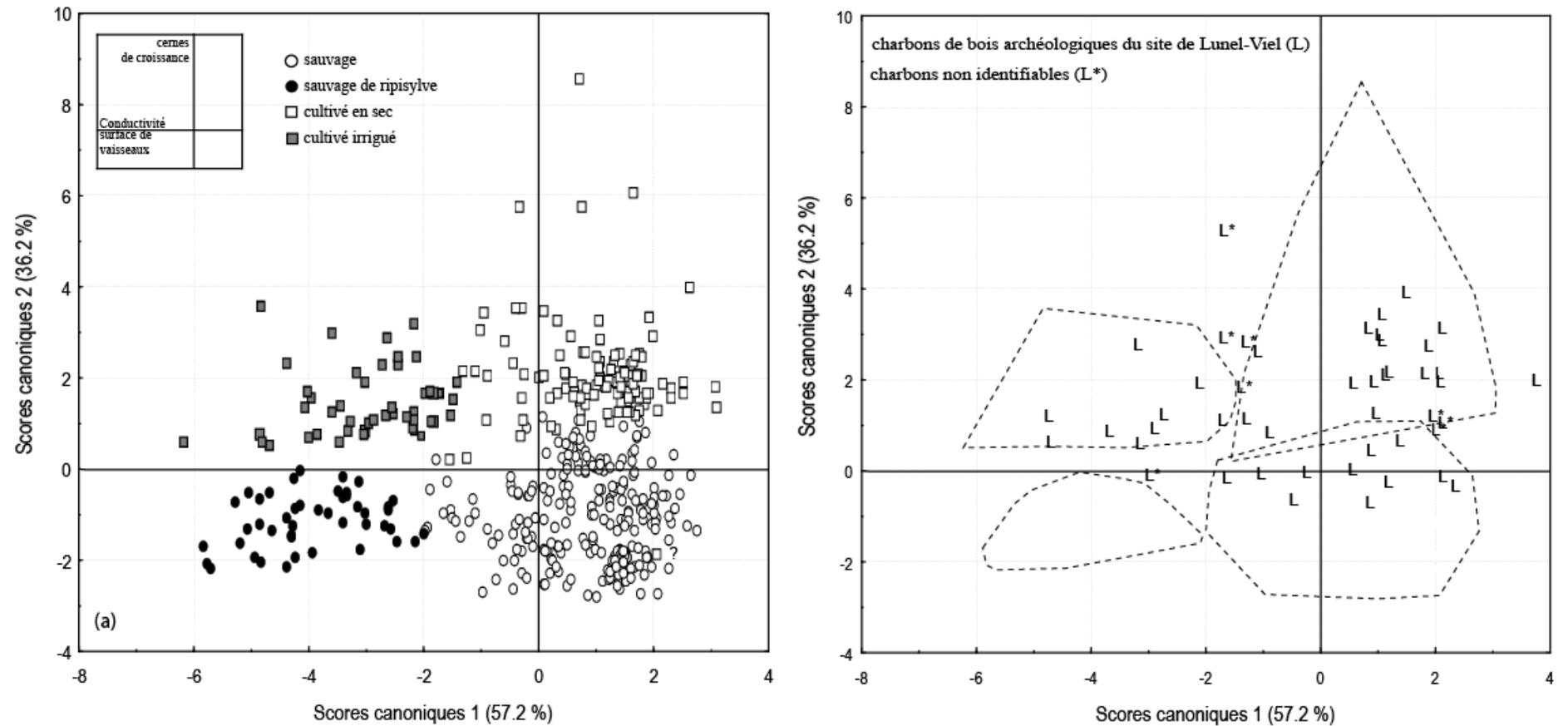
Nous ne disposons d'aucune donnée textuelle ou paléoclimatique sur la survenue au Moyen Age central d'un épisode humide. En revanche, la littérature agronomique est féconde sur les pratiques culturelles héritées de la civilisation romaine et du monde arabo-musulman (la taille, greffe et irrigation par exemple). L'irrigation est elle documentée indirectement au travers des actes de la pratique et des cartulaires médiévaux (Durand, 1998). Elle est décrite de manière plus détaillée dans les traités savants. Dans ce cas, les informations qui y ont été transcrites sont très précises d'un point de vue technique et pratique, mais on ne sait pas si les paysans de l'époque en ont tenu compte. Les conseils prodigués concernent l'ensemble des arbres fruitiers et des recommandations spécifiques à des arbres comme l'olivier, sont exceptionnelles. Par exemple, P. de Crescent, agronome bolonais du XIII<sup>ème</sup> siècle suggérait d'utiliser l'eau de pluie ou de citerne pour irriguer l'olivier plutôt que l'eau de rivière (Crescenzi *in* Richter, 1996). Ibn Al'-Awwâm proposait d'arroser tardivement les oliviers récemment greffés (Al'-Awwâm *in* El Faiz, 2000). La réalité biologique et archéo-biologique d'une culture irriguée de l'olivier était donc à tester.

Le référentiel établi pour la recherche de critères quantitatifs de discrimination entre olivier sauvage et olivier cultivé (Figure 5) a été amendé à l'aide d'échantillons modernes prélevés sur des individus sauvages poussant en condition ripicole et sur des individus cultivés irrigués. Dans ce dernier cas, les arbres sont irrigués par des méthodes traditionnelles, autrement dit par des techniques d'irrigation gravitaire, et non modernes, comme par aspersion ou par goutte à goutte.

Le modèle obtenu après analyses éco-anatomiques, calculs de conductivité hydraulique (Zimmerman, 1983 ; Carlquist, 1988 ; Terral et Mengual, 1999) et traitements statistiques affiche un pouvoir de discrimination supérieur à 90% (Figure 8). Il différencie, quel que soit le statut sauvage ou cultivé de l'olivier, les arbres poussant sous influence hydrique des oliviers en conditions de sécheresse. Dans les zones semi-arides comme dans le sud de l'Espagne et en Afrique du nord, les oléastres peuvent être rencontrés sur les rives de cours d'eau temporaires (*oueds* dans le Maghreb ou *barrancos* dans la péninsule ibérique). Cette situation écologique atypique offre aux arbres un apport d'eau leur permettant, au printemps, de se développer dans des conditions optimales. L'été, les cours d'eau sont totalement asséchés et, la croissance des arbres est stoppée.

Les oliviers mis en culture croissent plus rapidement que leurs congénères sauvages (voir paragraphe « La mémoire du bois et des charbons de bois de l'olivier révélée par l'éco-anatomie quantitative »). Même s'ils sont cultivés en sec, un espacement des individus, l'élimination des compétiteurs ou des amendements suffit à expliquer des différences de cinétique de croissance. Néanmoins, les régions sèches et semi-arides dépendent de l'irrigation en vue de garantir une production agricole suffisante (Herrero et Snyder, 1997).

Figure 8. A gauche : modèle éco-anatomique de référence (établi sur le vivant) révélant la discrimination des oliviers en fonction de leur statut (sauvage ou cultivé) et de la disponibilité en eau du milieu (représentation synthétique du plan canonique 1-2 de l'analyse discriminante pratiquée sur 446 échantillons de bois d'olivier à partir de la mesure de 5 caractères anatomiques parmi lesquels la largeur de cernes ( $\mu\text{m}$ ), la surface des vaisseaux ( $\mu\text{m}^2$ ), la conductivité hydraulique). A droite : allocation de charbons de bois d'olivier du site de Lunel-Viel (IX-Xe s.) aux groupes d'oliviers définis par le modèle discriminant de référence.



Dans d'autres régions où les conditions climatiques sont moins drastiques, l'irrigation peut être tout de même employée dans le but d'augmenter la productivité, le rendement et la qualité des récoltes (Patumi *et al.*, 2002).

D'un point de vue biologique, une relation significative entre les caractéristiques anatomiques et la disponibilité de l'eau dans le milieu est mise en évidence, à la fois chez l'olivier sauvage et chez l'olivier cultivé. La conductivité hydraulique, liée directement au caractère « surface des vaisseaux » augmente fortement en réponse à un apport d'eau. Il semble donc qu'une surface de vaisseaux élevée et donc de conductivité hydraulique, peut être interprétée comme une réponse éco-physiologique de l'arbre à une meilleure disponibilité en eau. Ces changements correspondent donc à une grande efficacité de transport de sève.

Etayant nos résultats, Wimmer *et al.* (2002) ont montré qu'un apport hydrique stimule le fonctionnement cambial. Toutefois, l'augmentation de croissance radiale mise en évidence chez les oliviers cultivés et irrigués par rapport aux oliviers cultivés en sec, n'est pas constatée chez l'olivier sauvage. Chez ces derniers, les caractères « nombre de vaisseaux par groupe » et « densité de vaisseaux » ne semblent pas être liés aux conditions hydriques du milieu. Ces critères, corrélés aux paramètres thermoclimatiques stationnels (Terral et Arnold-Simard, 1996 ; Terral et Mengüal, 1999), représentent une estimation de la vulnérabilité des vaisseaux conduction à l'embolie gazeuse appelée aussi degré de sécurité de conduction, processus déjà explicité dans cet article.

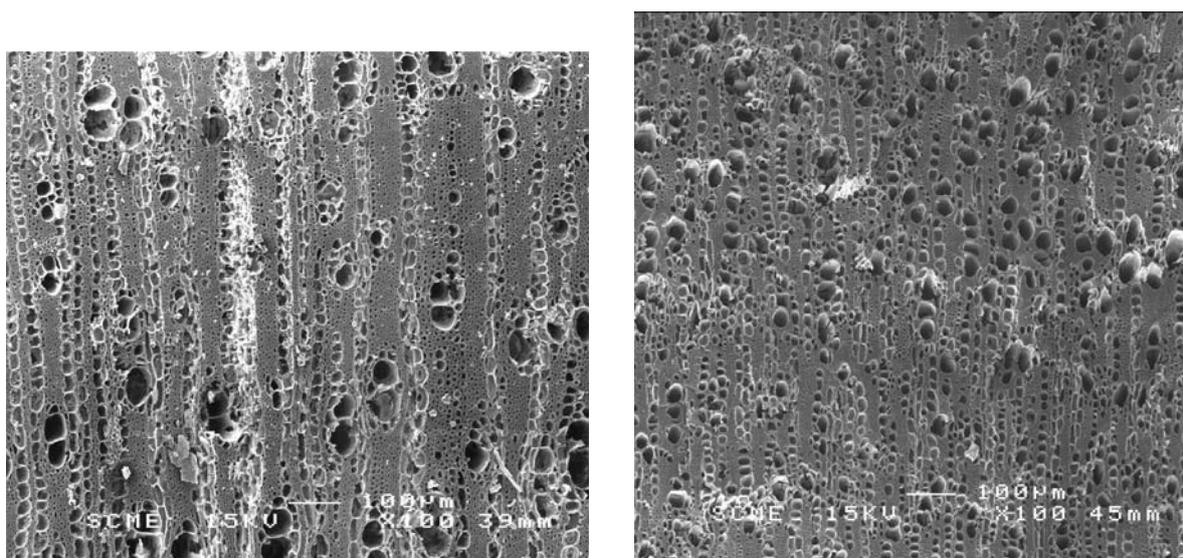


Figure 9. A gauche, structure en microscopie électronique à balayage d'une coupe transversale d'un charbon de bois d'olivier cultivé irrigué du site de Lunel-Viel (Hérault, IX-Xè s.). A droite, charbon de bois d'olivier de type sauvage ; site de Tarragona (Espagne, XVe s.). Clichés : A. Durand.

La confrontation des résultats des mesures pratiquées sur les charbons médiévaux au modèle éco-anatomique de discrimination vérifie notre hypothèse de départ, à savoir que l'irrigation était appliquée aux cultures d'olivier depuis la période carolingienne en Languedoc (Lunel-Viel), puis en Corse et en Catalogne espagnole à la fin de la période médiévale. En effet, la grande majorité des charbons de bois archéologiques sont classés dans le groupe des spécimens cultivés (Figure 8 et 9). Quelques individus toutefois appartiennent au groupe des oliviers sauvages, sans que l'on puisse dire si ces individus sont réellement sauvages ou si ce sont des arbres féraux ou issus d'un verger abandonné. Parmi le groupe des oliviers cultivés,

hormis un nombre non négligeable de charbons de bois non identifiables possédant des caractéristiques anatomiques intermédiaires, la plupart sont affiliés au groupe des cultivés irrigués.

Pour la première fois, grâce aux analyses éco-anatomiques, la réalité tangible et directe de l'irrigation des plantations d'oliviers est attestée au Moyen Âge. Nos résultats montrent qu'en Méditerranée nord-occidentale, cette pratique est courante, au moins passé le XIIe siècle. Et donc que l'irrigation ne doit plus être considérée comme une pratique culturelle mineure pour cet arbre. Indubitablement, l'olivier est irrigué régulièrement et de façon soutenue. Cette irrigation ne peut être considérée comme un palliatif, mais participe sans nul doute à accroître le rendement et la qualité de production. Ainsi, sous de telles conditions, la culture de l'olivier au Moyen Age ne doit plus être considérée comme extensive aux marges des terroirs, mais comme une oléiculture maîtrisée et parfaitement ancrée dans la tradition arboricole médiévale dont l'iconographie offre une illustration (Figure 9).



Figure 10. Le *Tacuinum sanitatis* dérive d'un ouvrage arabe, le *Taqwim ab-suha*, composé au XIe siècle par un médecin de Bagdad, Ibn Botlàn dit Albucasis. Ce traité d'hygiène décrit en deux cent quatre-vingts articles les végétaux et les animaux nécessaires à l'alimentation de l'homme, mais aussi les phénomènes météorologiques ou les actes susceptibles d'influer sur sa santé. Au milieu du XIIIe siècle, une traduction latine, rédigée à la cour du roi Manfred de Sicile, assura la diffusion de ce traité en Occident. L'exemplaire rhénan du *Tacuinum sanitatis* daté du XVe siècle met en scène la récolte des olives. copyright BNF ms latin 9333 f°13v.

## Références bibliographiques :

- Badal Garcia, E., Bernabeu, J. and Vernet, J.-L., (1994). Vegetation changes and human action from the Neolithic to the Bronze Age 7000-4000 B.P. in Alicante, Spain, based on charcoal analysis. *Vegetation History and Archaeobotany* 3, 155-166.
- Besnard G. & Bervillé A. (2000). Multiple Origins for Mediterranean Olive (*Olea europaea* L. ssp. *europaea*) based upon mitochondrial DNA polymorphism », *Comptes rendus à l'Académie des Sciences de Paris, Sciences de la vie* 323, 173-181.
- Besnard, G., Khadari B., Baradat, P. & Bervillé, A. (2002) Combination of chloroplast and mitochondrial DNA polymorphisms to study cytoplasm genetic differentiation in the olive complex (*Olea europaea* L.). *Theoretical and Applied Genetics* 105, 139-144.
- Blondel, J. & Aronson, J. (1995) Biodiversity and ecosystem function in the Mediterranean Basin: human and non-human determinants. In *Mediterranean-type Ecosystems. The function of biodiversity*, ed. G. W. Davis and D. M. Richardson, pp. 43-119. Berlin, Springer-Verlag.
- Bookstein, F. L. (1991) Morphometric tools for landmark data. Geometry and Biology. Cambridge University Press, Cambridge.
- Carlquist, S. (1988). *Comparative Wood Anatomy. Systematic, Ecological and Evolutionary Aspects of Dicotyledons Wood*. Heidelberg, Germany: Springer-Verlag, Berlin.
- Carrión, J. S. (2002). Patterns and processes of Late Quaternary environmental change in a montane region of southwestern Europe. *Quaternary Science Review* 21, 2047 - 2066.
- Daget, P. (1984). Introduction à une théorie générale de la méditerranéité. *Bull. Soc. Bot. Fr* 131, 31-36.
- Degrully, L. (1907) *L'olivier*. Coulet et fils éditeurs, Montpellier. 223 p.
- Durand, A. (1998). *Les paysages médiévaux du Languedoc (Xe-XIIIe siècle)*. Toulouse, France : Presses universitaires du Mirail.
- Durand A. & Terral J.-F., (2005-2006) Regarder autrement le charbon de bois archéologique : l'exemple de l'irrigation des plantations d'oliviers (IXe-XVe siècle), *Archéologie du Midi médiéval* 23-24, 75-92.
- Fauquette, S., Suc, J.-P., Guiot, J., Diniz, F., Feddi, N., Zheng, Z., Bessais, E. & Drivalliari. A. (1999). Climate and biomes in the west Mediterranean area during Pliocene. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 152, 15-36.
- Figueiral, I & Terral, J.-F. (2002). Late Quaternary refugia of Mediterranean taxa in the Portuguese Estremadura: Charcoal based palaeovegetation and climatic reconstruction. *Quaternary Science Review* 21, 549-558.
- Haywood, A.M., Valdes, P.J., & Sellwood, B.W. (2000). Global scale palaeoclimate reconstruction of the middle Pliocene climate using the UKMO GCM: initial results. *Global and Planetary Change* 25, 239-256.
- Herrero J. & Snyder, R. L. (1997). Aridity and irrigation in Aragon, Spain. *Journal of Arid Environments* 35, 535-547.
- Latorre, J. S., García-Latorre, J. & Sanchez-Picón, A. (2001). Dealing with aridity: socio-economic structures and environmental changes in arid Mediterranean region. *Land Use Policy* 18, 53-64.
- Leveau P., Heinz C., Laval H., Marinval P. & Medus J. (1991). Les origines de l'oléiculture en Gaule du Sud. Données historiques, archéologiques et botaniques. *Revue d'archéométrie* 15, 83-94.
- Marcus, L. F., Corti, M., Loy, A., Naylor, G. J. P. & Slice, D. (1996). *Advances in Morphometrics*. NATO ASI series, Plenum Press, NY. 587 p.

- Newton C., Terral J.-F. & Ivorra S. (2006). The Egyptian olive (*Olea europaea* subsp. *europaea*) in the later first millennium BC: origins and history using the morphometric analysis of olive stones. *Antiquity* 80, 405-414.
- Patumi, M., d'Andrea, R., Marsilio, V., Fontanaza, G., Morelli, G. & Lanza, B. (2002). Olive and olive oil quality after intensive monoculture olive growing (*Olea europaea* L., cv. Kalamata) in different irrigation regimes. *Food Chemistry* 77, 27-34.
- Planchais, N. (1982) Palynologie lagunaire de l'Etang de Maugio. Paléoenvironnement végétal et évolution anthropique. *Pollen et Spores*, XXIV(1), 93-118.
- Pons A. & Reille M. (1988). The Holocene and Upper Pleistocene pollen record from Padul (Granada, Spain) : a new study. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 66, 243-263.
- Raymo, M.E., Grant, B., Horowitz, M., & Rau, G.H. (1996). Mid-Pliocene warmth: stronger greenhouse and stronger conveyor. *Marine Micropaleontology* 27: 313-326.
- Richter, W. (1996). *Das Wissen des vollkommenen Landwirts um 1300 (vol. XXVI)*. Text edited from the original manuscripts of P. de Crescenzi: *Ruralia commoda* (1302-1304). Heidelberg, Germany: Universitätsverlag C. Winter.
- Solari, M.E. & Vernet, J.-L., (1992) Late glacial and Holocene vegetation of the Corbières based on charcoal analysis at the Cova de l'Espérit (Salses, Pyrénées Orientales, France). *Review of Palaeobotany and Palynology* 71: 111-120.
- Suc, J.-P. (1984). Origin and evolution of the Mediterranean vegetation and climate in Europe. *Nature* 307 (5950), 429-432.
- Terral J.-F. (1993). Olivier sauvage et olivier cultivé : approche par l'analyse minérale du bois, application à du matériel anthracologique. Mémoire de DEA, Université Montpellier 2.
- Terral J.-F. (1996). Wild and cultivated olive (*Olea europaea* L.): a new approach to an old problem using inorganic analyses of modern wood and archaeological charcoal. *Review of Palaeobotany and Palynology* 91, 383-397.
- Terral, J.-F. (1997). Débuts de la domestication de l'olivier (*Olea europaea* L.) en Méditerranée nord-occidentale, mise en évidence par l'analyse morphométrique appliquée à du matériel anthracologique. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris* 324 (5), série IIa, 417-425.
- Terral, J.-F. (2000). Exploitation and management of the olive tree during Prehistoric times in Mediterranean France and Spain. *Journal of Archaeological Sciences* 27 (2), 127-133.
- Terral, J.-F. & Arnold-Simard, G. (1996). Beginnings of olive cultivation in Eastern Spain in relation to Holocene bioclimatic changes. *Quaternary Research* 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.
- Terral J.-F., Badal E., Heinz C., Roiron P., Thiébaud S. & Figueiral I. (2004a). A hydraulic conductivity Model points to post-Neogene survival of the Mediterranean Olive in riparian habitat. *Ecology* 85 (11), 3158-3165.
- Terral J.-F., Alonso N., Buxo R., Chatti N., Fabre L., Fiorentino G., Marival P., Perez G., Pradat B. & Alibert P. (2004b). Historical Biogeography of olive domestication (*Olea europaea* L.) as revealed by geometrical morphometry applied to Biological and Archaeological material. *Journal of Biogeography* 31, 63-77.
- Terral J.-F. & Durand A., (2006). Bio-archaeological evidence of olive tree (*Olea europaea* L.) irrigation during Middle Ages in Southern France and North Eastern Spain, *Journal of Archaeological Science* 33, 718-124.

- Thiébaud S., Terral J.-F. & Marinval P. (2004). Gestion et exploitation d'un territoire au Néolithique : Le cas de Giribaldi (Nice, Alpes-Maritimes). L'apport de macrorestes végétaux. *Bulletin de la Société Préhistorique Française*, numéro spécial, 325-333.
- Triat Laval, H. (1982) Pollen-analyse de sédiments quaternaires récents du pourtour de l'étang de Berre. *Ecologia Mediterranea* VIII (4), 98-136.
- Vernet J.-L. (1997). *L'homme et la forêt méditerranéenne de la Préhistoire à nos jours*. Editions Errance, Paris. 248 p.
- Wimmer, R., Downes, G. M. & Evans, R. (2002). High-resolution analysis of radial growth and wood density in *Eucalyptus nitens*, grown under different irrigation regimes. *Annals of Forest Sciences* 59, 519-524.
- Yilmaz P.O., Norton I., Leary D. & Chuchla R.J. (1996). Tectonic evolution and paleogeography of Europe. In Ziegler P.A. et Horvath F. (eds) Peri-Tethys Memoir 2 : structure and prospects of Alpine Basins and Forelands. *Mém. Mus. nat. Hist. nat.*, 170, 47-60
- Zimmermann, M. H. (1983). *Xylem structure and the ascent of Sap*. Berlin, Germany: Springer Verlag.
- Zohary D. & Spiegel-Roy P., (1975). Beginning of fruit growing in the Old World, *Science* 187, 319-327.