Middle Pleistocene vegetation and climate in southern Italy (Biano basin, Molise)

Ronan Orain, Vincent Lebreton, Elda Russo ermolli, Pietro Aucelli, Vincenzo Amato

► To cite this version:

Ronan Orain, Vincent Lebreton, Elda Russo ermolli, Pietro Aucelli, Vincenzo Amato. Middle Pleistocene vegetation and climate in southern Italy (Biano basin, Molise). *Quaternaire*, 2012, 23 (1), pp.37-48. 10.4000/quaternaire.6154 . hal-02941410

HAL Id: hal-02941410

<https://hal.science/hal-02941410>

Submitted on 17 Sep 2020

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.

VÉGÉTATION ET CLIMAT AU PLÉISTOCÈNE MOYEN EN ITALIE MÉRIDIONALE (BASSIN DE BOIANO, MOLISE)

Ronan ORAIN¹, Vincent LEBRETON¹, Elda RUSSO ERMOLLI^{1,2}, Pietro AUCELLI³
& Vincenzo AMATO⁴

RÉSUMÉ

Les bassins sédimentaires des Apennins centraux et méridionaux sont propices à la conservation des archives paléoenvironnementales continentales. L'étude palynologique de ces dépôts retrace l'évolution de la végétation et des climats en Italie au Quaternaire, tant à l'échelle régionale que micro-régionale. A ce titre, le bassin de Boiano (Molise, Italie) a enregistré une importante sédimentation lacustre et fluvio-palustre depuis le Pléistocène moyen. Plusieurs niveaux de téphras intercalés dans les dépôts posent le cadre chronologique de la séquence, dont la base est antérieure à 440 ka. Cette étude détaille l'évolution des environnements dans le bassin entre les stades isotopiques de l'oxygène 13 et 2. Les dynamiques environnementales confirment l'appauvrissement graduel des forêts caducifoliées au Pléistocène moyen et décrivent plusieurs spécificités propres au bassin de Boiano. *Quercus*, élément omniprésent au Pléistocène moyen en Italie méridionale, est ici peu représenté et systématiquement associé à *Fagus* durant les interglaciaires. Le milieu, caractérisé par une humidité permanente, climatique ou édaphique, a favorisé la persistance de taxons hygrophiles. Ainsi, *Carya* est présent jusqu'au stade isotopique de l'oxygène 9, constituant son enregistrement le plus tardif en Europe occidentale. Le bassin de Boiano a donc pu constituer un refuge écologique pour la flore arborée du Pléistocène moyen. La physiographie du bassin atténue certainement l'ampleur des dégradations climatiques lors des épisodes glaciaires.

Mots-clés : palynologie, paléoenvironnements, Pléistocène moyen, cycles climatiques, *Carya*, Italie

ABSTRACT

MIDDLE PLEISTOCENE VEGETATION AND CLIMATE IN SOUTHERN ITALY (BOIANO BASIN, MOLISE)

The sedimentary basins of the central and southern Apennines are suitable to the conservation of continental palaeoenvironmental archives. The study of those deposits traces the evolution of vegetation and climates in Italy during the Quaternary, at regional and micro-regional scales. Thus, the Boiano Basin (Molise, Italy) recorded an important lacustrine and fluvio-palustrine sedimentation since the Middle Pleistocene. According to the tephrostratigraphy, which forms the chronological framework of the sequence, the basal deposits are assumed to be older than 440 ka. Three major phases of sedimentation were recognized by means of lithology. Palynology enabled to detail the evolution of the environments synchronous to those sedimentary fillings between the oxygen isotopic stages 13 and 2. The environment dynamics confirms the progressive reduction of the deciduous forest diversity during the Middle Pleistocene, and characteristics of the Boiano basin are enlightened. *Quercus*, omnipresent element during the Middle Pleistocene of southern Italy, is quite scarce along the whole sequence and systematically associated with *Fagus* during the interglacial phases. The biotope, characterized by a continuous, atmospheric or edaphic, humidity favoured the persistence of hygrophilous taxa. In fact, *Carya* is present until the oxygen isotopic stage 9, which represents its latest record in Western Europe. Thus, the Boiano basin could have constituted an ecological refuge for the arboreal flora of the Middle Pleistocene. The physiography of the basin certainly softened the effects of climatic deterioration during glacial episodes.

Keywords: palynology, palaeoenvironment, Middle Pleistocene, climatic cycles, *Carya*, Italy

1 - INTRODUCTION

L'évolution des climats lors de la *Mid-Pleistocene Transition* est bien enregistrée à l'échelle globale à travers les données isotopiques (Ruddiman *et al.*, 1989; Lisiecki & Raymo, 2005). Ces changements globaux s'expriment principalement par une crise d'aridité, survenue vers 0.9-0.8 Ma à la transition des cycles climatiques de 41 ka

à 100 ka et 400 ka, et par l'allongement et l'intensification des phases glaciaires, quand la rythmicité à 100 ka des cycles est bien établie. Les écosystèmes de l'Europe méditerranéenne ont été fortement impactés pendant le Pléistocène moyen par ce nouveau forçage climatique (Joannin *et al.*, 2010). L'appauvrissement progressif de la diversité floristique des environnements initié au Pliocène se poursuit, avec un décalage net entre les régions

¹ Département de Préhistoire du Muséum national d'Histoire naturelle, UMR 7194 CNRS, 1 rue René Panhard, F-75013 PARIS.

Courriel : ronan.orain@edu.mnhn.fr

² Dipartimento di Arboricoltura Botanica e Patologia vegetale, Università di Napoli Federico II, via Università 100, I-80055 PORTICI (NA).

³ Dipartimento S.T.A.T. Università degli Studi del Molise, Contrada Fonte Lappone, I-86090 PESCHE (IS).

⁴ Dipartimento DiSAM, Università degli Studi di Napoli Parthenope, Centro Direzionale, I-80100 NAPOLI.

nord et sud, ainsi qu'entre l'ouest et l'est (Suc *et al.*, 1995; Suc & Popescu, 2005; Tzedakis, 2005). Ces modifications sont bien documentées à l'échelle de la péninsule italienne (Bertini, 2010), mais les enregistrements paléoenvironnementaux témoignent d'une grande disparité de conditions aux échelles régionales et micro-régionales à travers toute l'Italie (Bertini, 2010; Magri, 2010; Magri *et al.* 2010, Russo Ermolli *et al.* 2010a, 2010b; Manzi *et al.*, 2011).

L'étude pollinique des enregistrements du bassin de Boiano (Molise) vient enrichir le corpus de données environnementales et climatiques de l'Italie méridionale. Les résultats palynologiques préliminaires illustrent les réponses de la végétation à la cyclicité climatique du Pléistocène moyen et affinent les données sédimentologiques et géomorphologiques qui font la spécificité du bassin de Boiano (Amato *et al.*, 2011; Aucelli *et al.*, 2011; Santangelo *et al.*, sous presse).

2 - CADRE DE L'ÉTUDE

Le bassin de Boiano (41,482963°N, 14,47163°E; Molise, Italie méridionale) est une large dépression tectonique des Apennins méridionaux entre les massifs de Matese au sud-ouest et de Montagnola di Frosolone et les collines de Sannio au nord-est (fig. 1). C'est une plaine encaissée s'étendant en direction NW-SE sur environ 20 kilomètres, avec une altitude moyenne de 500 mètres. Le bassin est actuellement traversé par la rivière Biferno.

Formé entre l'unité argilo-marneuse crétacée des collines de Sannio au nord et un ensemble de granites et de dépôts carbonatés datant du Trias au Miocène au sud et à l'ouest, le bassin a enregistré plusieurs phases de compression au Miocène et au Pliocène, suivies d'importants décrochements tectoniques (Di Bucci *et al.*, 2002, 2005; Aucelli *et al.*, 2011).

Au Quaternaire, d'importants dépôts se sont rapidement mis en place (Aucelli *et al.*, 2011), alternant entre phases de dépôt lacustres, palustres et fluviatiles. Soixante-douze mètres ont ainsi été carottés sur le sondage étudié, nommé Boiano S6 (fig. 2). Il présente un ensemble hétérogène de faciès lithologiques, alternant phases lacustres, palustres et fluviatiles. Cette séquence quaternaire présente un enregistrement sédimentaire discontinu, marquée notamment par deux importants hiatus. La variété des dépôts peut s'expliquer par différents régimes de remplissage de la vallée et des apports en eau irréguliers, notamment issus des masses d'eau de fonte des massifs voisins (Aucelli *et al.*, 2011). En sommet de séquence, un niveau de paléosol contenant du matériel archéologique (tessons de céramique) a été mis en évidence.

Plusieurs niveaux de téphras s'intercalent au sein de ces dépôts. Ces téphras ont été datés par $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dans le bassin ou corrélés par leurs signatures éruptives avec d'autres dépôts de la région (Aucelli *et al.*, 2011; Amato *et al.*, 2011; Santangelo *et al.*, sous presse). Toutefois les signatures chimiques d'éruptions distinctes peuvent être très similaires régionalement (Giannetti, 2001; Rouchon *et al.*, 2008). Aussi, seuls les niveaux offrant des corrélations

certaines ont été retenus (fig. 2). Le niveau de téphras Mol 16 mis en évidence à 65 mètres de profondeur a été corrélé avec un téphra mis en évidence dans le bassin voisin de Sessano et datés de $437,9 \pm 1,9$ ka BP (Russo Ermolli *et al.*, 2010b; Aucelli *et al.*, 2011). Le téphra Mol 14 situé à 41 mètres de profondeur a pu être corrélé avec un niveau volcanique directement daté dans un autre carottage effectué dans le bassin de Boiano (situé à 300 mètres du sondage étudié), donnant un âge de $311 \pm 4,7$ ka BP (Aucelli *et al.*, 2011). Enfin, au sommet de la séquence, un niveau de tuf Mol 3 est identifié et corrélé avec le Tuf Jaune Napolitain (*Tufo Giallo Napoletano*, TGN) daté de 15 ka BP environ (Deino *et al.*, 2004; Aucelli *et al.*, 2011). Le cadre chronologique offert par ces datations couvre donc l'intervalle entre les stades isotopiques de l'oxygène (OIS, *Oxygen Isotope Stage*) 12 à 2.

Fig. 1 : Localisation, contextes géologique et morpho-tectonique du bassin de Boiano et des principaux bassins sédimentaires voisins de la région de Molise (d'après Aucelli *et al.*, 2011).

1/ Dépôts fluviolacustres (Quaternaire), 2/ Dépôts silico-clastiques (Miocène), 3/ Argile, marne et calcaire du Sannio (Crétacé sup.-Miocène), 4/ Calcaires, dolomites et marnes de la Plateforme carbonatée (a) et dépôts carbonatés d'escarpement (b) (Trias-Miocène), 5/ Principales failles, 6/ Principaux axes de progression tectonique.

Fig. 1: Location, geological and morpho-tectonic contexts of the Boiano basin and of the main close sedimentary basins of the Molise region (from Aucelli *et al.*, 2011). 1/ Fluvio-palustrine deposits (Quaternary), 2/ Siliciclastic deposits (Miocene), 3/ Clays, marls and limestones of Sannio (Upper Cretaceous-Miocene), 4/ Limestones, dolomites, marls of carbonate platform (a) and carbonate slope deposits (b) (Triassic-Miocene), 5/ Main thrusts, 6/ Main extensional faults.

Fig. 2: Log lithologique du carottage Boiano S6 (modifié d'après Aucelli *et al.*, 2011).

Fig. 2: Lithographic log of the the Boiano S6 core (modified from Aucelli *et al.*, 2011).

3 - MATÉRIEL ET MÉTHODES

3.1 - ÉCHANTILLONNAGE ET TRAITEMENT CHIMIQUE

Plusieurs sondages ont été réalisés en 2009 en vue de la révision de la carte géologique italienne. L'étude pollinique a porté sur la carotte Boiano S6 (72 m). Trente-huit échantillons, répartis dans les différents faciès lithologiques ont été étudiés. Pour chaque échantillon, 10 grammes de sédiments ont été prélevés et traités chimiquement selon un protocole standard (Cour, 1974; Fægri & Iversen, 1989): attaques HCl, HF, KOH, flottation en liqueur dense et filtrations à 200 μ m et 10 μ m. Les concentrations polliniques sont calculées en ajoutant des tablettes de Lycopodes de concentration connue. Le filtrat est monté dans du glycérol entre lame et lamelle. La détermination des grains de pollen est faite au microscope optique à transmission (x 1000), en utilisant des atlas de comparaisons (Reille, 1992) et la collection de références du laboratoire de palynologie du Département de Préhistoire du Muséum national d'Histoire naturelle.

3.2 - TRAITEMENT STATISTIQUE

Au moins 300 grains en dehors des Cyperaceae et des Poaceae, taxons surreprésentés, sont comptés pour chaque spectre pollinique. Le diagramme pollinique présente les pourcentages de chaque taxon par rapport à la somme de base comprenant l'ensemble des taxons polliniques déterminés moins les Cyperaceae. Les taxons d'arbres et d'herbacées sont séparés par un bloc diagramme figurant la répartition AP/NAP (Arboreal Pollen / Non Arboreal Pollen). Le calcul de la concentration pollinique de *Pinus* est réalisé pour suivre son évolution indépendamment des autres taxons. Les taux des Cyperaceae, Poaceae, ptéridophytes et indéterminés sont calculés sur la base de la somme totale des spores et pollens déterminées.

Une analyse de partitionnement de données (cluster) a permis d'établir une zonation objective des résultats palynologiques, suivant le principe de la matrice d'Aitchison de distance entre observations (Di Donato *et al.*, 2008).

Afin de préciser la signification paléoécologique des données palynologiques, un test de Biplot de Variation Relative (BVR) a été réalisé (Aitchison & Greenacre, 2002). Les individus testés sont regroupés en ensembles mono- ou pluri-taxonomiques, selon leur signification paléoenvironnementale. Une attention particulière a notamment été portée sur les taxons s'éteignant au Pléistocène moyen ou supérieur (Bertini, 2010). Pour ce test statistique, un ensemble maximum de 15 individus est requis (Aitchison & Greenacre, 2002). Les individus retenus sont les taxons *Abies*, *Artemisia*, *Carya*, *Cedrus*, *Ephedra*, *Fagus*, *Picea*, *Pinus*, Poaceae et *Quercus* dec., et les groupes Ulmaceae (*Ulmus*, *Zelkova*), Forêt dec. (Forêt décidue; individu composé des autres arbres caducifoliés), Herbes (autres herbacées), Aquatiques (Cyperaceae, Ranunculaceae, *Myriophyllum*, *Potamogeton*, *Typha* / *Sparganium*) et Spores (ensemble des ptéridophytes).

3.3 - GROUPEMENTS ÉCOLOGIQUES

Les différents taxons représentés peuvent être regroupés selon leurs affinités écologiques, suivant un cadre déjà proposé pour la région méditerranéenne (Suc, 1984). Ces groupes s'organisent notamment selon l'altitude et l'orientation des versants. La morphologie et l'altitude du bassin de Boiano supposent certaines spécificités, précisées dans la présentation des groupes concernés. Ces regroupements facilitent la compréhension des assemblages et permettent de donner une meilleure image des environnements passés et de leur évolution.

3.3.1 - Ripisylve

A proximité des zones humides, l'humidité ambiante et édaphique est forte et constante. Elle favorise le développement de taxons exigeants en humidité édaphique comme *Fraxinus*, *Alnus* et *Salix*.

3.3.2 - Forêt mésophile

Aux mêmes altitudes et sur substrat plus sec se développe la chênaie caducifoliée (ou chênaie mixte), dominée par *Quercus* type caducifolié. Il est associé à un cortège d'arbres caducifoliés (*Betula*, *Carpinus*, *Tilia*, *Ulmus*, *Zelkova*, *Tilia*, *Acer*, *Pterocarya*, *Carya*,...), d'arbustes (*Ericaceae*,...) et de lianes (*Hedera*). La physiographie du bassin, notamment son altitude moyenne, favorise certains éléments de la forêt collinéenne. *Fagus* est ainsi fréquemment associé à cette chênaie variée, même s'il n'en est pas un élément classique. De plus, les rares occurrences de taxons méditerranéens (*Quercus ilex* type, *Carpinus* / *Ostrya* type) y sont incluses. Ces taxons ne sont jamais significatifs, ils ne constituent donc pas une formation végétale formellement identifiée dans les assemblages palynologiques.

3.3.3 - Forêts d'altitude

Plus en altitude, des taxons microthermes, apparaissent et remplacent la forêt mésophile. Deux ensembles se distinguent par gradient d'altitude, avec *Cedrus* en moyenne altitude, relayé à plus hautes altitudes par *Abies* puis *Picea*.

3.3.4 - Pinus

Pinus est isolé des autres arbres car présent tout au long de la séquence en pourcentages élevés. Il n'est pas aisé de trancher entre une présence locale ou un apport régional. En effet, en raison de sa production pollinique élevée et de sa capacité de dispersion lointaine, son taux de représentation n'est pas toujours significatif. De plus, ce taxon pollinique n'a pas une signification paléoenvironnementale très précise du fait des nombreuses espèces existantes et présentant une grande disparité d'exigences écologiques.

3.3.5 - Formations herbacées

La formation herbacée la plus significative correspond aux regroupements steppiques, représentés par l'association à *Artemisia* et *Ephedra*, caractéristique d'un milieu aride. Cependant, le genre *Artemisia* regroupe des espèces à exigences variées. Dans le contexte du bassin de Boiano, la présence d'espèces du genre *Artemisia* de milieu plus humide ou d'altitude n'est pas à exclure, notamment dans les niveaux où ce taxon n'est pas associé à *Ephedra* (Subally & Quézel, 2002). Les Chenopodiaceae, également fréquemment associées à la steppe, sont présentes durant toute la séquence. Là encore, leur présence ne peut être considérée comme un marqueur exclusivement steppique, mais peut rejoindre le signal steppique de l'association *Artemisia* et *Ephedra* lorsque ces deux taxons sont présents.

Les Asteroideae et les Cichorioideae, deux taxons polliniques de la famille des Asteraceae, peuvent traduire

d'une conservation différentielle du matériel pollinique en cas de surreprésentation importante. Ces taxons doivent être discutés au vu de la signification de certains assemblages où ces taxons sont dominants.

Les autres herbacées n'ont pas de signification paléoenvironnementale ou climatique marquée. Elles sont principalement considérées comme marqueurs des milieux à tendance secs, par opposition aux arbres, globalement plus exigeants en humidité. Par défaut, ces cortèges peu significatifs sont simplement appelés herbacées.

3.3.6 - Plantes de milieux humides et aquatiques

Plusieurs plantes de milieux humides sont présentes tout au long de la séquence sédimentaire lacustre et fluvio-palustre. Elles sont représentées par les taxons hygrophiles Cyperaceae et Ranunculaceae, ainsi que par les taxons aquatiques *Myriophyllum*, *Potamogeton* et *Typha* / *Sparganium*. Les Poaceae peuvent ici être associées aux hygrophiles au vu de leurs taux très importants durant toute la séquence et de leur évolution comparable aux Cyperaceae.

Dans l'ensemble, les taxons hygrophiles et aquatiques sont plus sensibles aux conditions édaphiques que climatiques, il n'est pas possible de leur associer directement une valeur environnementale. Ces taxons traduisent surtout l'évolution des milieux aquatiques.

4 - RÉSULTATS PALYNOLOGIQUES

Sur les 38 échantillons traités, 6 étaient stériles en matériel sporopollinique (fig. 3a et 3b). Les concentrations polliniques varient de 1400 à 11000 grains de pollen environ par gramme de sédiment traité.

La séquence palynologique de Boiano S6 est divisée en quatre zones polliniques locales (*Local Pollen Zone*, LPZ) nommé LPZ 1 à LPZ 4, sur la base de l'analyse de partitionnement des données, de la base vers le sommet de la séquence (fig. 3a et 3b).

L'enregistrement sédimentaire dans le bassin de Boiano est discontinu et hétérogène (fig. 2), occasionnant localement des signaux polliniques très brefs. Cette discontinuité s'exprime par la présence de plusieurs spectres isolés.

4.1 - LPZ 1

La LPZ 1 se caractérise par une majorité d'AP. *Fagus* (10 %) puis *Abies* (25 %) dominant successivement les assemblages, accompagnés de *Picea* et *Quercus* type caducifolié (≈ 5 %), et *Carpinus betulus* type, *Alnus* et *Corylus* (< 3 %). *Carya* est ponctuellement représenté. Les Asteraceae dominent largement (≈ 35 %) les herbacées, avec *Artemisia* (≈ 5 %). Dans un second temps, *Fagus* et *Carya* disparaissent. En fin de zone, les Cyperaceae et les Poaceae enregistrent leurs plus faibles taux de la séquence.

Fig. 3a : Diagramme pollinique détaillé des AP de la séquence de Boiano S6, incluant l'évolution de la concentration de *Pinus* (exprimée en grain de pollen par gramme de sédiment).

Fig. 3a: Detailed AP pollen diagram of the Boiano S6 sequence, including the evolution of the concentration of *Pinus* (expressed in pollen grains per gram of sediment).

Fig. 3b : Diagramme pollinique détaillé des NAP de la séquence de Boiano S6.

Fig. 3b: Detailed NAP pollen diagram of the Boiano S6 sequence.

4.2 - LPZ 2

La LPZ 2 est un long ensemble discontinu largement dominé par les NAP. Les Asteraceae (principalement les Cichorioideae) sont nettement majoritaires, oscillent d'environ 15 % à 60 %. *Artemisia*, Chenopodiaceae (jusqu'à 5 %) et *Ephedra* sont également présents. Plusieurs taxons d'arbres sont ponctuellement représentés avec des taux inférieurs à 5 % : *Carpinus* / *Ostrya* type, *Fagus*, *Alnus*, *Corylus*, *Tilia*, *Ulmus*, *Zelkova* et *Acer*. *Pinus* et *Quercus* type caducifolié sont les seuls arbres présents de façon continue, mais la concentration de *Pinus* n'est que peu significative. *Quercus* atteint localement 10 %. Un grain de *Normapolles* (64,10 m) et un kyste de dinoflagellé (60,20 m) sont déterminés dans des niveaux où les Asteraceae sont proches de leur maximum. Dans un second temps, les Asteraceae tombent sous les 30 % mais restent majoritaires. Les Fabaceae marquent leur seul pic de représentation (≈ 10 % à 56,20 m) et *Artemisia* disparaît. A 50,50 m, *Zelkova* et le type *Ulmus* / *Zelkova* enregistrent un pic (≈ 20 %). Ces deux taxons polliniques majoritaires sont accompagnés de *Alnus* (≈ 5 %), *Quercus* type caducifolié, *Carpinus betulus* type et *Corylus* (< 3 %), ainsi que des Ericaceae. *Pinus* est également bien représenté mais reste peu significatif au regard de sa concentration. Les NAP enregistrent leur plus faible taux de la zone, essentiellement représenté par les Asteraceae (≈ 15 %) et *Plantago* (≈ 4 %). Enfin, situé après un important hiatus sédimentaire et une série de dépôts sableux impropres à la conservation pollinique (fig. 2), le dernier spectre de cette zone est à nouveau dominé par les NAP, dont les Asteraceae (≈ 50 %), Chenopodiaceae (≈ 7 %), *Artemisia* et *Ephedra*. *Quercus* type caducifolié (≈ 6 %), *Fagus*, *Tilia*, *Ulmus* / *Zelkova*, *Alnus* et *Corylus* (> 3 %) sont les rares arbres présents.

Tout au long de cette zone, les Cyperaceae, Poaceae et Ranunculaceae restent bien développés. Ces taxons enregistrent une relative oscillation mais ne marquent pas de progressions ou régressions significatives.

4.3 - LPZ 3

La LPZ 3 est dominée par les AP et se décompose en deux sous-zones. La LPZ 3a est nettement dominée par les AP (de 60 à 95 %), avec *Quercus* type caducifolié (> 20 %) et *Fagus* (5 à 15 %) majoritaires mais en régression et *Abies* se développant (de 5 à 20 %). *Pinus* (> 20 %) enregistre ses taux les plus faibles, cohérent avec le signal de sa concentration pollinique. Le cortège des arbres est complété par *Tilia* (jusqu'à 5 %), *Carya* (jusqu'à 4 %), *Carpinus betulus* type, *Juglans*, *Ulmus*, *Zelkova*, *Corylus*, *Alnus*, *Betula*, *Picea*, *Pterocarya* ainsi que *Fraxinus* et *Cedrus*, apparaissant tous deux en fin de sous-zone. Le cortège herbacé est composé par les Asteraceae, *Artemisia*, Chenopodiaceae (≈ 5 %), Apiaceae, Caryophyllaceae, Brassicaceae, Polygonaceae et *Plantago*, sont les principaux taxons représentés. Les Cyperaceae, Poaceae et Ranunculaceae se développent progressivement, et *Myriophyllum* enregistre un pic en

fin de sous-zone. Cette sous-zone est interrompue par une passée sableuse impropre à la conservation pollinique (fig. 2).

Dans la LPZ 3b, cette diversité des taxons arboréens se réduit fortement. *Juglans* et *Carya* s'éteignent, et *Pterocarya*, *Ulmus*, *Zelkova*, *Tilia* et les Ericaceae disparaissent. *Quercus* type caducifolié et *Fagus* poursuivent leur repli, tandis que *Abies* et *Picea* se développent et atteignent tous deux leurs maxima. *Fraxinus* et *Cedrus* se maintiennent puis disparaissent. *Artemisia* reste présent puis disparaît en même temps que *Cedrus* et *Fraxinus*. Les Asteraceae, Brassicaceae, Chenopodiaceae et *Plantago* sont les seules herbacées qui se maintiennent. Tous les taxons associés aux milieux aquatiques se replient (les Poaceae tombent de 45 à 25 %) à l'exception de *Potamogeton* qui se développe en fin de zone (≈ 3 % maximum).

4.4 - LPZ 4

La LPZ 4 est un ensemble hétérogène, marqué par plusieurs niveaux stériles et globalement dominé par les AP (toujours > 60 %, sauf dans un spectre), mais les arbres sont dans la majorité des spectres représentés principalement par *Pinus*. De nombreux autres taxons arboréens sont enregistrés, dont *Abies*, *Corylus*, *Fagus*, *Quercus* type caducifoliée, *Carpinus betulus* type, *Tilia*, *Ulmus*, *Euonymus*, *Alnus*, *Betula*, *Pterocarya*, *Salix*, *Acer*, *Zelkova* et *Quercus ilex* type. *Abies*, *Corylus* et *Fagus* sont les seuls arbres enregistrés de façon relativement continue. Les herbacées sont représentées plus en continue, principalement par les Asteraceae, Chenopodiaceae, Brassicaceae, Caryophyllaceae et *Artemisia* ainsi que ponctuellement par les Lamiaceae, *Plantago* et les Apiaceae. Les taxons hygrophiles Cyperaceae, Poaceae et Ranunculaceae sont bien représentés tout au long de la zone, marquant même un pic commun très important à 25,20 m (Cyperaceae > 70 % de la somme totale des grains). Ce spectre enregistre l'un des taux les plus bas en AP. Les herbacées y sont dominées par les Asteraceae (≈ 50 %). Les spectres suivants (de 24 à 15,50 m) sont marqués par des assemblages fortement hétérogènes, à l'image de la lithologie très perturbée à ces niveaux (fig. 2). A 13,70 m, le cortège arboréen est composé de *Quercus* type caducifoliée (≈ 20 %) et *Fagus* (5 %), accompagnés par *Betula*, *Corylus*, *Alnus*, *Abies* et de *Quercus* type *ilex*, ainsi que de *Pinus* qui enregistre ses plus faibles taux de représentation et concentration. Parmi les herbacées, *Artemisia*, les Asteraceae et les Chenopodiaceae sont majoritaires. Les Cyperaceae et les Poaceae reculent et se stabilisent. Le dernier spectre, situé après plusieurs niveaux stériles se caractérise par un spectre fortement dominé par les AP, composé de *Pinus* très majoritaire (40 %, sur un total AP à 60 %), *Abies* (5 %), *Quercus* type caducifoliée (3 %), *Picea*, *Corylus* et *Betula*. Les herbacées sont dominées par les Asteraceae (20 %), suivies par les Chenopodiaceae, *Artemisia* et *Ephedra*.

5 - VÉGÉTATION ET CLIMAT AU PLÉISTOCÈNE MOYEN EN ITALIE

5.1 - ÉVOLUTION DES ENVIRONNEMENTS ET CLIMATOSTRATIGRAPHIE.

Au Pléistocène moyen en Italie, la cyclicité climatique s'enregistre par l'alternance entre la steppe (*Artemisia*, *Ephedra*, *Chenopodiaceae* – et parfois *Hippophae* –) durant les glaciaires et la chênaie mixte, accompagnée selon les régions de *Pterocarya*, *Juglans* ou encore *Carya*, durant les interglaciaires (Bertini, 2010; Russo Ermolli *et al.*, 2010a, 2010b). Une tentative de corrélation des LPZ du diagramme pollinique de Boiano (fig. 3a et 3b) avec la stratigraphie isotopique s'appuyant sur les données géochronologiques des téphras (Aucelli *et al.*, 2011), a été réalisée afin de suivre l'évolution de la végétation en réponse aux changements climatiques du Pléistocène moyen et supérieur. Il n'est cependant pas possible de corréler directement toutes les LPZ avec la stratigraphie isotopique au vu de la discontinuité de la séquence sédimentaire. La palynologie se montre performante pour décrire l'évolution des environnements et affiner les résultats paléoenvironnementaux préliminaires (Aucelli *et al.*, 2011), mais ne complète que partiellement le cadre chronostratigraphique de la séquence de Boiano.

La LPZ 1, dominée par les arbres microthermes (*Abies*, *Picea*) et mésophiles exigeants en humidité (*Fagus*, *Alnus*), indiquerait une phase humide et relativement tempérée. Le développement des conifères et le repli des arbres caducifoliés peuvent être interprétés comme une dynamique de végétation de fin d'interglaciaire. La séquence n'enregistre pas de hiatus sédimentaire avec la LPZ suivante, débutant avant le niveau de téphra Mol 16 daté à $437 \pm 1,9$ ka BP, et correspondant à l'OIS 12 (Mc Manus *et al.*, 1999; Lisiecki & Raymo, 2005). La LPZ 1 pourrait alors être rattaché à l'OIS 13. La chute brutale des hygrophiles survenue en fin de zone pourrait témoigner d'un haut niveau lacustre. L'augmentation de la taille d'eau peut avoir repoussé ces communautés végétales loin du point de carottage, limitant ainsi leur représentation.

La LPZ 2 présente un assemblage de végétation glaciaire steppique typique du Pléistocène moyen en Italie méridionale. La persistance de *Quercus* type caducifolié est également connue régionalement à cette époque (Russo Emolli, 1994; Russo Ermolli & Cheddadi, 1997; Munno *et al.*, 2001; Russo Ermolli *et al.*, 2010b; Manzi *et al.*, 2011). Les arbres plus exigeants, comme *Acer*, *Alnus*, *Carpinus* et *Ulmus* ont pu bénéficier du maintien d'une partie de l'humidité édaphique locale dont témoignent les hygrophiles. Ce type d'environnement glaciaire au Pléistocène moyen est cohérent avec une attribution à l'OIS 12 proposée sur la base de l'identification du téphra Mol 16 dans les dépôts (Aucelli *et al.*, 2011). Le couvert végétal est peu développé en période glaciaire, limitant la fixation des sols et favorisant la remobilisation des sédiments. A Boiano, les couvertures quaternaires ne sont pas encore très développées lorsque survient cette phase glaciaire intense (Aucelli *et*

al., 2011). L'incision est alors localement puissante et va jusqu'à l'altération du substrat, comme l'indique la forte sédimentation détritique et la présence d'un dinoflagellé et d'un grain de type *Normapolles*. Dans le contexte géologique du bassin de Boiano (Aucelli *et al.*, 2011), la présence d'un kyste de dinoflagellé est à rapprocher du Miocène terrigène (Londeix *et al.*, 2007). La présence d'un grain du type *Normapolles*, relique du Mésozoïque et du Paléogène (Batten, 1981; Sims *et al.*, 1999) suppose le remaniement d'une partie des dépôts crétacés (Aucelli *et al.*, 2011). La très forte représentation des Asteraceae conforte la présence de remaniements. Une partie des enregistrements lithologiques et palynologiques peuvent alors bien décrire l'environnement à proximité du lac encore en place à cette époque (environnement ouvert avec localement quelques groupes arborés) et les indices des remaniements peuvent quant à eux traduire des apports secondaires de sédiments vers la vallée. Ce signal fortement contrasté peut alors être interprété comme témoin de l'intensité de cette phase glaciaire (Lisiecki & Raymo, 2005) et des spécificités locales et régionales de ses effets (Russo Ermolli & Cheddadi, 1997; Munno *et al.*, 2001; Russo Ermolli *et al.*, 2010b; Manzi *et al.*, 2011). Dans le spectre situé à 50,50 mètres, l'important développement qu'enregistrent *Ulmus* et *Zelkova*, ainsi que la progression de *Alnus*, peuvent être imputés à des conditions plus humides durant un bref épisode (Follieri *et al.*, 1986). Ces changements d'assemblage pollinique ont pu survenir à la faveur d'une amélioration climatique favorisant certains taxons exigeants en humidité. En l'absence d'interstade connu à la fin du OIS 12 (Mc Manus *et al.*, 1999; Lisiecki & Raymo, 2005), l'hypothèse d'un enregistrement ponctuel OIS 11 ne peut être écartée. Cependant, le faible taux de *Quercus* type caducifolié et l'absence de dynamiques de végétation, notamment due à un hiatus consécutif à ce niveau (fig. 2), ne permettent pas de confirmer pleinement cette attribution. Le spectre suivant (45,50 m) succède en effet à d'épais dépôts (~5 m) de graviers fluviaux impropres à la conservation pollinique. Cette zone présente un environnement très ouvert, avec la présence ponctuelle de la steppe. La forte représentation des Asteraceae traduirait des processus de taphonomie pollinique aboutissant à une conservation différentielle du pollen, associée au remaniement de dépôts antérieurs favorisé par le couvert végétal peu développé. Les changements lithologiques importants enregistrés (fig. 2) permettent de considérer ce spectre comme un enregistrement ponctuel d'une phase plus récente que l'OIS 11. En présence du téphra Mol 12 – daté dans le bassin de Boiano de $311 \pm 4,7$ ka (Aucelli *et al.*, 2011), correspondant à l'OIS 9 (Lisiecki & Raymo, 2005) – dans les dépôts suivant immédiatement ce spectre, un enregistrement ponctuel du OIS 10 peut être proposé.

La LPZ 3 enregistre une dynamique de reconquête de végétation forestière quasi-complète, à l'exception du développement des arbres pionniers. Les enregistrements débutent avec une chênaie caducifoliée en place et déjà en recul (LPZ 3a). Cette diminution de la chênaie peut traduire d'un changement climatique vers des conditions

plus humides dans le bassin (Ravazzi & Strick, 1995), hypothèse soutenue par le développement de taxons caducifoliés hygrophiles édaphiques, dont *Carya*, *Ulmus*, *Zelkova* et *Pterocarya* ainsi que de la ripisylve (*Fraxinus* et *Alnus*). Dans un second temps (LPZ 3b), la régression de l'ensemble des arbres caducifoliés, à l'exception des éléments de la ripisylve, traduirait d'une baisse des températures. Le développement et le repli successif de la ripisylve, puis de *Cedrus*, de *Abies* et enfin de *Picea*, confirme cette tendance au refroidissement, favorisant successivement les groupes de plus en plus microthermes et tirant bénéfice du maintien de l'humidité édaphique et environnementale. Cette dynamique est caractéristique des interglaciaires du Pléistocène moyen (Follieri *et al.*, 1988; Russo Ermolli, 1994; Russo Ermolli & Cheddadi, 1997; Munno *et al.*, 2001; Russo Ermolli *et al.*, 2010b; Manzi *et al.*, 2011). La corrélation du niveau de téphras intercalé dans les dépôts associés à la LPZ 3 avec le téphra daté à $311 \pm 4,7$ ka BP enregistré dans le même bassin (Aucelli *et al.*, 2011) permet l'attribution de la LPZ 3 à l'OIS 9.

La LPZ 4 regroupe un ensemble hétérogène de spectres lithologiques (Aucelli *et al.*, 2011). Aucune dynamique environnementale n'est mise en évidence par la palynologie et plusieurs niveaux sont stériles en pollen. Les études sédimentologiques et palynologiques témoignent du comblement sédimentaire du bassin. L'enregistrement sédimentaire est discontinu et d'importants remaniements et lacunes se sont produits. Le spectre situé à 13,70 mètres décrit une chênaie mixte peu diversifiée. L'occurrence de *Quercus* type *ilex*, taxon méditerranéen sclérophylle caractéristique en Italie d'un environnement tempéré semi-aride et sous influence maritime (Follieri *et al.*, 1988), peut être imputée à un apport éolien longue distance, d'autant qu'aucun autre taxon du cortège méditerranéen n'est présent à ce niveau. Ce spectre pourrait enregistrer ponctuellement une phase tempérée, interglaciaire ou interstadiaire, difficile à corréler. Le dernier spectre enregistre un retour de l'association steppique *Artemisia*, *Ephedra* et *Chenopodiaceae* pouvant attester d'une aridité climatique importante. Toutefois, la représentation hétérogène de taxons caducifoliés (*Quercus* type caducifolié, *Corylus* et *Betula*) et conifères (*Pinus*, *Abies* et *Picea*), ainsi que des hygrophiles (*Cyperaceae*, *Poaceae* et *Ranunculaceae*) décrit la persistance d'humidité édaphique locale. Ce niveau se situe juste sous les dépôts corrélés au TGN daté aux alentours de 15 ka BP (Deino *et al.*, 2004; Aucelli *et al.*, 2011), corrélé à la fin du OIS 2 (Lisiecki & Raymo, 2005). Par corrélation *post-* et *ante-quem*, la LPZ 4 s'inscrit dans l'intervalle OIS 8 – OIS 2.

5.2 - DIVERSITÉ FLORISTIQUE

Dans les échantillons étudiés de la carotte Boiano S6, un total de 71 taxons polliniques a été déterminé et reflète la diversité de la flore fossile de Boiano. La quasi-totalité de ces taxons est toujours présente dans les environnements actuels de l'Italie centrale et méridionale. Cependant *Carya*, *Juglans* et *Pterocarya* (*Juglandaceae*) et

Zelkova (*Ulmaceae*), taxons aujourd'hui éteints en Italie continentale, sont récurrents dans les spectres polliniques de Boiano. Au cours de la séquence, ils décroissent puis disparaissent. Ces taxons s'éteignent progressivement en Europe méridionale durant le Pléistocène moyen (*Juglandaceae*) et supérieur (*Zelkova*), à des époques différentes selon les latitudes et les régions (Follieri *et al.*, 1986, 1988; Russo Ermolli, 1994; Lebreton, 2004; Suc & Popescu, 2005; Russo Ermolli *et al.*, 2010a; Manzi *et al.*, 2011). La persistance de ces taxons reliques du Tertiaire et du Pléistocène inférieur dans des dépôts du Pléistocène moyen en Italie méridionale doit être discutée au regard de leurs exigences paléoécologiques, notamment en terme d'humidité.

Une autre spécificité de la palynoflore de Boiano est l'omniprésence des *Cyperaceae* et, dans une moindre mesure, des *Poaceae*, familles cosmopolites, qui occupent une place prépondérante tout au long du diagramme. Leur présence dans des dépôts lacustres et fluvio-palustres soutient l'hypothèse du maintien d'environnements aquatiques à marécageux tout au long de la séquence, favorisant un ensemble de genres pour lesquels l'édaphisme peut être plus important que le climat. La place de ces deux taxons dans les assemblages est donc considérée comme marqueur spécifique de l'évolution du milieu marécageux mais également comme un indice du maintien de conditions édaphiques localement humides.

La diversité floristique de la séquence de Boiano est comparable à celle connue pour le Pléistocène moyen et supérieur dans d'autres sites de l'Italie centrale et méridionale (Follieri *et al.*, 1988; Russo Ermolli, 1994; Russo Ermolli & Cheddadi, 1997; Munno *et al.*, 2001; Lebreton, 2004; Russo Ermolli *et al.*, 2010a, 2010b; Manzi *et al.*, 2011), mais l'effet des reliefs, avec le voisinage de montagnes de hautes altitudes, a vraisemblablement conditionné, au moins en partie, le remplissage sédimentaire du bassin et certainement impacté l'évolution des écosystèmes. Un BVR de plusieurs groupements végétaux a été réalisé afin de discriminer des ensembles par la similarité de leurs occurrences et de mieux comprendre la signification paléoenvironnementale de ces particularités locales (fig. 4).

La présence de *Quercus* type caducifolié est continue à Boiano, y compris durant les phases glaciaires, comme dans les autres bassins de la région mais en des taux nettement moindres, pendant les glaciaires et les interglaciaires (Russo Ermolli, 1994; Munno *et al.*, 2001; Lebreton, 2004; Russo Ermolli *et al.*, 2010b; Manzi *et al.*, 2011). Cette présence réduite peut en effet être liée aux spécificités physiographiques du bassin, comme son altitude moyenne relativement élevée (500 m) et ses pentes accentuées jusqu'au fond de vallée au voisinage du massif du Matese (fig. 1), limitant ses aires de développement potentielles. À l'inverse, d'autres taxons ont pu être favorisés par ces conditions physiographiques, comme *Abies*, enregistré pendant toute la séquence. Ce taxon d'altitude a pu profiter des conditions offertes par les reliefs du bassin, propice à son développement et son maintien durant les phases glaciaires et interglaciaires.

Fig. 4: Biplot de Variation Relative discriminant les individus regroupant des taxons ou ensembles de taxons selon leur signification paléo-environnementale.

Les points libres correspondent aux différents échantillons de la séquence.

Fig. 4: Relative Variation Biplot distinguishing individuals grouping taxa and sets of taxa according to their palaeoenvironmental significance. Raw points correspond to the sequence samples.

Cette présence continue de *Quercus* type caducifolié durant toute la séquence conduit à un net détachement des autres individus du BVR et notamment des autres arbres caducifoliés (fig. 4). Cette position statistique particulière peut être liée à la signification statistique du signal de ce taxon présent en continu. En effet, ces enregistrements réguliers ne permettent pas de dégager un signal représentatif de ces exigences : il n'est pas beaucoup plus développé durant les phases interglaciaires que pendant les glaciaires, il n'apparaît donc pas statistiquement favorisé par des conditions particulières. Sa persistance durant les glaciaires souligne encore sa place particulière parmi la végétation caducifoliée de l'Italie méridionale au Pléistocène moyen.

Dans les assemblages de Boiano, *Artemisia* occupe également une place significative. Ce taxon est généralement associé à des environnements de type steppique (Suc, 1984). Cependant, certaines espèces du genre *Artemisia* dépendent de conditions écologiques très différentes de l'aridité caractéristique des steppes (Subally & Quézel, 2002). A Boiano, la présence de *Artemisia* est

enregistrée dans presque toutes les zones polliniques de la séquence, notamment en LPZ 3, caractérisée par des environnements forestiers. La position de *Artemisia* dans le BVR se détache clairement de celles de *Ephedra* et des autres herbacées. Considérant qu'il demeure un élément déterminant de la steppe lorsqu'il est associé à *Ephedra*, la présence d'espèces du genre *Artemisia* d'affinités plus hydrophiles est envisagée lorsqu'elle n'est pas couplée à *Ephedra*, conduisant à l'éloignement statistique de *Artemisia* par rapport aux autres herbacées.

La place des taxons *Ulmus* et *Zelkova* dans le diagramme (fig. 3a et 3b) est également remarquable, reflétant une partie des spécificités écologiques de ces taxons. Afin de mesurer leur significativité, l'individu «*Ulmaceae*» (correspondant au regroupement d'*Ulmus* et *Zelkova*) a été testé (fig. 4). Cet individu se rapproche statistiquement du groupe des *Aquatiques*, de *Cedrus* et des *Spores*, taxons exigeants en humidité. *Ulmus* et *Zelkova* ont pu profiter de l'humidité édaphique et/ou climatique présente dans le bassin pour persister et se redévelopper, grâce notamment à des températures assez douces dans

la région, y compris durant les phases glaciaires (Bertini, 2010; Magri, 2010; Magri *et al.*, 2010; Russo Ermolli *et al.*, 2010a; Manzi *et al.*, 2011).

La position des Poaceae dans cette distribution statistique est aussi significative (fig. 4) et confirme son rapprochement des marqueurs des environnements hygrophiles. En effet, dans le test, ce taxon apparaît proche du groupe Herbes mais aussi approchant des individus Spores et Aquatiques, ainsi que des taxons à fortes affinités pour l'humidité (*Cedrus*, *Ulmus* et *Zelkova*). Ce résultat soutient également l'hypothèse qu'une partie de la population des Poaceae peut être plus sensible à l'édaphisme qu'au climat.

Enfin, la dernière grande spécificité de la séquence de Boiano est la place qu'occupe *Carya*. Ce genre de la famille des Juglandaceae se développe aujourd'hui sous des climats subtropicaux à continentaux humides dans des régions caractérisées par des précipitations importantes, notamment au printemps, en moyenne supérieures à 1 000 mm/an et des températures moyennes annuelles autour de 17 °C (Barbour & Billings, 1988). L'impact du gradient latitudinal est considéré comme déterminant dans la disparition des taxons exotiques en Italie continentale (Suc *et al.*, 1995; Russo Ermolli *et al.*, 2010a). Il a été proposé une extinction du genre en Italie centrale et méridionale aux alentours de 350 ka, durant l'OIS 10, due à l'intensification progressive de l'aridité des phases glaciaires dans la région méditerranéenne (Bertini, 2010; Magri, 2010; Magri *et al.*, 2010; Russo Ermolli *et al.*, 2010a; Manzi *et al.*, 2011). Cependant, à Boiano, le genre enregistre un développement dans la LPZ 3 (fig. 3a et 3b), dont la partie inférieure est datée à $311 \pm 4,7$ ka BP, correspondant à l'OIS 9. Cette présence tardive coïncide avec un pic de diversité des taxons arboréens, associé à un probable maximum d'humidité et de température. La présence et le développement de *Carya* sont généralement associés à un climat tempéré humide sous influence maritime (Barbour & Billings, 1988; Ravazzi & Strick, 1995). La ceinture des hauts reliefs du massif du Matese à l'ouest du bassin de Boiano doit limiter cette influence maritime. De plus, *Carya* est absent dès l'OIS 13 à Sessano (Russo Ermolli *et al.*, 2010b), un bassin géographiquement proche et ouvert à l'ouest par une rupture dans le massif du Matese (Amato *et al.*, 2011). La persistance de *Carya* n'est donc pas totalement imputable à l'influence maritime. Il s'agit vraisemblablement d'un phénomène de refuge lié à des conditions spécifiques du bassin de Boiano où l'édaphisme a vraisemblablement joué un rôle dans le développement et la persistance de taxons exigeants en humidité.

6 - CONCLUSION

Bien que préliminaire, l'étude palynologique de la séquence continentale de Boiano complète et affine les premières hypothèses sur l'évolution environnementale et climatique du bassin émises sur la base de l'étude géologique. Le signal pollinique enregistré souligne l'évolution de la végétation durant la seconde moitié

du Pléistocène moyen, comparable aux autres enregistrements, complétant ainsi les corpus sur la région à ces époques. Il a été possible, sur la base des signaux polliniques et géologiques croisés, de proposer un cadre chronologique étendu des stades isotopiques de l'oxygène 13 à 2 et de mieux comprendre l'évolution du bassin et de ses environnements. L'étude met aussi en lumière certaines des particularités écologiques que cette vallée a offerte durant le Pléistocène moyen, c'est-à-dire un environnement relativement protégé par les reliefs voisins. Plusieurs spécificités régionales et micro-régionales ont pu être mises en évidence, telles que le maintien de *Quercus* type caducifolié durant les phases glaciaires mais également sa faible représentation durant les interglaciaires. La physiographie et l'altitude du bassin a également pu favoriser certains taxons microthermes. Ainsi, *Abies* est présent tout au long de la séquence pollinique, et *Fagus* se retrouve associé à la chênaie mixte durant les interglaciaires, bien qu'il représente un élément issu de la végétation collinéenne. Les marqueurs géologiques et palynologiques ont également permis de mettre en évidence le maintien de zones humides pendant les glaciaires, soulignant des conditions propices à la survie de certaines communautés végétales. Une importante humidité édaphique, et peut-être climatique dans une moindre mesure, a pu perdurer lors des phases glaciaires et interglaciaires du Pléistocène moyen, permettant la persistance et le redéveloppement d'une forte diversité de taxons arboréens durant les interglaciaires. Ainsi, *Carya* perdure jusqu'à l'interglaciaire de l'OIS 9, au-delà de sa limite jusqu'ici supposée à l'OIS 11, ce qui constitue son occurrence la plus récente en Méditerranée occidentale. Le bassin de Boiano a ainsi certainement constitué un refuge écologique particulier durant le Pléistocène moyen.

REMERCIEMENTS

Ce travail de Master Européen Erasmus Mundus *Quaternary & Prehistory* a pu être réalisé grâce au soutien des programmes d'aides aux étudiants Erasmus de l'Union Européenne, de la Ville de Paris, du Conseil Régional d'Ile de France et du Ministère des Affaires Etrangères. Les auteurs remercient également l'équipe du professeur Marchesini du *Museo Archeologico Ambientale* de San Giovanni in Persiceto pour leur accueil et leur soutien à cette recherche. Les auteurs remercient les deux relecteurs anonymes dont les commentaires ont permis d'améliorer ce manuscrit.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AITCHISON J. & GREENACRE M., 2002 - Biplots of compositional data. *Applied statistics*, **51** (4), 375–392.
- AMATO V., AUCELLI P.P.C., CESARANO M., PAPPONE G., ROSSKOPF C.M. & RUSSO ERMOLLI E., 2011 - The Sessano intra-montane basin: New multi-proxy data for the Quaternary evolution of the Molise sector of the Central-Southern Apennines (Italy). *Geomorphology*, **128** (1-2), 15-31.

- AUCELLI A.P.C., AMATO V., BARANELLO S., CESARANO M., MASTRONARDI R., MONACO R. & ROSSKOPF C.M., 2011 - Nuovi dati sull'evoluzione pleistocenica dei bacini di tramontani di Boiano e di Sessano (Molise, Italia meridionale). *Rendiconti online della Società Geologica Italiana*, **12 suppl.**, 3-7.
- BARBOUR M.G. & BILLINGS W.D., 1988 - *North American terrestrial vegetation*. Cambridge University Press, Cambridge (MA), 434 p.
- BATTEN D.J., 1981 - Stratigraphic, palaeogeographic and evolutionary significance of late cretaceous and early tertiary normapolles pollen. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **35** (2-4), 125-137.
- BERTINI A., 2010 - Pliocene to Pleistocene palynoflora and vegetation in Italy: State of the Art. *Quaternary International*, **225** (1), 5-24.
- COUR P., 1974 - Nouvelles techniques de détection des flux et retombées polliniques : études de la sédimentation des pollens et des spores à la surface du sol. *Pollen et Spores*, **16** (1), 103-141.
- DEINO A.L., ORSI G., DE VITA S. & PIOCHI M., 2004 - The age of the Neapolitan Yellow Tuff caldera forming eruption (Campi Flegrei caldera-Italy) assessed by $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating method. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **133** (1-4), 157-170.
- DI BUCCI D., CORRADO S. & NASO G., 2002 - Active faults at the boundary between Central and Southern Apennines (Isernia, Italy). *Tectonophysics*, **359** (1-2), 47-63.
- DI BUCCI D., NASO G., CORRADO S. & VILLA M., 2005 - Growth, interaction and seismogenic potential of coupled active normal faults (Isernia Basin, central-southern Italy). *Terra Nova*, **17** (1), 44-55.
- DI DONATO V., ESPOSITO P., RUSSO-ERMOLLI E., SCARANO A. & CHEDDADI R., 2008 - Coupled atmospheric and marine palaeoclimatic reconstruction for the last 35 ka in the Sele Plain-Gulf of Salerno area (southern Italy). *Quaternary International*, **190** (1), 146-157.
- FÆGRI K. & IVERSEN I., 1989 - *Textbook of pollen analysis*. 4^e edition, John Wiley & Sons, Chichester, 328 p.
- FOLLIERI M., MAGRI D. & SADORI L., 1986 - Late Pleistocene *Zelkova* extinction in Central Italy. *New Phytologist*, **103** (1), 269-273.
- FOLLIERI M., MAGRI D. & SADORI L., 1988 - 250,000-year pollen record from Valle di Castiglione (Roma). *Pollen et Spores*, **30** (3-4), 329-356.
- GIANNETTI B., 2001 - Origin of the calderas and evolution of Roccamonfina volcano (Roman Region, Italy). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **106** (3-4), 301-302, 306-319.
- JOANNIN S., BASSINOT F., COMBOURIEU NEBOUT N., PEYRON O. & BEAUDOUIN C., 2010 - Vegetation response to obliquity and precession forcing during the Mid-Pleistocene Transition in Western Mediterranean region (ODP site 976). *Quaternary Science Reviews*, **30** (3-4), 280-297.
- LEBRETON V., 2004 - Paysages et climats contemporains des premiers hominidés en Italie., *British Archaeological Reports International Series*, **1204**, 1-195.
- LEBRETON V., MESSEGER E., MARQUER L. & RENAULT-MISKOVSKY J., 2010 - A neotaphonomic experiment in pollen oxidation and its implications for archaeopalynology. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **162** (1), 29-38.
- LISIECKI L.E. & RAYMO M.E., 2005 - Plio-Pleistocene climate evolution: trends and transitions in glacial cycle dynamics. *Quaternary Science Reviews*, **26** (1-2), 56-69.
- LONDEIX L., BENZAKOUR M., SUC J.-P. & TURON J.L., 2007 - Messinian palaeoenvironments and hydrology in Sicily (Italy): the dinoflagellate cyst record. *Geobios*, **40** (3), 233-250.
- MAGRI D., 2010 - Persistence of tree taxa in Europe and Quaternary climate changes. *Quaternary International*, **219** (1-2), 145-151.
- MAGRI D., DI RITA F. & PALOMBO M.R., 2010 - An Early Pleistocene interglacial record from an intermontane basin of central Italy (Scoppito, L'Aquila). *Quaternary International*, **225** (1), 106-113.
- MANZI G., MAGRI D. & PALOMBO M.R., 2011 - Early-Middle Pleistocene environmental changes and human evolution in the Italian peninsula. *Quaternary Science Reviews*, **30** (11-12), 1420-1438.
- MC MANUS J.F., OPPO D.W. & CULLEN J. L., 1999 - A 0.5-Million-Year Record of Millennial-Scale Climate Variability in the North Atlantic. *Science*, **283** (5404), 971-975.
- MUNNO R., PETROSINO P., RUSSO ERMOLLI E. & JUVIGNÉ E., 2001 - A late Middle Pleistocene climatic cycle in Italy inferred from pollen analysis and tephrostratigraphy of the Acerno lacustrine succession. *Géographie Physique et Quaternaire*, **55** (1), 87-99.
- RAVAZZI C. & STRICK M.R., 1995 - Vegetation change in a climatic cycle of Early Pleistocene age in the Leffe basin (northern Italy). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **117** (1-2), 105-122.
- REILLE M., 1992 - *Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du nord*. Louis-Jean, Gap, 520 p.
- ROUCHON V., GILLOT P.Y., GUIDELLEUR X., CHIESA S. & FLORIS B., 2008 - Temporal evolution of the Roccamonfina volcanic complex (Pleistocene), Central Italy. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **177** (2), 500-514.
- RUDDIMAN W.F., RAYMO M.E., MARTINSON D.G., CLEMENT B.M. & BACKMAN J., 1989 - Pleistocene evolution: northern hemisphere ice sheets and North Atlantic Ocean. *Paleoceanography*, **4** (4), 353-412.
- RUSSO ERMOLLI E., 1994 - Analyse pollinique de la succession lacustre pléistocène du Vallo di Diano (Campanie, Italie). *Annales de la Société Géologique de Belgique*, **117** (2), 333-354.
- RUSSO ERMOLLI E. & CHEDDADI R., 1997 - Climatic reconstruction during the Middle Pleistocene: a pollen record from Vallo di Diano (southern Italy). *Geobios*, **30** (6), 735-744.
- RUSSO ERMOLLI E., SARDELLA R., DI MAIO G., PETRONIO C. & SANTANGELO N., 2010a - Pollen and Mammals from the late Early Pleistocene site of Saticula (Sant'Agata de'Goti, Benevento, Italy). *Quaternary International*, **225** (1), 128-137.
- RUSSO ERMOLLI E., AUCELLI P.P.C., DI ROLLO A., MATTEI M., PETROSINO P., PORRECA M. & ROSSKOPF C.M., 2010b - An integrated stratigraphical approach to the Middle Pleistocene succession of the Sessano basin (Molise, Italy). *Quaternary International*, **225** (1), 114-127.
- SANTANGELO N., DI DONATO V., LEBRETON V., ROMANO P. & RUSSO ERMOLLI E., sous presse - Palaeolandscapes of Southern Apennines during the late Early and the Middle Pleistocene. *Quaternary International*, doi: 10.1016/j.quaint.2011.02.036.
- SIMS H.J., HERENDEEN P.S., LUPIA R., CHRISTOPHER R.A. & CRANE P.A., 1999 - Fossil flowers with Normapolles pollen from the Upper Cretaceous of southeastern North America. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **106** (3-4), 131-151.
- SUBALLY D. & QUÉZEL P., 2002 - Glacial or interglacial: *Artemisia*, a plant indicator with dual responses. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **120** (1-2), 123-130.
- SUC J.-P., 1984 - Origin and evolution of the Mediterranean vegetation and climate in Europe. *Nature*, **307** (5950), 429-432.
- SUC J.-P., BERTINI A., COMBOURIEU-NEBOUT N., DINIZ F., LEROY S.A.G., RUSSO-ERMOLLI E., ZHENG Z., BESSAIS E. & FERRIER J., 1995 - Structure of West Mediterranean vegetation and climate since 5.3 Ma. *Acta Zoologica Cracoviensia*, **38** (1), 3-16.
- SUC J.-P. & POPESCU S.M., 2005 - Pollen records and climatic cycles in the North Mediterranean region since 2.7 Ma. *Geological Society Special Publication*, **247**, 147-157.
- TZEDAKIS P. C., 2005 - Towards an understanding of the response of the southern European vegetation to orbital and suborbital climate variability. *Quaternary Science Reviews*, **24** (14-15), 1585-1599.